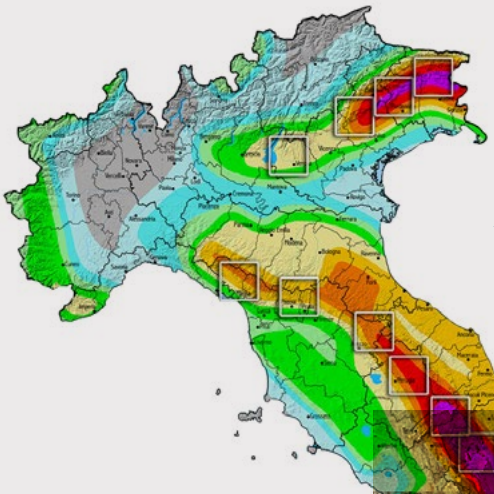
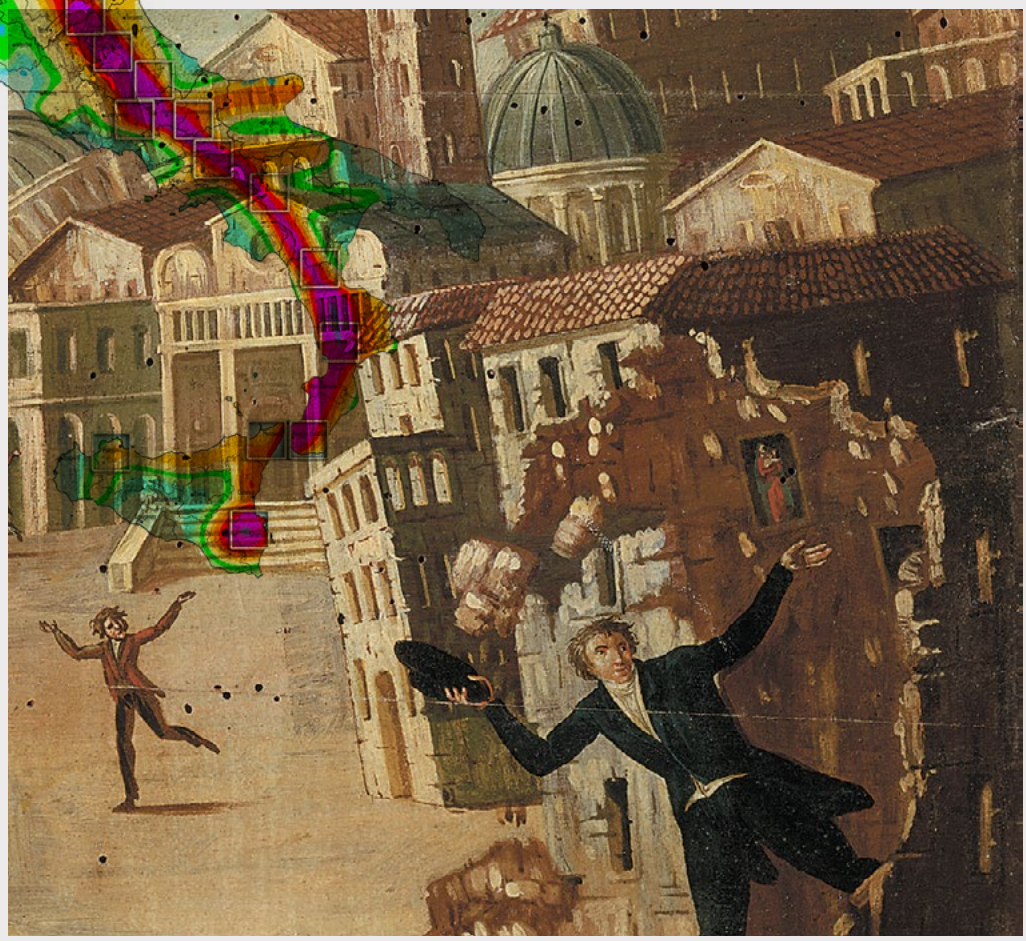
Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale

Supplemento al n. 1/2018
ISSN 1591-5352



Rischio sismico in Italia: analisi e prospettive per una prevenzione efficace in un Paese fragile



A cura di
Antonello Fiore e Vincent Ottaviani

Poste Italiane S.p.a. - Spedizione in Abbonamento Postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1 comma 1 - DCB Roma

II copertina

Sponsor

II BOZZA

Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale

Associazione di protezione ambientale a carattere nazionale riconosciuta dal Ministero dell'ambiente, della tutela del territorio e del mare, con D.M. 24 maggio 2007, G.U. n. 127 del 4.6.2007

Supplemento al n. 1/2018
Anno XXVI - gennaio-marzo 2018

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229
del 31 maggio 1994

Comitato scientifico
Mario Bentivenga, Aldino Bondesan, Giancarlo Bortolami, Giovanni Bruno, Giuseppe Gisotti, Giancarlo Guado, Gioacchino Lena, Giacomo Prosser, Giuseppe Spilotro

Consiglio Direttivo nazionale 2016-2019
Danilo Belli, Lorenzo Cadrobbi, Franco D'Anastasio (*Segretario*), Daria Duranti (*Vicepresidente*), Antonello Fiore (*Presidente*), Sara Frumento, Fabio Garbin, Enrico Gennari, Giuseppe Gisotti (*Presidente onorario*), Gioacchino Lena (*Vicepresidente*), Luciano Masciocco, Michele Orifici, Vincent Ottaviani (*Tesoriere*), Angelo Sanzò, Livia Soliani

Comitato di redazione
Fatima Alagna, Federico Boccalaro, Giorgio Cardinali, Francesco Cancellieri, Valeria De Gennaro, Fabio Garbin, Gioacchino Lena, Maurizio Scardella, Andrea Vitturi

Direttore responsabile
Giuseppe Gisotti

Procedura per l'accettazione degli articoli
I lavori sottomessi alla rivista dell'Associazione, dopo che sia stata verificata la loro pertinenza con i temi di interesse della Rivista, saranno sottoposti ad un giudizio di uno o più Referees.

Redazione
SIGEA: tel./fax 06 5943344
Casella Postale 2449 U.P. Roma 158
info@sigeaweb.it
www.sigeaweb.it

Progetto grafico e impaginazione
Fralerighe
tel. 0774 554497
info@fralerighe.it
www.fralerighe.it

Pubblicità
SIGEA

Stampa
Tipolitografia Acropoli, Alatri - FR

La quota di iscrizione alla SIGEA per il 2018 è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista "Geologia dell'Ambiente". Per ulteriori informazioni consulta il sito web all'indirizzo http://www.sigeaweb.it

Sommario

Premessa
Claudio Campobasso 5

Presentazione
Antonello Fiore e Vincent Ottaviani 6

1. TERREMOTI E SOCIETÀ

I disastri sismici in italia: una riflessione sulle risposte sociali e culturali nel lungo periodo
Emanuela Guidoboni 9

La "prevenzione del giorno dopo" e quella per il nuovo secolo
Roberto De Marco 17

La prevedibilità dei disastri sismici fra sismologia e storia
Gianluca Valensise 22

Moderni sistemi per la prevenzione sismica
Alessandro Martelli 29

Vulnerabilità sismica e meccanismi resistenti alla scala urbana
Giovanni Cangi 38

La gestione emergenziale dei fenomeni sismoindotti: i casi dei terremoti avvenuti in Abruzzo (2009), in Emilia-Romagna (2012) e nel Centro Italia (2016-2017)
Paolo Marsan, Angelo Corazza 43

Quando la scienza incontra il diritto: le responsabilità legate alla gestione del rischio tsunami
Cecilia Valbonesi 56

Il ruolo delle assicurazioni nella prevenzione dei rischi: il caso dei terremoti
Donatella Porrini 62

ANTEPRIMA

Strumenti didattici per l'analisi dei fenomeni sismici
Francesca Cifelli 67

Il terremoto nella mente
Donatella Galliano, Luigi Ranzato 73

Come i media raccontano un'emergenza
Luca Calzolari 78

2. IL RUOLO DELLE ISTITUZIONI

Il monitoraggio sismico del territorio Italiano
Gaetano De Luca, Nicola Venisti 83

Il Centro Allerta Tsunami (CAT) dell'INGV
Alessandro Amato e il Team del CAT 89

Pericolosità sismica, normativa e classificazione sismica in Italia
Carlo Meletti, Massimiliano Stucchi, Gian Michele Calvi 96

Evoluzione delle normative sismiche in Italia dal punto di vista geologico
Maurizio Lanzini 105

La Microzonazione Sismica: prospettive e applicazioni nella pianificazione e progettazione
S. Castenetto, G. Naso 111

Le attività del Servizio Geologico d'Italia (ISPRA) a seguito della sequenza sismica del 2016-2017 in Italia Centrale
Gruppo di Lavoro SGI su Emergenza Terremoto 115

3. LA RICERCA SUI TERREMOTI IN ITALIA: METODI E PROSPETTIVE

I caratteri della sismotettonica in Italia: osservazioni e modelli
Paola Vannoli, Pierfrancesco Burrato 137

La sismicità del Veneto tra eventi storici e recenti
Jacopo Boaga 146

Il rischio sismico in Toscana e la microzonazione sismica
Massimo Baglione 152

La prevenzione del rischio sismico nella pianificazione urbanistica: la carta di pericolosità sismica della regione Lazio
Eugenio Di Loreto 158

IL BOZZA

Pericolosità sismica e memoria storica dei terremoti in Puglia
Vincenzo Del Gaudio 165

Storia sismica della Basilicata con particolare riguardo ai secoli XIX e XX
Fabrizio Terenzio Gizzi, Maria Rosaria Potenza 172

La sequenza sismica del Sannio-Matese 2013-2014: un esempio di intrusione attiva in Appennino meridionale
Francesca Di Luccio, Giovanni Chiodini, Stefano Caliro, Carlo Cardellini, Vincenzo Convertito, Nicola Alessandro Pino, Cristiano Tolomei, Guido Ventura 183

4. TERREMOTI E MAREMOTI IN ITALIA: CASI DI STUDIO

Evidenze geologiche ed archeologiche di terremoti storici in Trentino-Alto Adige
Alfio Viganò, Stefano di Stefano, Andrea Franceschini, Claudio Carraro, Catrin Marzoli, Lorenzo Cadrobbi 193

Il terremoto del 28 dicembre 1908: 110 anni di analisi sismologiche
Nicola Alessandro Pino, Vincenzo Convertito 202

Sismicità della Calabria Centro-Meridionale: dalla storia alle osservazioni strumentali e di campagna
Anna Gervasi, Vincenzo Tripodi, Mario La Rocca, Francesco Muto, Ignazio Guerra 207

Evidenze geomorfologiche di tsunami in Italia Meridionale
Scardino G., Fago P., Piscitelli A., Milella M., Sansò P., Mastronuzzi G. 215

Mitigazione del rischio sismico e vulcanico nell'area Napoletana: un piano operativo per la messa in sicurezza di Ischia
Giuseppe De Natale, Stefano Petrazzuoli, Claudia Troise, Renato Somma 222

I terremoti di Amatrice, Visso e Norcia del 2016-2017 nel contesto sismotettonico dell'Italia Centrale: stato delle conoscenze e problemi aperti
Alessandro Amato, Massimiliano Barchi, Lauro Chiaraluce 228

IN BOZZA

Effetti geomorfologici e variazioni idrogeologiche indotti dai terremoti: esempi nell'area epicentrale della sequenza sismica 2016-2017 del centro Italia
Domenico Aringoli, Bufalini M., Piero Farabollini, Marco Giacopetti, Marco Materazzi, Gilberto Pambianchi 237

5. DALLA GESTIONE DELLE EMERGENZE ALLA RICOSTRUZIONE

Earth Observation Systems: dall'emergenza alla proposta di un progetto integrato per la gestione del territorio
Elena Candigliota, Francesco Immordino 249

Il ruolo del Volontariato di protezione civile per una attività di prevenzione efficace
Massimo La Pietra 260

I terremoti dell'estate-autunno 2016 in Italia centrale: nuove prospettive per la valutazione della pericolosità sismica
Emanuele Tondi, Tiziano Volatili, Pietro Paolo Pierantoni 264

Emergenza e ricostruzione
Alfiero Moretti 271

Dal danneggiamento delle chiese di Amatrice spunti per prevenzione, conservazione e sicurezza del patrimonio storico-architettonico
Giacomo Buffarini, Elena Candigliota, Fernando Saitta, Concetta Tripepi, Giovanni Carelli, Laura Donati 276

La ricostruzione dei beni culturali danneggiati dal sisma: il miglioramento
Antonio Borri 289

Venzone: utopia o futuro? Una metodologia per la salvaguardia del nostro patrimonio
Francesca Sartogo 296

Rischio liquefazione: studi e iniziative per la ricostruzione e la pianificazione urbanistica post sisma Emilia 2012
Luca Martelli 306

La gestione dei rifiuti da disastro
Francesca Lucignano, Roberto Pizzi 314

IL BOZZA

Premessa

Claudio Campobasso
Direttore Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia dell'Ispra

L'Italia, insieme alla Grecia, è il Paese con il più alto livello di sismicità in ambito europeo e questo determina un alto rischio per il nostro territorio, a causa della elevata vulnerabilità del patrimonio edilizio e artistico-culturale, spesso fragile anche per il peso degli anni.

Tale sismicità infatti, pur non essendo alta in valore assoluto (si pensi ad esempio a quella della California o del Giappone), costituisce un potenziale pericolo per gli innumerevoli e caratteristici borghi e paesi disseminati lungo l'Appennino (spesso costruiti in pietra locale), che certamente costituiscono un *unicum* di grande valore storico, culturale ed edilizio ma che necessitano anche di notevoli interventi strutturali per la loro messa in sicurezza.

La sequenza sismica del 2016-2017 in Italia Centrale ha messo in luce proprio questa fragilità, presente, purtroppo anche in altre zone d'Italia, come Campania, Basilicata, Calabria e Sicilia orientale, dove il potenziale sismico è molto alto.

L'Italia possiede un grande patrimonio di conoscenza scientifica, in particolare sulla pericolosità sismica e geologica, sia per tradizione (la sismologia è considerata essere nata in Italia a seguito degli studi di *Mallet* sul terremoto del 1857 in Basilicata) che per l'attività di ricerca anche applicata, riconosciuta a livello internazionale, che svolgono enti come l'INGV, il CNR, il *Servizio Geologico d'Italia* dell'ISPRA, l'ENEA e molte Università.

Anche se in continuo aggiornamento e approfondimento, la pericolosità sismica dell'intera penisola, grazie agli studi sinora condotti, è ad oggi considerata sufficientemente nota, in quanto sappiamo sostanzialmente qual è il terremoto di riferimento che possiamo aspettarci in ogni parte del territorio.

Pur essendo tuttavia ancora lontani dal conoscere tutti i segreti dei fenomeni che precedono l'enucleazione di un terremoto, la nostra capacità di monitorare il territorio nelle singole componenti che lo costituiscono sta aumentando sensibilmente, grazie al miglioramento delle tecniche di analisi sia da remoto (si pensi alla costellazione satellitare con i relativi sensori) che *in situ*.

L'utilizzo integrato di dati provenienti da tecniche diverse ci consente infatti di comprendere con sempre maggiore approssimazione gli eventi sismici, sia in termini geodinamici che di variazione di singoli parametri sismici e geologici.

Negli ultimi anni, si stanno poi sviluppando gli studi di Microzonazione sismica, utili a conoscere la risposta delle diverse porzioni di territorio all'input sismico e molto importanti ai fini della pianificazione territoriale.

Gli investimenti in termini di conoscenza sono ovviamente il primo passo del lungo cammino verso la messa in sicurezza del Paese e solo partendo da solide basi scientifiche conoscitive è possibile approntare le corrette politiche di riduzione del rischio sismico.

Assume particolare importanza, a tale riguardo, la comunicazione delle conoscenze acquisite ad un pubblico più vasto rispetto a quello degli addetti ai lavori.

Questa iniziativa editoriale della SIGEA ha, pertanto, il merito di consentire alla comunità di studiosi della pericolosità e del rischio sismico di mostrare molte delle attività che vengono condotte in Italia e quindi di fornire informazioni corrette a tecnici, cittadini e decisori politici.

BOZZA

Presentazione

Antonello Fiore e Vincent Ottaviani

II BOZZA

1. TERREMOTI E SOCIETÀ

II BOZZA

I disastri sismici in italia: una riflessione sulle risposte sociali e culturali nel lungo periodo

Seismic disasters in Italy: a review of social and cultural responses in the long term

Emanuela Guidoboni
EEDIS- Eventi Estremi e Disastri,
Centro euro-mediterraneo di documentazione
Spoleto (PG)
E-mail: eguidoboni@gmail.com

Parole chiave (*key words*): terremoti storici (*historical earthquakes*), antiche teorie (*ancient theories*), distruzioni (*destructions*), ricostruzioni (*reconstructions*), adattamenti (*adaptations*)

I DISASTRI SISMICI NELLA STORIA

Diversamente da altre calamità naturali, come le alluvioni e le frane, le dinamiche che generano i terremoti sono indipendenti dall'uso antropico[1] di un territorio e dalle sue modificazioni nel tempo.

Tali grandi dinamiche fanno parte della vita della Terra, cambiano nei milioni di anni e non sono modificabili da parte dell'uomo. Ciò che cambia nel tempo sono invece gli *effetti* dei terremoti in un mondo abitato, in cui cambia la vulnerabilità dell'edificato e l'esposizione di beni e persone.

La pericolosità sismica, o meglio l'*azzardo* sismico[2], in Italia è elevata: la probabilità che accada un terremoto distruttivo nell'arco di un anno è circa del 20%. Elevato risulta il rischio sismico, per l'alta vulnerabilità che caratterizza il costruito in ampie zone del Paese, per la tipologia e la vetustà del patrimonio storico-artistico, diverso fra città e piccoli centri delle aree interne. Il rischio è elevato anche per la percentuale di popolazione esposta nelle aree sismiche (valutato secondo diversi parametri dal 10 al 30% della popolazione italiana) e di beni industriali e produttivi presenti sul territorio. Dunque è un insieme di fattori umani a fare della sismicità naturale una grave e costante minaccia.

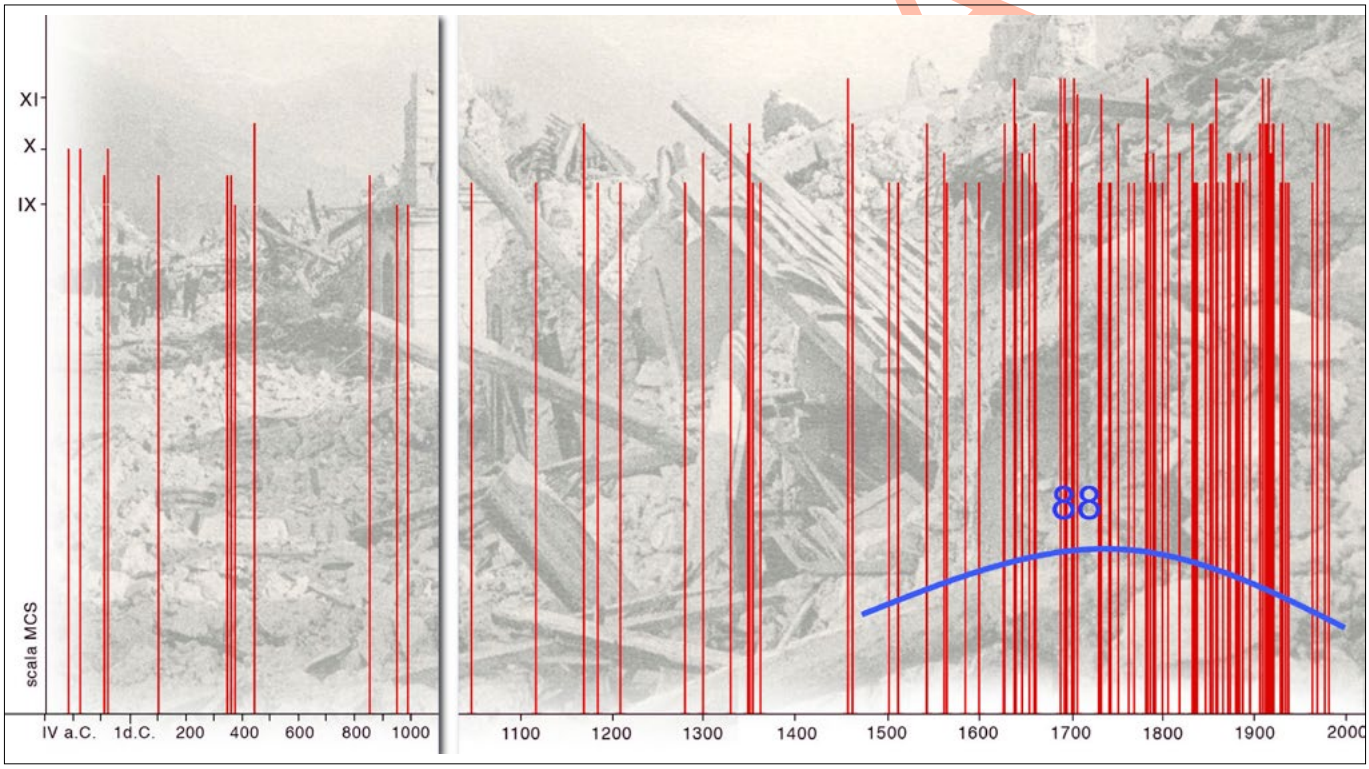


Figura 1 – Andamento cronologico dei 150 terremoti che hanno causato gli effetti più distruttivi (Intensità epicentrale ≥IX grado MCS ; Mw > 6) dal mondo antico al XX secolo. È una sintesi dello stato delle conoscenze riguardante gli ultimi 2.500 anni, una preziosità della storia italiana, pur con vuoti e perdite di informazioni. Se consideriamo solo gli ultimi cinque secoli, gli eventi distruttivi di questa grandezza sono 88, in media circa uno ogni 5 anni e mezzo (da CFTI 4Med)

Dal V secolo a.C. al XX sono noti 150 forti terremoti, i cui effetti epicentrali sono stati uguali o maggiori al grado IX MCS. *Fig.* 1. Dall'unità d'Italia (1861) ad oggi ci sono stati 36 disastri sismici[3], in media uno ogni quattro anni e mezzo *Fig.* 2 e 170 terremoti di in-

1 Mi riferisco alla sismicità naturale e lascio ad altri il compito di trattare della sismicità indotta da attività antropiche, che da un punto di vista storico *non esiste*.

2 Uso questo termine perché evidenzia in modo esplicito l'aspetto probabilistico del problema, come nelle principali lingue europee (in inglese è *seismic hazard*, in francese *alea sismique*). Il termine "azzardo" deriva dalla parola araba *a-zahar*, che indica il gioco dei dadi, come *alea* è il calco esatto del latino *ālĕa*, ossia il dado. "Pericolosità" deriva invece da *pĕrīcŭlum (peritus*), termine alquanto generico per prova, pericolo, tentativo ecc. Per la maggiore pregnanza e vicinanza al concetto di probabilità, penso che la parola *pericolosità*, introdotta dai sismologi del Novecento, potrebbe essere sostituita con il termine *azzardo,* per comunicare meglio il concetto.

3 La definizione di *disastro sismico* per l'Italia implica effetti severi in un'area estesa, tali da causare anche il collasso dell'economia locale e richiedere ricostruzioni sostanziali di centri abitati e spesso anche la ridefinizione della rete insediativa.

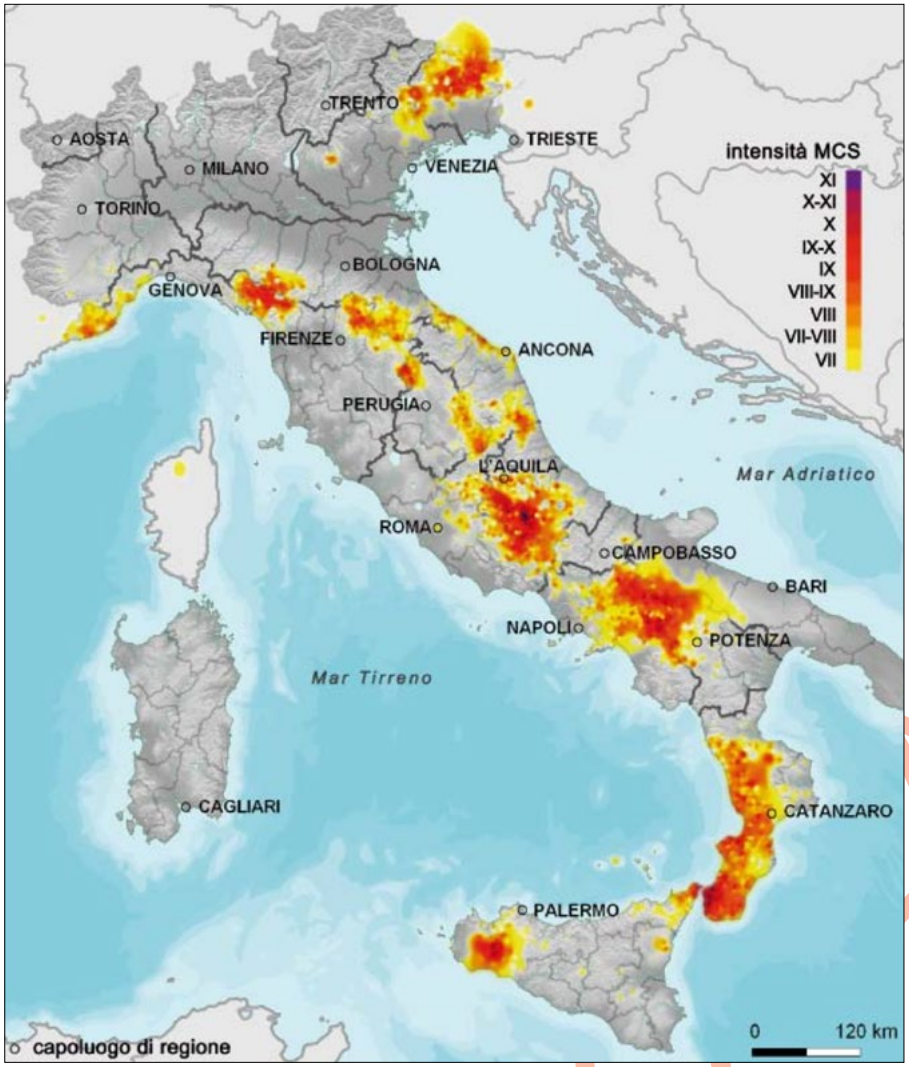


Figura 2 – I disastri sismici nei primi 150 anni dall'Unità d'Italia (da Guidoboni e Valensise, 2011). Dal 2011 si sono aggiunti i terremoti dell'Emilia del 2012 e la distruttiva sequenza dell'Italia centrale del 2016. La media è di un disastro sismico circa ogni 4 anni e mezzo

tensità epicentrale e magnitudo inferiori, ma pur sempre causa di danni. La catena dell'Appennino, come è noto, è la sede del 70% della sismicità italiana, nel complesso molto ben analizzata da studi storici e geologici, come quella delle restanti aree sismogenetiche del Paese.

L'Italia, per la sua antica cultura scritta, per la stabilità della sua rete abitativa e per la conservazione del suo patrimonio storico-documentario (nonostante le perdite, il più importante del mondo per ampiezza cronologica e densità geografica,) ha ottenuto nel settore di studi della sismicità risultati straordinari. Diversi gruppi di lavoro dagli anni Ottanta del secolo scorso hanno portato avanti questi studi con competenza e tenacia. Fra i risultati che ritengo più rilevanti è il *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia* dal V sec. a.C. al XX, che nella versione in rete del 2007 comprende anche l'area mediterranea fino al XV secolo. L'esteso approccio specialistico storico ha dato luogo a una neo-disciplina, la sismologia storica, che da quasi un decennio ha anche un suo manuale internazionale (Guidoboni e Ebel 2019).

Per la costruzione del CFTI sono state reperite e analizzate, secondo i periodo e le aree, fonti appartenenti a un'ampia gamma tipologica: dalla letteratura all' epigrafia, dalla documentazione archivistica (amministrativa, giuridica, fiscale), alla memorialistica, ai trattati naturalistici e scientifici, consentendo di utilizzare e archiviare oltre 52 mila testi.

Il Catalogo storico è uno strumento prezioso, che dovrebbe essere compreso e usato tenendo conto del suo carattere multidisciplinare e nel rispetto dei contesti storici e culturali che hanno conservato le tracce (il più delle volte sorprendentemente precise e complesse) di passati disastri e terremoti minori.

Le fonti selezionate e interpretate hanno permesso di classificare gli effetti in oltre 42.600 siti. Ciò che differenzia il CFTI da altri cataloghi è non solo la valutazione degli effetti di cui fornisce la descrizioni e le fonti di informazione, ma anche la costante attenzione ai contesti economici, demografici e amministrativi, esplicitata in centinaia e centinaia di "commenti" specifici, che evidenziano le risposte umane riguardo all'interpretazione dei terremoti, alle ricostruzioni e agli abbandoni[4]. Sorprende quindi quando si leggono affermazioni dubitative o negative sulla "attendibilità" del Catalogo storico, come se la storia, oltre al grande contributo di conoscenze che ha fornito ai sismologi e ai geologi, dovesse anche supplire alle incertezze epistemiche di altre discipline.

Aggiungo che, sebbene non sempre correlati ai terremoti, sono avvenuti dei maremoti, catalogati nel CFTI assieme ad alcune migliaia di altri effetti ambientali georeferenziati. Riguardo ai maremoti, vorrei precisare che le coste italiane sono a rischio a causa dell'elevata sismicità e della presenza di numerosi vulcani attivi, emersi e sommersi. Nel CFTI è descritta una decina di maremoti, solo alcuni dei quali hanno causato danni consistenti. Per quanto ne sappiamo oggi, le aree costiere più colpite sono quelle della Sicilia orientale, della Calabria, della Puglia (queste ultime possono essere raggiunte da maremoti generati dalle isole egee), dell'Adriatico e del Tirreno centrali.

Nella conoscenza dei maremoti storici ci sono moltissime lacune, perché fino all'inizio del Novecento le coste erano poco abitate, a esclusione delle città portuali. Le testimonianze dirette sono quindi scarse fino a un secolo fa. L'incompletezza dei dati sui maremoti, enormemente più alta di quella riguardante i terremoti, non consente previsioni e stime probabilistiche. A rendere abbastanza elevato il rischio attuale da maremoti si aggiunge, oltre all'incertezza dovuta alla scarsità di informazioni, anche il fatto che l'economia turistica espone sempre più persone e beni proprio sulle coste.

LE RISPOSTE AI DISASTRI SISMICI

Ma concentriamoci sui disastri sismici storici, tema estesamente indagato e sostanzialmente ben conosciuto dal punto di vista storico e scientifico, sia pure solo in ambienti ristretti di lavoro. Dopo alcuni decenni di studi possiamo porci domande più trasversali, che non riguardano solo gli effetti macrosismici e i loro parametri: possiamo infatti evidenziare le *risposte,* che nel tempo le popolazioni colpite hanno dato ai disastri sismici e riconoscere le loro lontane radici.

In altre parole, abbiamo gli strumenti per comprendere meglio che i disastri sismici sono stati e sono ancora per il nostro Paese una sfida *non vinta*.

4 Mi scuso se qui e nel seguito farò riferimento quasi esclusivamente ai risultati delle ricerche storiche condotte con il mio gruppo di lavoro per il CFTI, dal 1987 al 2011. È stata un'esperienza privilegiata di ricerca tematica, che a me personalmente ha aperto molti orizzonti e consentito riflessioni estese.

Possiamo chiederci perché in questo settore del rischio una società può fallire e un'altra vincere, almeno in parte, la sfida. Occorre, a mio parere, guardare proprio alle radici di quei comportamenti.

L'Italia ha condiviso per oltre millecinquecento anni le antiche culture mediterranee, poi dall'età moderna le culture europee, sempre con forti legami con il suo passato classico. È lasso di tempo impossibile da dipanare in questa sede, ma tenterò di delineare alcune riflessioni su tali risposte, un semplice sguardo che aiuti a superare le strettoie del presente e a dare un orizzonte alla tormentata storia italiana dei disastri sismici. Per farlo, seguirò un percorso in parte cronologico e in parte tematico, uno schizzo su un tema non solo importante e complicato, ma anche continuato nel tempo. La *storia dei disastri sismici* non è insegnata, e per questa ragione principale non è nota agli italiani: su questo tema grava infatti un pesante e imbarazzante silenzio proprio nei luoghi per eccellenza della formazione[5].

Quando accade un terremoto distruttivo una società è colpita nel suo presente ed è messa davanti alla possibilità o meno della sua sopravvivenza. Le risposte ai disastri sismici viste nel lungo periodo hanno numerose costanti, pur nei differenti contesti. Nell'immediato la paura, la fuga, le perdite, i vuoti; poi il bisogno di capire, di dare senso alle distruzioni e quindi di spiegare, di capire, per riprendere a vivere: sono fasi comuni a società e culture anche molto lontane nel tempo e nello spazio geografico.

Per tentare di comprendere questi intricati processi sociali e culturali, penso che le risposte alle calamità sismiche possano essere raggruppate in tre grandi categorie, che hanno riguardato sia le antiche culture mediterranee sia le società delle epoche successive, fino ad oggi:

1. la spiegazione;
2. le ricostruzioni e gli abbandoni;
3. l'adattamento.

LA SPIEGAZIONE: DAI MITI ALLE TEORIE SCIENTIFICHE

La spiegazione è la prima e più plasmante risposta che le culture hanno dato alle distruzioni sismiche, e che ha condizionato anche altre risposte. Che cosa causa un forte terremoto? Perché succede un disastro? La spiegazione ha alle sue origini i miti e le grandi interpretazioni religiose; si sono poi sviluppate le teorie dei filosofi naturali e degli scienziati, fino alla scienza di oggi.

Da sempre l'umanità ha voluto capire i terremoti e, secondo le epoche e i bisogni culturali, darne una spiegazione entro categorie magico-religiose, morali, o naturalistiche e scientifiche. Spiegazioni di tipo diverso sono convissute in uno stesso periodo e in una stessa società, fino a quella oggi condivisa dalla comunità scientifica mondiale. Ma a differenti livelli convivono anche oggi altre spiegazioni, che emergono dalla cultura diffusa dei mass-media e della rete di scambi sociali; una cultura che su questo tema non è né scientifica né razionale. In una visione storica della vita, si può dire che tutto ciò è molto simile a quanto accadeva in passato: accanto alle teorie sono sempre convissute anche altre spiegazioni, credenze e sentimenti magico-religiosi.

Accenno qui ad alcuni aspetti, iniziando dai miti e dalle grandi interpretazioni religiose, come radici di un passato comune.

Un libro di Dorothy B. Vitaliano (1973) aprì agli scienziati della Terra un ambito fino ad allora assai poco noto: l'origine geologica dei miti. L'autrice delineò una sorta di geografia di grandi eventi geodinamici correlata a miti e leggende, scoprendo tracce sedimentate di un'antichissima memoria collettiva religiosa. Il passaggio dal mito a un'interpretazione razionalistica dei suoi contenuti non è sempre accettabile né lecita. Ma non possiamo ignorare che alcuni miti lasciano intravvedere l'accadimento di grandi eventi naturali successi in un lontanissimo passato, trasmessi oralmente e trasformati, di cui non sono rimaste tracce nella documentazione scritta. Da questo punto di vista alcuni miti appaiono come una risposta di *adattamento* a un carattere geologico, che faceva paura e causava danni ricorrenti.

La divinità principale del mondo greco, chiamata in causa per i terremoti e i maremoti, era *Poseidon*, un dio antichissimo, chiamato «scuotitore della terra» e signore delle profondità marine nei poemi omerici (i testi scritti risalgono al secolo VIII a.C. ma la tradizione orale è molto più antica). Varie tradizioni scritte attribuirono a Poseidone alcuni terremoti e maremoti realmente accaduti. Per esempio: il mitico maremoto che inondò la costa di Troia e l'entroterra fu interpretato in antico come l'azione diretta di Poseidone, che per vendetta rese improduttivi i campi. Ma questa credenza fu sottoposta a una critica razionalista già nell'antichità. Infatti Plutarco (48–127 d.C.) scrive che "alcuni" già allora avevano osservato che l'acqua ristagnò, salinizzando i campi e rendendoli sterili, perché la costa era più bassa del livello del mare: ciò lascia intravvedere i diversi livelli di elaborazione, etico-religioso e razionalista, che i disastri stimolavano nelle culture antiche (Plutarco, *Moralia,* 248 A-C).

Il Poseidone greco divenne poi Nettuno per i Romani, che interpretarono il terremoto piuttosto come un *presagio* di altre disgrazie e per questa ragione dopo un terremoto facevano sacrifici espiatori. Ma a quale dio si rivolgevano? Dagli autori latini si rileva un'incertezza nel riconoscere un dio preciso (Gellio, *Noctes Atticae* 28; 4.6).

Nella tradizione giudaico-cristiana il terremoto e il maremoto furono invece un *segno* della potenza di Dio. Nello scuotimento della terra e del mare Dio solo è protagonista assoluto, con la sua energia e volontà travolgente, così come lo era stato Posidone. Prima ancora di assumere un significato simbolico di punizione morale – interpretazione che caratterizzò poi l'Occidente cristiano – il terremoto fu nel cristianesimo orientale l'*epifania* di Dio, ossia il momento del suo manifestarsi, quindi fenomeno di potente, divina energia.

Nel nuovo testamento il terremoto è evocato nell'*Apocalisse* di Giovanni come evento che precede il giudizio universale, ossia la fine della storia. L'*Apocalisse* è un testo complicatissimo e in parte oscuro, denso di simbologie, fatto risalire agli anni Novanta del I secolo d.C. Quando l'angelo apre il sesto sigillo, accade il terremoto: i potenti sono rovesciati e il mondo è minacciato da un ritorno alla natura. Questa visione finalistica (di disvelamento, *apocalittica* appunto) ha influenzato per secoli le risposte dei sopravvissuti a un disastro sismico, saldando il sentimento religioso ed escatologico alla rassegnazione. L'interpretazione religiosa dei disastri ha anche ostacolato o rallentato, secondo i periodi storici, il percorso di razionalizzazione del terremoto come fenomeno della natura.

Parallelamente alle grandi visioni religiose del mondo, si sono sviluppate le interpretazioni sulle cause del terremoto come fenomeno naturale, consolidate in *teorie* vere e proprie. Per oltre duemila anni tali teorie non furono mai completamente disgiunte dalla religione e dalle ideologie. A volte teorie diverse si sono mescolate fra di loro in un risultato ecclettico, a volte sono convissute nello stesso periodo, oppure sono decadute lasciando il posto ad altre. Il grande settore di pensiero riguardante le cause naturali dei terremoti iniziò in area mediterranea nel VI secolo a.C. Fu una circolazione straordinaria di idee elaborate dai filosofi greci, che permeò poi anche il mondo latino e l'Occidente cristiano. Il terremoto fu diversamente definito come fenomeno causato dalla pressione dell'acqua sotterranea (Talete di Mileto, c. 625 a.C. –547 a.C.), dal fuoco (Anassagora, 496 a.C.– 428 a.C. c.), da crolli di caverne sotterranee (Teofrasto, 371 a.C. – 287 a.C.), o da una combinazione di questi elementi.

5 Fa riflettere che in nessuna università italiana si insegni la *storia dei disastri sismici*: professionisti del settore geologico, ingegneristico, restauratori, operatori dei beni culturali e insegnanti nel loro curriculum di studi non sono né informati né formati su questo tema, cruciale e frequente per il Paese.

IBOZA

Aristotele (384 a.C.–322 a.C.) nel trattato *Meteorologica* presenta una spiegazione elaborata entro una solida teoria, basata sull'osservazione diretta di fenomeni vulcanici e degli effetti sismici. Per questa straordinaria elaborazione Aristotele usò l'*analogia* e la *deduzione* e prese come modello dinamico i grandi fenomeni meteorologici delle tempeste e dei temporali. Questa teoria fu nota come la teoria del "vento" sotterraneo, lo *pneuma*, definito come risultato del differenziale termico fra diversi stati della materia terrestre sotterranea (caldo/freddo, umido/secco). La teoria aristotelica è quella durata in assoluto più a lungo nella storia della scienza occidentale, oltre due mila anni.

Epicuro (341 a-C.-270 a.C.), filosofo scettico, era contemporaneo di Aristotele, lo criticò e indicò il terremoto come "l'oggetto inconoscibile", in quanto sfuggiva all'osservazione diretta, generandosi sottoterra. Epicuro introdusse in questo tema un'*incertezza* invalicabile, che riemerse in modo consapevole solo molti secoli dopo, all'inizio dell'età moderna.

Il mondo latino dei filosofi naturali, degli enciclopedisti e dei poeti, che recepì dal mondo greco l'eredità culturale della *spiegazione* delle cause naturali dei terremoti, espresse spesso perplessità ad assumere una sola teoria e prevalse l'ecclettismo, che si protrasse per tutto l'alto Medioevo. Ma dal XIII secolo la filosofia di Aristotele si saldò con l'elaborazione teologica e filosofica della religione cristiana cattolica. Il pensiero geologico proveniva dai trattati di Alberto Magno (1206-1280), che conosceva le traduzioni arabe di Aristotele attraverso Avicenna (980-1037, filosofo, matematico e fisico persiano). Questi diversi complessi saperi furono elaborati nel "granitico" sistema filosofico-teologico cattolico di Tommaso d'Aquino (1225–1274, allievo di Alberto Magno). La saggia *incertezza* latina fu accantonata dal dogmatismo ecclesiastico che ne seguì.

Il Rinascimento, con il ritorno all'antichità, aprì invece le porte al dubbio e all'inquietudine della ricerca. Riguardo alle spiegazioni sull'origine dei terremoti, l'epoca moderna si aprì proprio con la critica alla teoria aristotelica dei venti, formulata da Georg Bauer (1494– 1555), conosciuto con il nome latinizzato di *Agricola*. Egli fondò la critica basandosi sulle sue esperienze di ingegnere minerario. Anche Girolamo Cardano (1501–1576), figura complessa del Rinascimento italiano e fondatore del calcolo della *probabilità*, aprì nuove strade alla riflessione sulle scienze naturali[6]. Ma fu Giordano Bruno (1548-1600) a porre le sconvolgenti premesse di un nuovo pensiero, svincolato dalle verità di fede, sintetizzando le spinte più creative del naturalismo rinascimentale. La Chiesa, dopo avere bruciato come eretico Giordano Bruno, continuò a opporsi alle idee che portavano un contributo critico sostanziale al sistema filosofico della Scolastica, le ritenne pericolose per le verità di fede e ne ostacolò gli sviluppi. Ma dall'inizio Seicento iniziò il percorso inarrestabile, lungo e impervio dell'autonomia fra fede e scienza, una storia nota e studiata, di cui il caso di Galilei rimane emblematico.

In quell'alveo si svilupparono teorie come il *fochismo,* affermatasi nel XVII secolo, e il vulcanesimo (sviluppata dal XVIII al XIX secolo), spiegazioni che ruotarono attorno al grande tema dei fuochi sotterranei, del centro o dei centri della Terra, tentando di dare una visione unitaria ai fenomeni sismici e vulcanici. Nel Settecento, riguardo all'origine dei terremoti, ebbe grande fortuna anche la teoria dell'elettricismo (Poirier 2008), che interpretava le scosse sismiche e lo scotimento dei suoli come effetto di scariche elettriche, con tanto di "prove esperimentali" pubbliche.

Diverse spiegazioni furono elaborate, convissero e furono superate, fino alla teoria attuale, dei primi decenni del Novecento, che spiega con la deriva dei continenti e la tettonica a placche la complessa dinamica sismica della Terra, entro la sua stessa storia geologica. A fare la differenza dalle spiegazioni precedenti fu il successivo supporto di dati empirici e strumentali. Accanto alla teoria della tettonica a placche, accettata dalla quasi totalità della comunità scientifica mondiale, coesiste, come è noto, una teoria alternativa, basata sulla espansione della Terra[7].

La spiegazione, vista nel lungo periodo, è simile a un grande e affaticato percorso, una risposta umana sempre ridiscussa e ritentata (sempre falsificata), a cui la scienza continua ad aggiungere dati strumentali di vario genere, applicando numerose e sempre più raffinate tecniche di rilevamento. Ma nei secoli passati, a sollecitare il procedere della spiegazione teorica fu soprattutto l'*osservazione umana diretta* del fenomeno sismico.

Osservare e descrivere un terremoto è stato un contributo importantissimo che spesso i sopravvissuti stessi hanno dato al pensiero naturalistico e scientifico del loro tempo. Resoconti e relazioni si rivolgevano non solo ai contemporanei, ma soprattutto ai posteri. I testimoni di forti terremoti descrissero i danni nei paesi e nelle città colpite, la tipologia degli effetti sugli edifici, sulle persone e nell'ambiente naturale; essi lasciarono anche dettagliate descrizioni dell'evoluzione cronologica delle scosse prima, durante e dopo un forte terremoto, tramandando alla memoria informazioni oggi importantissime.

In Italia l'osservazione dei fenomeni naturali, e dei terremoti in particolare, fu assai precoce rispetto ad altri paesi europei e fu costantemente in crescita. Siamo sorpresi dall'accurata descrizione del terremoto di Brescia del 1222 o da quelle, ancora più numerose e dettagliate, del terremoto del 1456, dell'Italia centro-meridionale[8], o di quelle del 1461 dell'Aquila, la prima sequenza sismica italiana descritta giornalmente con i relativi effetti (Guidoboni e Comastri 2005, pp. 733-742). Nel XV secolo iniziò veramente un'epoca d'oro per le osservazioni dirette dei terremoti, in cui fu prodotta una mole enorme di descrizioni e di dati che, oltre al loro uso parametrico in sismologia, sono preziosi per la storia delle culture e delle idee.

RICOSTRUIRE

Questo secondo punto, ricostruire o abbandonare, è un nodo storico di grande attualità, che appartiene a una storia secolare dell'Italia. È ancora nelle culture e negli autori antichi del Mediterraneo che affondano le radici di questo dramma contemporaneo.

Strabone (storico e geografo greco, 60 a.C.–21/24 d.C.), a proposito della persistenza abitativa di Filadelfia (l'attuale Alasehir, in Turchia), colpita dal grande terremoto del 17 d.C.[9] espresse alcune perplessità sul livello di rischio accettato da quegli abitanti, che non avevano voluto lasciare la città. I terremoti colpivano tanto di frequente Filadelfia, egli ricorda, da divenire una caratteristica stabile e scrive:

I muri ininterrottamente si crepano, e ora l'una ora l'altra parte della città subisce danni. Pertanto per questa ragione pochi abitano la città [...]. Tuttavia ci si può meravigliare anche di quei pochi, che sono così *attaccati* alla loro città, pur avendo abitazioni malsicure (Strabone, *Geographia*, XIII, 4).

L'*attaccamento* condiziona da sempre la risposta dei sopravvissuti verso la ricostruzione e la convivenza con il terremoto. Ma

6 Di Cardano vorrei ricordare qui l'enorme opera *De subtilitate*, vera enciclopedia della scienza del XVI secolo.

7 Si veda il XXXVII corso della International School of Geophysics di Erice, 2012, a cura di Giancarlo Scalera: The Earth Expansion Evidence: a Challenge for Geology, Geophysics and Astronomy, e relative pubblicazioni.

8 È il disastro sismico più documentato del basso medioevo italiano: in Guidoboni e Comastri (2005, pp. 625-723): per la prima volta è stato attestato per questo evento, di cui si conosceva un solo epicentro, un cluster di quattro terremoti, che hanno messo in luce un meccanismo tettonico prima sconosciuto; sulla base di questo studio si veda Fracassi e Valensise (2007).

9 Si veda Guidoboni *et al.*1994, pp.180-185.

ANTEPRIMA

occorre fare i conti con l'inquilina di sempre delle aree sismiche, ossia l'*insicurezza*. Fino a che punto è accettabile l'insicurezza?

Anche oggi, a un anno dal disastro sismico di Amatrice e di Norcia e di tanti altri paesi dell'Italia centrale, vediamo le popolazioni colpite ribadire questo *attaccamento* ai loro paesi e alle loro terre come il principio base della ricostruzione. Lì i sopravvissuti vogliono ricostruire, ripartendo da quelle rovine, ossia dove già erano le loro case, in verità debolissime o mal costruite o male ammodernate.

La ricostruzione, intesa come attaccamento a un luogo, è anche un percorso psicologico individuale e di relazioni interpersonali. Forse proprio su questo si basa quella capacità di reagire che noi oggi chiamiamo *resilienza*. Il termine infatti, come è noto, non significa "resistere" al disastro, quanto piuttosto *balzare su*, trovare nei fili spezzati delle comunità l'energia che dà la forma nuova. La parola viene dalla metallurgia e dalla risposta dei metalli a riprendere forma dopo una prova di rottura. Ciò significa, nella scena della catastrofe, ricominciare con energie nuove a pensarsi nel futuro, e ciò richiede anche risorse e spinte ideali dalla comunità civile nazionale.

Ma ricostruire con questo spirito e condizioni, nella storia italiana non è stato quasi mai possibile. All'indagine storica le ricostruzioni del passato emergono sempre faticose, tortuose, lunghissime, spesso scoraggianti e piene di soprusi e di ingiustizie infinite. Le ricostruzioni sono una fase di grande incertezza e instabilità abitativa, di disagi sociali, di perdite assolute. Niente è più come prima, si è davvero davanti alla fine del proprio mondo.

Ma assieme a queste tante negatività e sofferenze, ci sono anche opportunità nuove. A vantaggio di chi? Nel breve o nel lungo termine? L'analisi storica delle ricostruzioni fa emergere queste dinamiche declinate nei vari contesti storici ed economici.

Oggi davanti a un disastro sismico siamo coinvolti emotivamente, e si aderisce subito a una fase di grande solidarietà e partecipazione che ha radici profonde, ma piuttosto recenti. Se ci chiediamo se i disastri sismici siano stati in passato occasione di *pietas* per i sopravvissuti, forse restiamo stupiti. Infatti, i disastri sismici non sollecitavano quasi mai risposte di compassione e di solidarietà. Un po' perché i disastri erano sentiti come segni divini sfavorevoli, un po' perché subentravano interessi e avidità. Infatti nel mondo antico e altomedievale i sopravvissuti a un terremoto erano esposti a una pratica diffusa e crudele: attacchi armati da parte di popolazioni limitrofe, saccheggi e ulteriori devastazioni. È un'immagine piuttosto inquietante della persistente aggressività umana.

I casi di rapina post sismica (che oggi, fortunatamente, in forme del tutto sporadiche e non tollerate, chiamiamo "sciacallaggio") sono stati una costante storica nel lungo periodo, tanto da non essere nemmeno ricordati esplicitamente nelle fonti. Piuttosto le fonti ricordano i casi in cui queste depredazioni *non* avvenivano. Per esempio, Leone Ostiense (o Leone Marsicano, 1046-1115, bibliotecario del monastero di Montecassino, poi cardinale) nella sua *Chronica* ricorda – e con lui anche l'anonimo *Chronicon Vulturnense* – che nel giugno 848 un violento terremoto aveva atterrato Isernia (in Molise). Le armate del condottiero arabo Abu Massar risalivano dalla conquistata Sicilia verso l'Italia centrale per depredare paesi e città. Massar fu informato che le mura di Isernia erano crollate per un terremoto e la cosa avrebbe favorito come d'uso la depredazione. Ma il condottiero arabo, secondo i testi monastici sopra menzionati, avrebbe detto: "Il Signore di tutte le cose è adirato contro Isernia: chi sono io per infierire ancora?" Si astenne dal depredare la città e tornò indietro.

Ma anche quando non c'era un'esposizione diretta alla rapina, la ripresa del sistema abitativo e della sua funzionalità sono state sempre difficili e travagliate. Dalla storia moderna a oggi (ossia negli ultimi cinque secoli) grazie a una mole considerevole di documentazione archivistica e memorialistica, possiamo constatare che le ricostruzioni hanno sempre accelerato processi sociali già in corso e mostrato, senza la copertura della retorica e delle ideologie, come funzionava la macchina amministrativa e di governo dell'area colpita. Nuovi conflitti esplodevano fra poteri locali e centrali, fra diversi ambiti dei poteri istituzionali (pubblici ed ecclesiastici), fra scelte politiche e bisogni della popolazione Non c'è ricostruzione che non contenga questo contesto conflittuale.

Le distruzioni e le ricostruzioni sono state non solo uno straordinario rivelatore del funzionamento del potere, ma anche un acceleratore di situazioni in corso. Difficoltà economiche latenti esplodevano senza soluzione, iniziando decenni di miseria. Talvolta invece le distruzioni hanno aperto prospettive urbanistiche ed economiche nuove. Ma per realizzare la ricostruzione di una città o di interi paesi è necessario un *motore,* per così dire: come definirlo storicamente? Sia che parta dalla società o da un potere centrale, qualcosa di dinamico si mette in moto, una sorta di *rappresentazione del futuro* che riguarda la popolazione colpita e che viene condivisa da una comunità più grande che la sostiene. Come nasce tale progettualità? Come emergono i nuovi protagonisti?

IN BOZZA

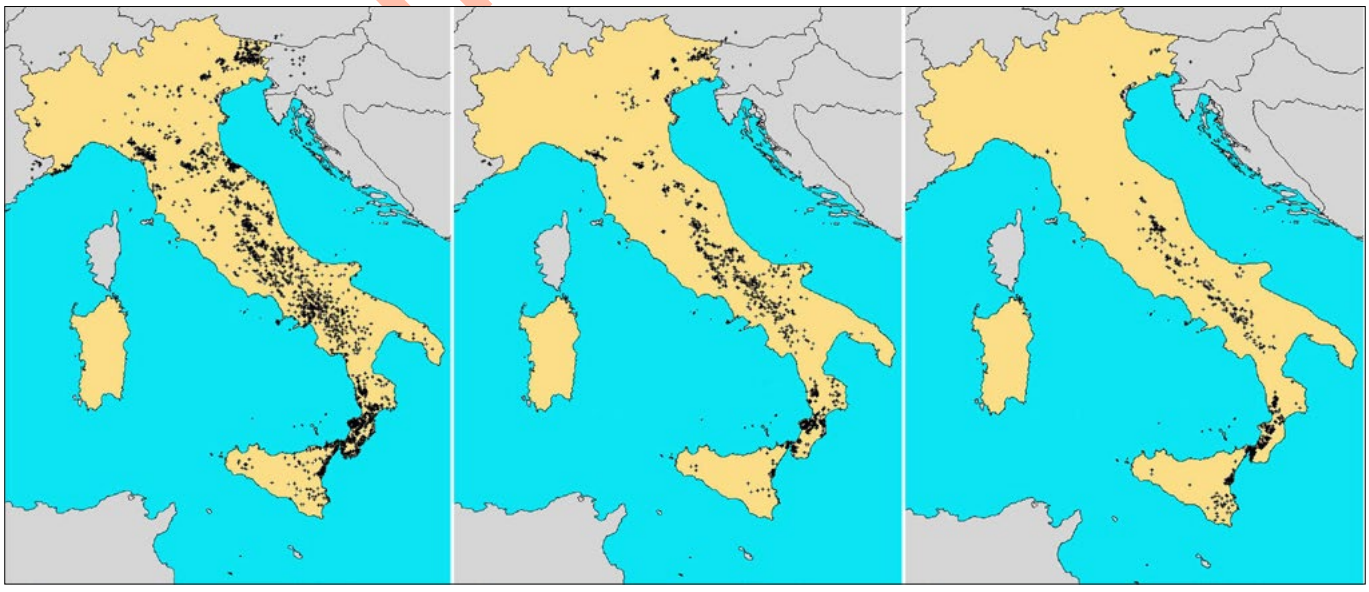


Figura 3 – Le tre mappe localizzano i siti che hanno subito in passato distruzioni gravi, a partire dal grado VIII MCS. Da sinistra*: i siti che hanno subito effetti locali di VIII grado MCS sono oltre 2140; gli scenari di danno sono 2887, perché ci sono siti che hanno subito più di una volta tali effetti.* Al centro*: gli effetti locali di grado IX, che hanno interessato 1012 siti; gli scenari di effetti sono 1170.* A destra*: gli effetti di grado X e XI che hanno distrutto 541 siti; gli scenari sono 586. Come si può osservare gli effetti più gravi e ripetuti riguardano l'Appennino centrale e la Calabria (dati elaborati da CFTI4Med)*

Le ricostruzione hanno bisogno di molti mezzi economici, di persone che scelgano e decidano, di progetti, di idee, ma soprattutto, io penso, di una visione del futuro. Tuttavia, la maggior parte delle ricostruzioni in Italia, dal medioevo ai primi decenni del Novecento, non hanno avuto un progetto. Sono noti oltre 4.800 siti italiani che hanno subito effetti distruttivi gravissimi (dall'VIII all'XI MCS). Se si abbassa solo di un grado l'intensità degli effetti (ossia si comprende anche i gradi VII e VII-VIII) si aggiungono 6.640 occorrenze, portando a oltre 11.400 le occorrenze di danni importanti e distruzioni nei siti italiani *Fig.* 3.

Nella maggior parte dei casi, dopo il disastro è prevalsa una mera ricerca di sopravvivenza nel presente, rispondendo al bisogno immediato di vivere giorno per giorno. Le tante, troppe ricostruzioni povere che hanno segnato la storia dei territori oggi italiani non hanno avuto nei secoli mezzi economici e tutele di governo. Prevalse una situazione di indigenza e di lontananza dalle istituzioni, in cui spesso il patrimonio edilizio ricostruito era peggiore di quello precedente al terremoto. Ma alcune grandi ricostruzioni ci sono state e hanno avuto progetti o riflessioni importanti, che hanno impresso una svolta straordinaria alla storia urbanistica delle aree colpite. Talvolta proprio in queste fasi sono state messe le basi culturali di una possibile prevenzione o, al contrario, le premesse di successive rovine.

Di questi tumultuosi post–terremoto, quando tutto sembra andare verso la fine e il futuro è incerto, vorrei ricordare ancora una volta il caso del terremoto del 1570, che aveva danneggiato Ferrara, una delle corti rinascimentali più importanti d'Europa. La ricostruzione fu realizzata in gran fretta, sotto l'urgenza del potere ducale di tenere popolata la città, in un affanno politico ed economico che non garantiva la qualità della ricostruzione. Ma quel dopo-terremoto ha lasciato un'eredità preziosa: l'analisi dei crolli e delle riflessioni sulla sicurezza abitativa, scritte da Pirro Ligorio (1513-1583), grande architetto della Roma papale e testimone diretto di quell'evento. Nel suo trattato (Ligorio 1571) indicò l'alta vulnerabilità degli edifici di Ferrara come causa dei crolli e ne spiegò gli aspetti meccanici. Ligorio mise in evidenza che il terremoto sempre imprimeva spinte orizzontali ai muri: lo fece usando il paragone dell'*ariete*, l'antica macchina da guerra da sfondamento. Osservò che in genere i muri erano deboli per il "nemico" terremoto, perché costruiti solo per sostenere il peso dei tetti.

La sua analisi da esperto costruttore lo portò a elaborare il primo progetto di casa antisismica dell'area occidentale. Questo progetto è introdotto da un'affermazione che a mio parere suona, a quasi cinquecento anni di distanza, come un obiettivo ancora da realizzare e che contiene la potenzialità di una svolta culturale straordinaria, finora non realizzata nel nostro Paese. Ligorio scrisse: *Difendersi dai terremoti è un dovere dell'intelletto umano.* Possiamo ricordare la mancata applicazione di questo imperativo come una grande occasione mancata per la cultura e la società in Italia.

Per secoli furono solo gli affreschi nelle chiese, o le pale dipinte con le immagini dei santi protettori, o gli ex-voto di alcuni santuari a ricordare ai contemporanei e ai posteri che i terremoti incombono sul futuro, e che sono eventi da non dimenticare e da cui difendersi.

In passato, nel sentire comune, i terremoti erano eventi del tutto casuali e imprevedibili, a cui solo la rassegnazione e il sentimento religioso offrivano una risposta; quindi solo i miracoli, il caso o la fortuna potevano essere d'aiuto. *Fig.* 4. Questo "sentire" serpeggia anche oggi ed emerge come una pericolosa deriva fatalista in un contesto culturale in cui la scienza ha fatto passi da gigante.

LE "CATENE" DI DISTRUZIONI E RICOSTRUZIONI

Alcuni decenni dopo il disastro di Lisbona (1755), che aveva scosso le coscienze europee, ci fu l'imponente crisi sismica del 1783 che distrusse la Calabria centro-meridionale e il messinese, terre appartenenti ai Borboni di Napoli. È questo un evento documentatissimo, e la sismologia storica ha potuto mettere in luce, attraverso un lavoro minuzioso e paziente sulle testimonianze scritte, che le enormi distruzioni furono causate da un cluster di cinque terremoti accaduti fra il febbraio e il marzo 1783, ognuno seguito da centinaia e centinaia di forti scosse sentite con paura dalla popolazione. Le rovine furono così estese



Figura 4 – Terremoto del 13 gennaio 1832 (Mw 6.4 Io X). A Foligno una violenta scossa di terremoto (VIII MCS) scuote la città durante uno spettacolo musicale. Un tenore riesce a mettersi in salvo illeso dal teatro semi crollato. Questo suo ex-voto fissa nella memoria quel "miracolo" (particolare della tavoletta conservata nel Santuario della Madonna delle Grazie di Cesena).

e irrimediabili da far scrivere ad alcuni filosofi del tempo sulla "bellezza della catastrofe". Più la catastrofe è grande – scrivevano – più forte e innovativa sarà la rinascita. Ma la storia è ben più severa e drammatica degli assunti dei filosofi.

Ci fu un grande progetto di ricostruzione. Il governo borbonico di Napoli adottò un profilo riformista attraverso il suo ministro e viceré Domenico Caracciolo, che intese fare di quel disastro un'occasione per ammodernare l'economia calabrese, costruendo siti nuovi, con piante geometriche regolari e un'edilizia appositamente progettata. Si voleva mirare non più alla città "bella" (come era stato nella ricostruzione dopo la catastrofe del 1693, nella Sicilia orientale), ma alla "*città sicura*". La ricostruzione ebbe norme specifiche, le prime ufficiali, note come *Istruzioni Reali* o *Norme Pignatelli*, dal nome del generale che le divulgò, vicario per le Calabrie. Si diffuse anche la casa antisismica intelaiata di legno, che fu poi chiamata a torto nell'Ottocento "casa baraccata", in cui si utilizzava il traliccio ligneo riempito da materiali diversi (terra cruda, mista o laterizio ecc.).

Ma dove prendere i mezzi economici per quella vasta ricostruzione? Questo è il problema comune a tutte le ricostruzioni, e anche causa di fallimenti e miseria dopo un disastro sismico. Nella Calabria post 1783 fu deciso che i mezzi economici dovevano essere reperiti dalla vendita delle terre requisite ai latifondi della Chiesa e dei baroni. Fu un progetto ambizioso, ma in gran parte inattuato per i forti conflitti economico-sociali che scatenò: i baroni e la grande proprietà ecclesiastica contro il potere centrale. A quel contesto di conflittualità interna si aggiunse l'invasione francese di Napoli del 1798-99, con la fuga temporanea del re Ferdinando I di Borbone. Una crisi politica e istituzionale fortemente destabilizzante affossò quel progetto; il generale Pignatelli, che nel gennaio 1799 aveva firmato con i francesi un armistizio, fu fatto arrestare dal re e incarcerare.

Le normative per una nuova sicurezza antisismica, in quello sfacelo istituzionale, non furono vincolanti, né prima erano state previste azioni repressive se non seguite. Le norme, nel sentire comune, erano piuttosto dei *consigli esperti*. La ricostruzione procedette a rilento e con molte oscillazioni. Chi poteva e voleva applicava le *Istruzioni*.

Quasi tre generazioni di calabresi vissero nella più totale instabilità abitativa, che causò nuovi conflitti, dispersione della popolazione, crisi produttive e alimentari, quindi epidemie e spopolamento. Quello fu un tragico dopo-terremoto, che lasciò segni pesantissimi nella cultura calabrese, caricando di pessimismo i tentativi di ridisegnare il futuro. Si poteva solo sopravvivere.

Ma la storia non finì lì, perché le ricostruzioni sono spesso anelli in una catena di successive distruzioni. Nel 1783 Messina era stata molto danneggiata. Goethe (1816) la descrisse alcuni anni dopo, nel 1787, come "la città dei morti". La ricostruzione della città fu realizzata negli ultimi decenni del Settecento con scarsissimi controlli e con attenzione più all'estetica architettonica che alla sicurezza. Quella fragile ricostruzione di Messina fu poi concausa del crollo totale della città quando, poco più di un secolo dopo, accadde il violento terremoto del 1908 dello Stretto (lo XI M_w7). Quel terremoto "collaudò" la ricostruzione di fine Settecento: nel 1908 a Messina i morti furono oltre 65.000 su 110 mila residenti.

Solo dopo il terremoto del 1908, come è noto, iniziarono le prime normative d'Italia. Il criterio adottato fu molto opinabile, perché vincolava solo i comuni che via via a partire dal 1908 subirono forti terremoti. Non era quindi una normativa in grado di *tutelare* nel breve e medio periodo. Il governo avrebbe potuto applicare criteri diversi? Sì, perché era già disponibile non solo una visione d'insieme della sismicità italiana nel lungo periodo, dovuta alla grande cultura erudita del Sei e Settecento, ma anche una mole straordinaria di dati sismici storici puntuali, grazie alla importante opera di Mario Baratta, un pilastro della sismologia contemporanea. Egli aveva dedicato al grande tema storico-geografico dei terremoti d'Italia oltre dieci anni di ricerche, grazie anche a una straordinaria rete di collaboratori in tutto il Paese.

Le prime normative italiane del 1909, benché concettualmente limitate nella loro applicazione, avrebbero tuttavia potuto realizzare nel tempo una qualche forma di prevenzione, se ben applicate nei decenni a seguire, vista la frequenza dei terremoti in Italia. Ma così non fu. E già nel 1927 iniziò la storia della *declassificazione* sismica, un tormentone italiano – probabilmente incomprensibile in paesi come Giappone o Cile – risultato di un disequilibrio fra saperi tecnici e scelte politiche.

Le ricostruzioni hanno un ruolo fondamentale nella storia urbanistica dei siti.

Ricostruire bene assume nella storia il significato di interrompere la catena di effetti disastrosi, che hanno segnato centinaia e centinaia di paesi e decine di città in Italia.

ABBANDONARE

Abbandonare è l'altra faccia della risposta a una grave distruzione. I siti abbandonati dopo un disastro sismico disegnano in Italia e in alcuni altri paesi del Mediterraneo un paesaggio della rovina, di cui spesso si sono perse le cause, materia di ricerca per storici e archeologi del futuro.

Perché si abbandona un sito? Il terremoto può diventare l'ultima e decisiva fase di una crisi economica e demografica in corso e indurre all'abbandono totale, anche spontaneo. Se questo è stato vero per secoli nel mondo antico e medievale, non lo è più in epoca moderna e contemporanea. Infatti, in Italia, a partire dalla fine del XVII secolo, furono i governi centrali a decidere se ricostruire i luoghi distrutti nello stesso sito, oppure abbandonarli e rifondarli *ex novo* su terreni ritenuti migliori o anche solo per fini speculativi ed economici. I progetti di nuove fondazioni di paesi hanno determinato abbandoni di numerosi luoghi anche negli ultimi due secoli. Leggi e decreti governativi sono alla base di abbandoni per lo più forzati: quasi sempre – come d'altronde anche oggi – gli abitanti *non* volevano lasciare il loro paese, i loro campi, le loro bestie, in passato dissuasi con la forza militare.

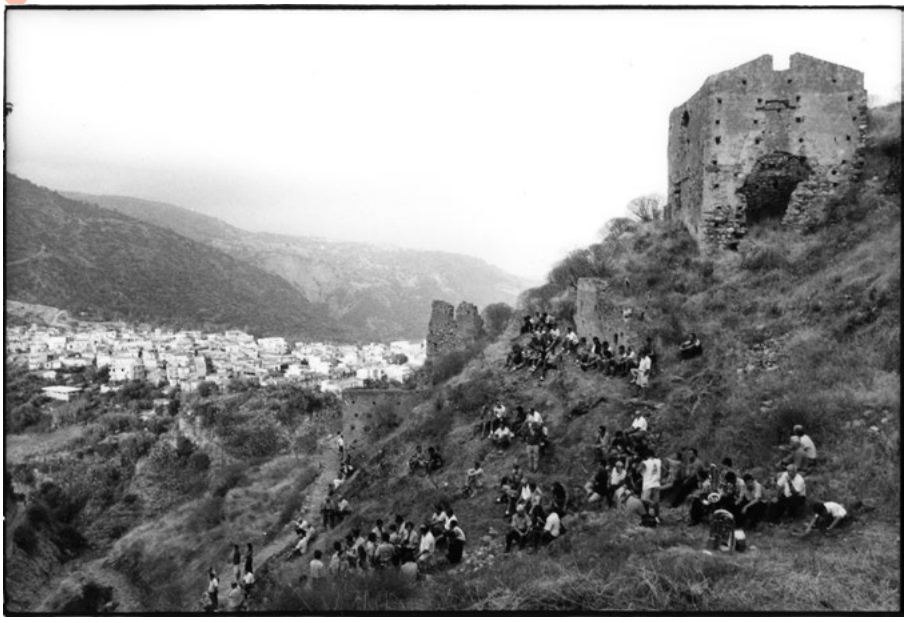


Figura 5 – Precacore Samo (Calabria): gli abitanti di oggi in un ritorno rituale alle rovine del vecchio paese (foto di Vito Teti, gentilmente concessa)

ANTEPRIMA

Nell'Italia del Sud, in particolare in Calabria, alcuni paesi ufficialmente abbandonati, contro ogni apparenza, non lo sono mai stati del tutto, perché gli abitanti continuano anche oggi un rapporto simbolico con ritorni collettivi rituali, come a Precacore Samo, nell'area sud orientale dell'Aspromonte. Come si può vedere dalla immagine della *Fig.* 5 gli abitanti di oggi, abbarbicati sulle rovine del vecchio paese abbandonato, guardano il paese nuovo, una macchia bianca più a valle. Questa è forse un'immagine contemporanea di quell'attaccamento, già rilevato sopra da Strabone, e di cui Vito Teti (2004, 2017) ci presenta nei suoi civilissimi libri le diverse e numerose connessioni.

CONCLUSIONE: ADATTAMENTO E POSTERITÀ, DUE NODI DA SCIOGLIERE

Il terzo punto delle risposte ai disastri sismici, elencato all'inizio, è l'*adattamento*.

I terremoti sono stati, assieme alle guerre, il più grande rischio di distruzione nel mondo antico e moderno, e purtroppo lo sono ancora nel mondo contemporaneo. Con il passare dei secoli, in modo generalizzato, le società umane hanno *accumulato* rischi. E questo è vero anche per l'Italia, che pure è un paese avanzato, industriale e di antica cultura.

A livello globale, gli impatti distruttivi dei terremoti tendono inesorabilmente ad aumentare: non solo per la crescita della scala demografica nelle megalopoli del mondo, ma soprattutto per l'aumento di aree di povertà, quindi di costruzioni di cattiva qualità, attorno e dentro le grandi città del pianeta.

Conoscere il passato sismico di un Paese significa avere un'idea di quello che sarà il suo futuro a medio e a lungo termine. Ma non basta sapere che nel lungo periodo la sismicità ci appare come stabile e che l'ingegneria sa come si costruiscono edifici sicuri e antisismici; non basta neppure avere normative. Purtroppo i disastri sismici non si fermano solo con le conoscenze tecnico-scientifiche e con le leggi: è indispensabile una risposta sociale condivisa, che implichi conoscenza del problema, assunzione di responsabilità e soluzioni da chiedere a chi governa, per realizzare azioni concrete per il breve e medio periodo.

Sappiamo che il livello di rischio di una società sviluppata è quello che essa stessa accetta di avere, facendo o non facendo prevenzione, costruendo e ricostruendo bene o male. Che cosa è dunque l'*adattamento* se non il rendere operante l'attesa del prossimo terremoto?

Una società sviluppata può scegliere se spendere per un vantaggio futuro incerto (nessuno sa *quando* accadrà il prossimo evento distruttivo, né *dove* esattamente colpirà), oppure affidarsi alla sorte e rischiare di subire ogni volta perdite di vite umane e di beni. Perché in un'area a rischio sismico come l'Italia non si è formato un vero *adattamento*? È forse solo un problema di irresponsabilità, di corruzione dei costruttori, di ignoranza diffusa o di incapacità degli amministratori? O di vetustà del patrimonio edilizio storico, a cui non si vuole né si può rinunciare?

Certamente diversi elementi hanno concorso nel tempo a questo risultato: debolezza istituzionale, oscillazioni decisionali, mancanza di forme di controllo coercitive o, al contrario, premiali per l'attuazione di norme; e poi ancora eccessi di individualismo, illegalità, speculazioni e si potrebbe continuare. Ma, a mio parere, il mancato *adattamento* ai terremoti – ossia sapere dare risposte adeguate a questa sfida – ha all'origine una percezione sfocata di *posterità*, una sorta di irrilevanza verso scelte che invece determinano il futuro in questo settore.

Negli ultimi decenni in Italia, pur sotto l'incalzare di imponenti disastri sismici, non c'è stata una riflessione nuova e trascinante. Il Paese stesso è sembrato incatenato a un affannoso presente (crisi politiche, crisi ideologiche, crisi economiche), anche quando sarebbe stato possibile, per conoscenze scientifiche e mezzi disponibili, imprimere una svolta decisiva nella *cultura* del Paese. Questa particolare declinazione di futuro, ossia la *posterità*, non ha avuto, né ha oggi, una forza strutturante in grado di produrre scelte e risposte forti e di imporle con tenacia nel tempo. Sono mancate cultura, formazione allargata e l'idea stessa di futuro.

Mi viene in mente la lucidità con cui diversi autori del passato descrivevano il terremoto distruttivo vissuto, per i posteri, perché sapessero che quel caso poteva ancora succedere. E come non ricordare ancora Ligorio quando, introducendo il suo progetto di casa antisismica, scriveva: "*Mi faccio avanti per un altro secolo*"? Non quindi i soli contemporanei erano i destinatari del progetto, ma soprattutto i *posteri.*

Ma chi sono per noi oggi i *posteri*? Dove stanno nell'orizzonte in cui si affollano rischi vecchi e nuovi, naturali e antropici? Come evitare una deriva fatalista, nonostante i progressi della scienza e della tecnica in questo settore?

A mio parere occorre ripartire dalla conoscenza, dalla divulgazione della storia dei luoghi e dei disastri accaduti, che sono, per così dire, la nostra foto di famiglia (con tutte le sofferenze umane e i mutamenti) e nello stesso tempo una storia secolare, di cui prendere coscienza e da cui ripartire. Per questo obiettivo dovrebbero agire in primo luogo, non tanto la Protezione civile, già affaticata dal suo compito primario, (l'emergenza), quanto piuttosto, e in modo prioritario, le istituzioni che hanno la responsabilità della formazione scientifica e umanistica, ossia la scuola e le università, purtroppo invece pertinacemente assenti.

La storia dei terremoti, al di là della sua applicazione al settore della pericolosità, ha dimostrato che i disastri possono essere studiati, analizzati e capiti come altri eventi della storia. Eppure nessun manuale di storia se ne occupa: anzi, dai testi scolastici sembra che i disastri sismici non abbiano mai sfiorato il Paese, persino quando i contemporanei stessi li definivano tragicamente come guerre perdute.

Occorre una buona conoscenza del passato per elaborare una vigorosa e condivisa *rappresentazione sociale del futuro*, ossia per realizzare un futuro. Altrimenti, come tante volte è già accaduto, le rovine del presente diventano in poco tempo un passato, da cui prendere le distanze e dimenticare.

BIBLIOGRAFIA

Cecere D. (2013), *"Questa popolazione è divisa d'animi, come lo è di abitazioni". Note sui conflitti legati alla ricostruzione post-sismica in Calabria dopo il 1783*, in Dimensioni e problemi della ricerca storica, 2, pp. 191-220.

Fracassi U. e Valensise G. (2007), *Unveiling the sources of the catastrophic 1456 multiple earthquake: hints to an unexplored tectonic mechanism in Southern Italy,* BSSA, Vol. 97, no. 3, pp. 725-748. doi: 10.1785/0120050250.

Goethe, J.W. (1816), *Italiaenische Reise [1786-1788]*, Monaco (ultima edizione in it.: *Viaggio in Italia*, Milano, 2016).

Guidoboni E., G. Ferrari, D. Mariotti, A. Comastri, G. Tarabusi and G. Valensise (2007), *CFTI4Med: Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*, INGV, http://storing.ingv.it/cfti4med.

Guidoboni e Comastri (2005), *Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean area: 11th-15th century*, Bologna, INGV-SGA, 1034 pp.

E. Guidoboni, A. Comastri, G. Traina (1994), *Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean area up to 10th century*, ING-SGA, Bologna.

Guidoboni, E., and J. E. Ebel (2009), *Earthquakes and Tsunamis in the Past: a Guide to Techniques in Historical Seismology.* Cambridge University Press, 604 pp. ISBN: 978-0-521-83795-8.

Guidoboni E. e Valensise G. (2011), *Il peso economico e sociale dei disastri sismici in Italia negli ultimi 150 anni (1861-2011)*, Centro EEDIS- INGV, Bononia University Press, Bologna, pp.552.

Ligorio Pirro ([1571] 2006), ed. critica a cura di E. Guidoboni: *Libro di diversi terremoti, codice 28 delle Antichità Romane*, Archivio di Stato di Torino, Edizione Nazionale delle Opere di Pirro Ligorio, Roma, De Luca Editore.

Poirier J-P. (2008), *L'abbé Bertholon: un électricien des Lumières en province*, Ed. Her mann, Paris, 2008.

Teti V. (2004), *Il senso dei luoghi. Paesi abbandonati in Calabria*, Donzelli, Roma.

Teti V. (2017), *Quel che resta. L'Italia dei paesi, tra abbandoni e ritorni*, Donzelli, Roma.

Vitaliano D.B. (1973), *Legends of the Earth: their geologic origins*, Indiana Univ. Press.

In bozza

La “prevenzione del giorno dopo” e quella per il nuovo secolo

The “day after prevention” and that for the new century

Roberto De Marco

Parole chiave (*key words*): Prevenzione (*prevention*), terremoto (*earthquake*), vulnerabilità (*vulnerability*), Sicurezza (*safety*), emergenza (*emergency*), sismabonus (*sismabonus*) ,rischio (*risk*), Pianificazione (*planning*), strategia (*stretegy*)

1. I TERREMOTI SEMPRE INATTESI

Nel 2009, L’Aquila, dopo una lunghissima sequenza, ha subito la scossa distruttrice senza alcun presidio, senza qualche necessaria precauzione, senza un’utile proiezione circa l’impatto di eventi che dovevano essere considerati possibili, in quello scenario, per la semplice ragione che la sua storia ne è piena. In Emilia, tre anni dopo, è sembrato che nessuno si fosse mai chiesto cosa sarebbe potuto accadere ad intere filiere produttive, ricche quanto incredibilmente fragili, se un terremoto si fosse riproposto.

Nel 2016 ad Amatrice, in un’area ad alta sismicità, si è avuto un inequivocabile riscontro alla ben nota incapacità dell’ultrasecolare azione di prevenzione di assicurare accettabili livelli di sicurezza; così quel territorio è stato raso al suolo, più o meno come già successo tante volte, e la giustizia ne indaga ora le cause. Infine a Casamicciola, già distrutta nel 1883, l’ultimo terremoto ha fatto intendere come l’abuso edilizio sia stato interpretato per decenni come una pratica illegale per la quale, in un modo o nell’altro, si sarebbe alla fine trovata una soluzione e, allo stesso tempo, come non vi sia stato alcun allarme per l’aumento delle condizioni di rischio che un’infinità di edifici prodotti da quell’illegalità, mal costruiti in luoghi inadatti, andavano determinando. Insomma, un inizio secolo eloquente, oltre 600 vittime e una sessantina di miliardi di danni per ricostruzioni sempre più costose. L’insufficienza di prevenzione si è mostrata ripetutamente nella sua dimensione e rende inaccettabile il disastro che sembra essere sempre inatteso.

La nozione di pericolosità sismica del paese è sostenuta da una robusta statistica; uno, due millenni di storia e di cronaca che tolgono qualsiasi speranza per un futuro meno severo. È la drammatica certezza che capiterà ancora, che un attimo dopo la catastrofe fa esprimere allo Stato l’impegno perentorio, la promessa ambiziosa: *il governo si mobiliterà affinché queste cose non capitino più*. È la prevenzione del “giorno dopo”, un ossimoro incredibile, ma è un comportamento reiterato, mosso da un bel po’ di coscienza opaca per avere già disatteso l’impegno assunto la penultima volta. È la voce del Governo *pro tempore* che vuol avere una funzione tranquillizzante, sedativa nei confronti delle reazioni, delle polemiche montanti sulle macerie. Si cerca di chi è la colpa, si denuncia la lentezza dei soccorsi, il collasso di edifici che non dovrebbero subirlo: di scuole, di ospedali, delle sedi di funzioni e servizi dai quali si dovrebbe muovere chi soccorre piuttosto di esser esse stesse soccorse.

Il mancato allarme, il “si poteva prevedere”, spunta quasi sempre, per ignoranza, presunzione, interessi inconfessabili ma, qualche volta, anche con una piccola ragione, soprattutto se il segno sulle carte del rischio aveva un colore rosso scuro e se, ogni tanto, un terremoto cortese aveva lanciato ripetutamente qualche segnale, che non si è voluto riconoscere, del suo possibile arrivo ignorando ogni principio di precauzione. Si cerca allora di recuperare terreno nel divenire del dopo disastro, prefigurando interventi risolutivi, grandi ed impegnativi programmi che dovrebbero essere scritti e poi davvero realizzati. È quella stessa politica che cercherà di mostrare grande efficienza nell’emergenza e che poi avrà a che fare per ben oltre un decennio con l’ennesima, costosissima ricostruzione che tuttavia, nonostante il ricorso ad una solidarietà senza limiti, non riesce quasi mai ad essere davvero pronta ed efficace.

Queste due fasi, emergenza e ricostruzione, dissipano ogni forza verso la soluzione almeno parziale del problema, la riduzione del rischio viene derubricata; talvolta, per altre logiche, si interviene sul territorio addirittura in senso contrario, e si prepara in questo modo il terreno per un futuro ancora disastroso. Alla base un processo di smemorizzazione, complice la comunicazione; tra i cittadini prende piede la consolatoria, infondata, forse inespressa ma covata convinzione che quelle cose che tempo fa sono successe “proprio lì” non potranno, chissà perché, tornare ad accadere. Così succede, magari nel ’16 e ’17 ad Amatrice, a Norcia ed a Casamicciola, da sempre aree dove il terremoto ritorna, ancora una volta inatteso.

Sembra a questo punto evidente che l’atteggiamento da respingere sia proprio quello delle politiche di prevenzione dettate sopra le macerie fumanti. Dovrebbe essere un problema da affrontare in assenza della tensione del recente disastro, della pressione per l’avvio di una difficile ricostruzione, della necessità di recuperare un po’ di credibilità rispetto alla debolezza appena verificata del fare prevenzione. Agire in tempo di quiete, insomma, nelle pause della ricorrenza degli eventi che sistematicamente colpiscono il paese, piuttosto utilizzate invece per dimenticare gli impegni presi. Promesse quasi sempre velleitarie, grandi progetti dalla vita breve o, al massimo, dal futuro stentato, quelli annunciati ogni giorno dopo.

Nel 2002 a San Giuliano di Puglia un piccolo terremoto causò il dramma enorme della perdita di un intera scolaresca, ed allora si varò un piano di messa in sicurezza delle scuole di tutt’Italia. Certamente un impegno necessario, solo che ancora oggi, quindici anni dopo, è lontano dal concludersi. Nel 2009, con la legge n.77, con cui il Governo avviava la tribolata ricostruzione di L’Aquila, veniva preso un impegno ambizioso già nel titolo dell’art.11: “Piano nazionale di riduzione del rischio sismico”. Fu ancora una volta un provvedimento tampone, il tentativo di riparare all’evidente sottovalutazione del rischio mostrata in quell’occasione, prima della distruzione. Quell’articolo contemplava un finanziamento per l’intero territorio nazio-

in bozza

nale di 965 milioni di Euro, spalmato in sette annualità. A conti fatti, a ciascuno dei 2893 comuni individuati come a maggior rischio sul territorio nazionale -se questi fossero stati scelti come destinatari dei finanziamenti- sarebbero toccati 330mila Euro, l'incredibile cifra di 43mila Euro l'anno. Nonostante la sua obiettiva inconsistenza, quell'intervento legislativo venne fortemente propagandato come l'ennesimo avvio di un nuovo corso. Di quel Piano non si è saputo più nulla, nessun documento, nessun atto, nessun seguito.

Otto anni dopo, nel dopo Amatrice 2016, di quell'ambizioso impegno di ridurre il rischio sismico non se ne è ricordato più nessuno, nemmeno al Dipartimento di protezione civile presso cui era incardinato, così il Presidente del Consiglio in carica ne ha proposto uno tutto nuovo dentro un più complicato impianto di problemi di varia natura.

Nel progetto del Presidente Renzi[1] venivano elencati i numerosi e disomogenei obiettivi dell'iniziativa di governo, messi tutt'insieme per essere spalmati in un arco temporale lunghissimo, durante il quale tre o quattro generazioni si sarebbero dovute impegnare per risolverli; più o meno un secolo per spendere una quantità enorme anche se indefinita di risorse mai individuate.

Tutto questo, allo stato si è risolto in un finanziamento di 25 milioni ad un gruppo di lavoro denominato G124, coordinato da Renzo Piano, per sperimentare in dieci città italiane metodi diagnostici e di intervento innovativi sulla messa in sicurezza degli edifici, e la costituzione di una struttura di missione denominata "Casaltalia" presso la Presidenza del Consiglio, che si dovrà trasformare in un nuovo Dipartimento della Presidenza del Consiglio. Tutto il resto, la messa in sicurezza del territorio almeno rispetto ai terremoti, è stato affidato al "sismabonus, agevolazioni per la messa in sicurezza antisismica - Casa Sicura".

Tutto molto semplice: il cittadino virtuoso, che percepisce il rischio di vivere in un'abitazione non protetta, può chiedere l'agevolazione anche solo per conoscere la vulnerabilità dell'edificio dove abita ma poi, eventualmente, anche per migliorarne la resistenza al sisma.

Nulla di nuovo in realtà, dalla seconda metà degli anni '90, con qualche discontinuità, si concedono tali agevolazioni, senza che abbiano tuttavia riscosso un significativo successo.

Ma questa volta l'impegno finanziario presunto è smisurato, come si vedrà più avanti, e per agevolare il successo dell'iniziativa si è deciso di regolare solo minimamente l'accesso all'agevolazione e di ampliarne, al di là di ogni necessaria considerazione, l'ambito territoriale di applicazione. Insomma, sembra che obiettivo del governo sia stato quello di confezionare un'offerta difficile da rifiutare. Così l'iniziativa varata con la legge di stabilità 2017 prende direttamente il via.

Nessuna strategia è stata elaborata, nessun obiettivo definito, nessun programma e nessuno strumento di pianificazione viene ritenuto necessario. Solo delle Linee guida predisposte dal Consiglio superiore dei lavori pubblici, in pratica le modalità per valutare la vulnerabilità degli edifici, e un decreto approvativo del Ministro delle Infrastrutture. L'edificio troverà posto, in base alla sua vulnerabilità di partenza, in un'apposita griglia articolata in otto classi, comprese tra la lettera A+ e la lettera G.

Se il progetto presentato riesce a far muovere l'edificio di due lettere, dalla vulnerabilità E a quella C per esempio, si può ottenere il massimo contributo al costo dei lavori pari all'80% della spesa sostenuta per ciascuna unità abitativa o adibita ad attività produttiva (insomma tutto il resto dell'edificato). Il contributo diventa del 70% se il salto di classe di vulnerabilità è solo di una posizione; per le parti comuni del condominio è previsto un contributo, rispettivamente dell'85% e del 75%. Ma se anche non si riesce a ottenere un incremento di sicurezza, o solo per il fatto di aver fatto svolgere una verifica sismica dell'edificio, si ottiene un contributo del 50% della spesa. In qualsiasi prospettiva si operi è fissato comunque un tetto invalicabile di 96mila Euro per ciascuna unità. Il contributo viene erogato sotto forma di credito d'imposta, spalmato su cinque anni, accordato a chi abbia un qualche titolo, anche non di proprietà, indifferentemente su prime o seconde case, ma anche per edifici produttivi, e quindi uffici, negozi, supermercati, capannoni ed altro ancora. Enorme è l'estensione del progetto, la platea di potenziali adesioni all'iniziativa: circa il 60% del territorio nazionale. In tale dimensione sono racchiusi i 703 comuni in Zona A (alta sismicità), i 2187 comuni in Zona B (media sismicità) e, davvero sorprendentemente, i 2866 comuni in Zona C a bassa sismicità. In tutto 4.893 comuni nei quali i titolari di qualsiasi diritto sull'immobile, proprietari ma anche affittuari, potranno rivolgere le richieste del contributo al Ministero dell'economia e finanze. La durata è stata prudentemente prevista in cinque anni, ma l'iniziativa si prefigura come un intervento strutturale al quale affidare il compito di portare a compimento la tante volte richiamata ma indefinita "messa in sicurezza del territorio", in un tempo anch'esso indefinito ma certamente secolare.

Insomma, in un ambito dove lo squilibrio esistente tra le risorse disponibili e quelle necessarie per fare prevenzione è gigantesco, si rinuncia a qualsiasi distinzione, a ogni considerazione fondata su un esame di priorità, mettendo insieme territori ad alto rischio, dove sistematicamente gli ultimi terremoti hanno compiuto enormi disastri, con quelli a bassa sismicità dove la probabilità di collasso di un edificio, obiettivo perseguito dall'azione di prevenzione, è davvero enormemente più bassa. Insomma gli abitanti di Amatrice o della Calabria tutta ad alto rischio, avranno le stesse possibilità di accesso alle risorse di prevenzione di quelli di Roma o Trento.

Le macroscopiche differenze tra diversi contesti, la necessità di attribuire ovvie priorità, non conta nell'astratta atmosfera in cui sembra muoversi l'accesso al bonus senza distinzioni.

Le prospettive, quindi, per un'operazione a pioggia che sembra indirizzata ad ottenere il più largo consenso popolare, sono molto incerte. Per il momento ha riscosso il plauso incondizionato delle professioni coinvolte, delle imprese, degli amministratori pubblici, tutti terminali di un intervento di Stato che semplicemente promette risorse. Ma il tema da affrontare era quello di alleviare la drammatica pressione del rischio sismico sulla popolazione o piuttosto contribuire a rilanciare l'edilizia in periodo di crisi? Niente di male, se così fosse, ma è essenziale la chiarezza d'intenti. Proprio per far chiarezza, allora, è bene proporre alcune considerazioni sulle dimensioni finanziarie dell'iniziativa, sulle difficoltà concrete che i virtuosi cittadini dovranno affrontare, ma soprattutto sugli effetti collaterali che potrà avere sul territorio.

Il "sismabonus", come tutti i progetti fondati sulla spontanea adesione degli aventi diritto, ha un campo di variabilità compreso tra zero e il 100%. Quest'ultima ipotesi, o comunque un'altissima adesione, non è nemmeno ipotizzabile per l'impegno di risorse che determinerebbe. È necessario allora attestarsi su una dimensione plausibile; fare l'ipotesi, per esempio, che solo il 30% degli aventi diritto presenti nei 2893 comuni a rischio sismico più elevato – escludendone così poco meno della metà, quei 2866 della Zona C a bassa sismicità – vogliano aderire all'iniziativa e che ottengano solo il 50% dell'agevolazione massima concedibile, cioè 43.000 Euro. Sotto queste condizioni molto

1 Dichiarazione del Presidente del Consiglio Matteo Renzi all'agenzia Askanews del 29.08.2016 sull'attività da avviare per la messa in sicurezza del territorio nazionale comprendeva *"l'adeguamento antisismico ma anche gli investimenti sulle scuole, sulle periferie, sul dissesto idrogeologico, sulle bonifiche e sui depuratori, sulle strade e sulle ferrovie, sulle dighe, sulle case popolari, sugli impianti sportivi e la banda larga, sull'efficientamento energetico, sulle manutenzioni, sui beni culturali e sui simboli della nostra comunità"*.

ANTEPRIMA

conservative il fabbisogno sarebbe di circa 176 miliardi di Euro[2].

Quindi circa 1.8 miliardi l'anno per un secolo o poco meno di 6 miliardi l'anno per 30 anni.

Tanti soldi da investire dove nessuna risorsa significativa è stata mai messa, troppa generosità per essere credibile di questi tempi. Ma comunque nessuna paura di tracollo finanziario, il rubinetto è nelle mani del Ministero dell'Economia e delle Finanze che attraverso ogni legge di stabilità potrà decidere quante risorse mettere ogni anno. Per esempio pare ci siano stati disponibili appena 300 milioni di Euro per il 2017.

Comunque, si tratta forse di cent'anni e oltre 176 miliardi per proteggere nella migliore delle ipotesi il 30% di ciò che è vulnerabile, che non è davvero tutto ciò che incide sull'obiettivo "messa in sicurezza del territorio", che è cosa ben diversa. Interventi sparsi chissà dove in più di mezza Italia, senza alcuna priorità davvero dettata dalla ricorrenza e severità degli eventi, né dalla vulnerabilità del contesto. Insomma, non una strategia ma piuttosto un'iniziativa poco mirata, affatto selettiva, sulla quale è stata riversata la minima quantità immaginabile di scienza e conoscenza, del cui poco uso proprio in prevenzione, da sempre, ci si lamenta. Si stabilisce semplicemente un canale diretto tra Stato che rende disponibili risorse e il cittadino che tende la mano; nessun livello intermedio di controllo, di verifica, nessun elemento di pianificazione; salta qualsiasi ambito di sussidiarietà, qualsiasi possibilità di guardare dalla prossimità gli aspetti salienti della questione, di fare sintesi tra la sicurezza sismica ed i tanti altri problemi di qualità, tutela e precauzione che affliggono il territorio. La promessa di tante risorse da spargere come capita, da spendere sulla base dell'inerzia di un volano regolato solo dalla quantità di soldi che si fanno cadere nei suoi ingranaggi. È previsto un monitoraggio – che vuol dire che forse a posteriori si saprà dove quei soldi sono caduti – ma nessuno strumento per determinare a priori dove potranno andare a cadere. Altro che riqualificazione delle aree urbane, altro che ricucitura delle periferie, altro che battaglie per la "messa in sicurezza del territorio dai vari rischi che lo affliggono", piuttosto un intervento a pioggia in cui è messo al centro del problema solo l'edificio, alcuni edifici. Per capire di che si tratta basta immaginare il paesaggio del degrado infinito di molte periferie, case e palazzotti fatti di blocchetti, senza intonaco e con i ferri d'attesa sempre protesi verso il cielo, dove magari l'iniziativa del Governo avrà successo. E Casamicciola di agosto 2017, e la crudezza della vista dal cielo di Ischia con la sua urbanizzazione selvaggia, con i suoi 28.000 condoni? In che modo si relazionano questi scenari con il "sismabonus" nei termini della qualità delle soluzioni praticabili? Il deprecato abusivismo dalle dimensioni enormi che affligge il paese, magari legalizzato ma che è rimasto certamente insicuro, potrà avere l'agevolazione promessa. Si stenta a credere davvero che questa sia la soluzione senza guida che si propone per quasi l'intero meridione.

Eppure il Governo appare molto determinato e tenta di sollecitare un favorevole accoglimento dell'iniziativa. Uno spot televisivo del Ministero delle infrastrutture illustra cosa fare per avere una "Casa Sicura" e spiega i vantaggi di una eventuale adesione al progetto, non senza qualche omissione. Non c'è traccia, nel messaggio insistito sui canali nazionali, del limite massimo di 96 mila Euro, quando si sottolinea invece che il contributo potrà arrivare all'85% del costo sostenuto. Parimenti nulla si dice in tutta la comunicazione resa disponibile sull'argomento, del fatto non trascurabile che, soprattutto per raggiungere un miglioramento di due classi di vulnerabilità, condizione necessaria all'ottenimento del contributo massimo, il proprietario/inquilino dovrà mettere in conto la necessità di trasferirsi in altra abitazione per la durata, non brevissima, dei lavori. Ciò che viene invece veicolato con lo spot con particolare enfasi è che il contributo potrà essere richiesto anche da "chi abita in aree a non elevato rischio sismico". A nessuno, evidentemente, è venuto in mente che mettere insieme i 700 comuni ad alto rischio con i quasi 5000 a rischio medio e basso debba essere considerato piuttosto un tragico disvalore, che diluisce l'efficacia dell'intervento, che sottrae progressivamente risorse dall'alto al basso rischio, creando pregiudizio all'incolumità delle popolazioni più esposte.

Sempre nel campo delle ipotesi emerge, secondo i parametri fissati dal progetto, che per 1.000 metri quadri fatti di 10 abitazioni da 80 metri quadri e 200 metri quadri di parti comuni, si può arrivare con un salto di due classi ad ottenere un'agevolazione complessiva di un milione di Euro. In certi contesti ci si costruisce il nuovo; in questi stessi contesti si potrebbe ricostruire con qualità e in sicurezza ciò che è invece degradato e insicuro. In questo ambito, va considerato poi che beneficiari del "sismabonus" potranno essere alberghi che sbarrano valli montane, di cui la cronaca recentemente si è drammaticamente interessata, dove se nevica moltissimo può accadere che viene giù anche una valanga mostruosa. E ancora, in qualche posto magari si cova la speranza che, prima o poi, almeno qualche migliaio di metri cubi di edifici o di capannoni, da un'area esondabile, da una golena possa essere delocalizzato; ma si spera anche che un po' di urbanizzato, a suo tempo magari condonato della iniziale illegalità, lo si possa un giorno riqualificare non dal solo punto di vista edilizio ma anche sotto il profilo della qualità urbana. Tutto il degrado di qualsiasi specie – e il *diversamente a rischio* – invece, in assenza di una valutazione di prossimità, potrà essere per sempre asseverato dalla concessione di un contributo sostanzioso; perderà la possibilità di venire per altre ragioni ed in altri termini riconsiderato, diventerà forse meno vulnerabile ai terremoti ma resterà per altre mille cause esposto al disastro. Lo Stato ne avrà testimoniato irrevocabilmente la legittimità ad esistere e così, il "sismabonus" crea l'incredibile imbarazzo di fornire spunti sufficienti per sperare che un'iniziativa di sedicente messa in sicurezza, discutibilmente confezionata, non abbia nemmeno il modesto successo a cui può aspirare.

Ed alla fine un paio di inquietanti domande. Si è considerato l'aspetto non marginale che nel tempo comunque secolare di attesa che l'iniziativa abbia un successo affatto risolutivo, un'altra dozzina di terremoti distruttivi avrà colpito il paese nei medesimi posti dove ripetutamente si era già proposto con forza? Come si potrà gestire un altro secolo, dopo quello dominato dal binomio classificazione/normativa, di risultati modestissimi sul piano della prevenzione accompagnati inoltre dall'emersione di tante obiettive controindicazioni? Certo non si può pensare di poter raccontare, alle nuove vittime e agli spaesati superstiti dei *terremoti che verranno*, che null'altro si sarebbe potuto fare di meglio di un "non progetto" lungo cent'anni, molto costoso, distribuito sul territorio di mezz'Italia con la visione strategica del "si salvi chi può".

2. "MILLE COMUNI", COMINCIARE CON EFFICACI DA UNA PARTE

Insomma, ci dovrà pur essere un modo diverso di rapportarsi con il problema sismico di questo paese. Di evitare la tentazione troppo ambiziosa di promettere l'adeguamento o il miglioramento degli edifici nel 60% del territorio nazionale, di spalmare i pochi soldi che forse si troveranno anche e soprattutto dove di rischio ce n'è poco. L'iniziativa del Governo

2 Calcolo effettuato in base ai dati desunti dal rapporto ANCE/CRESME – 2012 "Lo stato del territorio italiano" relativamente ai soli 2.893 comuni a maggior rischio (non temendo conto dei 2866 comuni a basso rischio sismico pur inclusi nell'iniziativa) nei quali sono presenti 11.700.000 abitazioni, 395.000 edifici non residenziali, 95.000 capannoni industriali, 79.000 edifici commerciali. Ciascuno di essi è stato ritenuto soggetto abilitato (abitazioni e edifici produttivi) a richiedere l'agevolazione per un totale di 12.270.000 unità. L'adesione è stata ridotta al 30%, quindi 4.090.000 unità per le quali è stato cautelativamente stimato un importo dell'agevolazione concessa al 50% del massimo erogabile, pari a € 43.000. Il fabbisogno necessario ad esaudire tale ipotesi è di circa 176 miliardi di Euro.

UFFICIALE

sembra attendere che il cittadino diventi improvvisamente virtuoso grazie ad un accattivante spot televisivo e si trasformi in regista e interprete della soluzione definitiva promessa. Una non-strategia, come si diceva, della quale dopo un tempo lunghissimo, tutti (politica, istituzioni, scienza, professioni, imprese, media, cittadini) e quindi nessuno ne avrà la responsabilità di fronte agli esiti ancora una volta inaccettabili dei terremoti che verranno.

Ci vuole dell'altro, allora, per non rischiare ancora un secolo di sconfitte come è stato il '900, ci vuole prima di tutto il coraggio di promettere di fare magari meno del necessario, cominciando solo *da una parte*, ma di farlo per bene. Una soluzione alternativa che si proponga come una strategia concreta, saldamente ancorata ad un obiettivo certo, partendo da poche essenziali considerazioni:

- l'enorme distanza esistente tra risorse necessarie per un'iniziativa a tutto campo e quelle realisticamente disponibili, impone di limitare l'area d'intervento, individuando quelle a rischio più elevato per ordinarle quindi secondo un'apposita matrice di priorità;
- la possibilità di trovare riscontro nella comunità scientifica, per lo sviluppo di criteri di analisi, di valutazione, di tecniche d'intervento, per l'utilizzo di nuove tecnologie allo stato certamente sottoutilizzate; una verifica della disponibilità della ricerca finalizzata a misurarsi con un'azione di riduzione del rischio che esca dalla banalità delle generalizzazioni, che accetti di affrontare puntualmente la complessità del territorio italiano e le sue enormi fragilità;
- la scelta di operare una macroscopica riduzione della scala territoriale di intervento, che è certamente una garanzia per ottenere maggiore incisività. Non potrà più essere solo genericamente l'edificio al centro dell'azione della prevenzione, ma piuttosto il territorio scomposto in un insieme di diversi "sistemi", popolati da "oggetti" caratterizzati da livelli di vulnerabilità misurabili in funzione dei valori incidenti di pericolosità, delle caratteristiche dell'evento preso a riferimento. È necessario confrontarsi con il territorio da vicino, ponendosi l'obiettivo di intervenire puntualmente in prevenzione con l'intento di evitare che ogni significativa condizione di vulnerabilità individuata si trasformi, un attimo dopo il terremoto, in una situazione di drammatica criticità.

Si è parlato fin qui, in grande sintesi, delle patologie che continuano a condizionare l'esito di un confronto sempre perduto con il più incidente fattore di rischio "naturale". Il terremoto è costato negli ultimi 70 anni cinque volte il dissesto idrogeologico, oltre 250 miliardi contro 60, mentre la perdita di vite umane è inconfrontabile.

Ogni scienza ha i suoi punti di riferimento, l'ingegneria sismica l'ha avuto a lungo in Giuseppe Grandori[3] che già negli anni '80 scriveva "*tutte le zone di alta sismicità sono già oggi da considerare in condizioni di emergenza*" e poi "*non è pensabile di provvedere in tempi brevi all'adeguamento antisismico delle costruzioni esistenti in tutte le zone di alta sismicità, si tratta in ogni caso di una lotta contro il tempo con interventi guidati da accurati studi per la scelta delle priorità*". È forse eccessivo dire che si dovrebbe vivere il problema in una condizione di vigile attesa, ma almeno, nei luoghi dove è più elevata la possibilità che il terremoto possa riproporsi, sui quali si ha forse qualcosa di più che semplici indizi, è necessario intervenire senza ulteriori ritardi. Un intervento basato sulla individuazione di priorità presuppone, come si diceva, l'assunzione della responsabilità di scegliere, certamente d'ordine politico (la strategia complessiva), ma anche la necessità di formulare soluzioni di tipo progettuale e operativo: dove iniziare, per fare cosa e come, in quanto tempo, a quale costo.

Per cominciare *da una parte a far le cose per bene*, bisogna scegliere la dimensione giusta. Potrebbero essere "Mille Comuni", un riferimento numericamente approssimativo ma utile a sottolineare le differenze rispetto alla scelta di oggi, diametralmente opposta, del "sismabonus" che di comuni ne mette insieme seimila.

Ma "Mille Comuni" non è, tuttavia, un numero del tutto campato in aria. Si colloca tre i 705 comuni in Zona A ad alta pericolosità della classificazione sismica, e i 2893 comuni considerati a maggior rischio. All'interno di quel numero tre-quattro aree, ognuna comprendente due, trecento comuni; aree anche più grandi di quelle distrutte dai forti terremoti nostrani: 99 comuni in Friuli, 250 in Irpinia, 140 tra Amatrice e Norcia. Ogni area delimitata dallo scenario di rifermento, dalla potenzialità espressa dalle strutture sismogenetiche prese in considerazione. Aree individuate in ragione della loro storia sismica, dell'interpretazione geodinamica e sismotettonica, dei dati raccolti dalle reti strumentali; intuizioni legate alle frequenze con le quali i terremoti si sono già manifestati e si pensa possano ritornare, ricorrenze significative o lacune ingiustificate lungo la stessa struttura sismogenetica.

In definitiva "Mille Comuni" fa affidamento per la riduzione del rischio proprio sulla minore dimensione delle aree d'intervento, sulla individuazione dei "sistemi" sensibili in cui articolare la lettura territorio, sulla possibilità di intervenire sugli oggetti vulnerabili contenuti in ciascun "sistema" per evitare che si trasformino in criticità, sul maggior impulso e controllo che si potranno esercitare sui soggetti che detengono le necessarie competenze per intervenire. Un piano quindi, fortemente partecipato dai cittadini, uno strumento dinamico, che traccia un percorso virtuoso composto di azioni, funzioni di verifica e quindi aggiornamento degli scenari.

Un'impostazione, quella qui riassunta, che passa attraverso l'osservazione di esperienze anche recenti. È successo ad Amatrice, per esempio, che l'unico ponte, quello denominato "cinque occhi", pochi giorni dopo il terremoto si è rivelato non transitabile, isolando il capoluogo rispetto all'unica strada statale d'accesso, la via Salaria. È successo perché, c'è da ritenere, quell'opera non era stata verificata dal punto di vista sismico per poter resistere ad un terremoto che non ha nemmeno rappresentato il massimo storico per quell'area, insomma era molto vulnerabile. C'è da chiedersi cosa sarebbe successo se la sua impercorribilità si fosse manifestata contestualmente alla scossa del 24 agosto, e quindi con quanto ritardo sarebbero giunti i soccorsi necessari per tirar fuor la gente dalle macerie. D'altronde quel giorno è anche accaduto che quasi tutte le infrastrutture strategiche, ospedali, caserme, municipi -per legge tenute non solo a resistere ma anche a continuare ad assicurare la loro funzionalità sotto terremoto- sono state gravemente colpite, messe in condizione di non poter funzionare o collassate. Stessa sorte è toccata ad altri "sistemi", ad "oggetti" invece sensibili al terremoto come scuole, strutture ricettive, impianti produttivi, luoghi di culto, ed anche all'enorme patrimonio dei beni culturali.

Nel 2012 in Emilia fa riflettere quanto capitato alle filiere del biomedicale e soprattutto dell'agroalimentare (parmigiano) che hanno avuto pesantissimi danni alle strutture di produzione e di stoccaggio. Insomma, rispetto ad un intero "sistema che fa PIL" su cui si fonda quindi buona parte della ricchezza di un'area, sembra che nessuno si fosse mai chiesto quale sarebbe potuto essere lo scenario di un terremoto, fenomeno certamente non sconosciuto nella zona. Perplessità ancora maggiori sorgono per la produzione amatriciana di salumi e di formaggio pecorino, filiera in terra di terremoti dove, quattro anni dopo l'Emilia, la cronaca ha proposto immagini solo a posteriori considerate come inquietanti analogie:

3 Giuseppe Grandori (1921-2011). Professore emerito di Scienza delle Costruzioni al Politecnico di Milano dove ha insegnato Costruzioni di Ponti, Scienza delle Costruzioni, Ingegneria sismica. È stato Presidente dell'IAEE (associazione mondiale di ingegneria sismica) e dell'EAEE (associazione europea di ingegneria sismica).

LA FORZA

stavolta non forme di parmigiano ma prosciutti appesi tra le macerie in quel poco che resta di capannoni crollati. Cambiando teatro, qualche mese dopo, nel tragico procedere della stessa crisi sismica dell'appennino centrale, è accaduto che un probabile *effetto domino* indotto da un evento scatenante, una scossa di terremoto, seguito da un evento prevedibile, una nevicata abbondantissima, ha causato un terzo evento non completamente imprevedibile, una valanga precipitata da un versante incombente su un albergo che forse li non poteva stare. Nessuno sembra aver espresso in proposito qualche cauta considerazione, se non il giorno dopo.

Bisognerebbe allora chiedersi in quale contesto, secondo quale logica, dovrebbero essere evidenziate e risolte le vulnerabilità che affliggono tanti "sistemi" e che sembrano sopravvivere ad ogni nuova tragica esperienza maturata.

La vulnerabilità è un carattere latente, che si manifesta al verificarsi dell'evento a cui si riferisce. Così, istantaneamente, nel momento in cui si apre l'emergenza, ciò che era stata prima solo un'indicazione di potenziale fragilità diviene una drammatica criticità. Così, oggi, il terremoto cade addosso alla gente. L'evento viene percepito sempre come inatteso, nulla o quasi è predisposto per far si che la conoscenza di situazioni che per mille ragioni dovrebbero essere verificate, considerate, entrino in un percorso virtuoso di prevenzione. Ma tutto ciò in realtà è la sintesi di ciò che dovrebbe semplicemente essere una particolare dimensione di pianificazione. Da questo punto di vista la situazione è francamente paradossale: un paese che ha nei ricorrenti terremoti la condizione di maggior rischio, non ne ha mai davvero pianificato uno, da nessun punto di vista. Nella prevenzione nostrana a costo zero introdotta dalla progressiva classificazione del territorio, non è mai stato definito il percorso, l'obiettivo da raggiungere, né tantomeno gli strumenti, le modalità i tempi per conseguirlo. Insomma nulla è stato mai pianificato anche perché quell'esercizio avrebbe inevitabilmente evidenziato quell'insufficienza che invece si è sempre preferito scoprire camminando sulle macerie. Ma non si pianifica nemmeno l'emergenza, si organizza il soccorso anche piuttosto bene, ma ciò che serve non si risolve solo in quanto si riesce a fare "un minuto dopo". Piuttosto la questione sta nel come ci si prepara con costanza e determinazione all'evento atteso per far si che le vulnerabilità individuate nei "sistemi" siano depotenziate. La pianificazione dell'emergenza stabilisce così un rapporto di diretta e piena conseguenzialità con l'azione di prevenzione. Non è tuttavia vero che l'emergenza non viene pianificata. La legge da tempo prevede la predisposizione di piani d'emergenza, ma solo a scala comunale (in realtà molti comuni non li hanno ancora predisposti), che valgono per quello che possono promettere: vie di fuga, aree di ammassamento, superfici per insediamenti provvisori, organizzazione di alcune iniziative locali di protezione civile. Cose utili, ma davvero sembra poco per un paese accreditato di una dozzina di terremoti distruttivi e qualche decina con tanti danni ogni secolo, ognuno in grado di colpire una o più regioni insieme. Si può pensare invece ad una pianificazione che si faccia carico di una scrupolosa analisi per "sistemi" su cui intervenire, che è complicato dire a priori quanti e quali debbano essere. Saranno quelli necessari per scomporre le condizioni di una città, grande o piccola, di paesi e borghi, le cui caratteristiche possono essere molto diverse. Certamente il "sistema abitativo" sarà il più impegnativo; intervenire sulla vulnerabilità degli edifici, magari con tecniche più leggere, meno invasive e costose, sulle quali da tempo si sta ragionando, per il miglioramento delle prestazioni sotto terremoto. Ma la capacità di resistere va anche interpretata con una visione d'insieme dell'edificato, una riconsiderazione dell'esistente in termini di assetto e qualità urbana. Tanti altri "sistemi" riferiti a funzioni o contesti specifici: la sanità, la mobilità, l'istruzione, la produzione, le reti e i servizi ma anche, per esempio i beni culturali o l'attività ricettiva, turistica da proteggere dagli effetti del terremoto.

Ma guardar bene, nemmeno la ricostruzione è oggetto di pianificazione, in nessuna delle fasi transitorie e definitive di cui si compone e nei termini utili per comprimere i tempi e ridurre i costi del ritorno ad un minimo di normalità. Non illazioni, ma obiettivi riscontri tra evidenti carenze e giganteschi ritardi. Lo Stato centrale in questo ha responsabilità evidenti; i livelli di pianificazione dei quali emerge la mancanza, in larga misura gli dovrebbero competere, almeno nei termini dettati dai caratteri dell'evento che deve essere necessariamente ipotizzato, dalla sua dimensione territoriale. Un impegno certamente da sviluppare tra soggetti concorrenti, all'interno di un'operosa collaborazione rispetto ai relativi ambiti di competenza. La tendenza invece appare quella di risolvere la questione con la messa a disposizione di un po' di risorse e quindi delegando di fatto tutto il resto a chiunque, financo ora, nella proposizione del "sismabonus", al singolo *cittadino virtuoso del fai da tè*. In definitiva, uno scarso impegno e una scarsa responsabilizzazione nel lavoro essenziale ma oscuro del fare qualcosa prima del prossimo disastro.

È complicato spiegare la logica di "Mille Comuni", ancor più complicato certamente organizzarla. Una modificazione concettuale profonda, difficoltà enormi; ma d'altronde enorme è anche il problema da affrontare ed è inutile sperare di gestirlo davvero senza una riformulazione strategica. Anche in questo "Mille Comuni" è un *cambiar verso*, contiene utili spunti rispetto alla necessità di mettere finalmente insieme le funzioni fondamentali di protezione civile. Dai tempi di Zamberletti in Friuli è stata marcata una rigida separazione tra previsione, prevenzione, emergenza, e poi infine anche l'avvio del ripristino di normali condizioni di vita, della ricostruzione insomma. Tutto separato, strumenti ed interpreti diversi. È tempo di mettere in discussione questa lettura del fare protezione. Quale differenza esiste tra il trattare la vulnerabilità dentro un programma di prevenzione piuttosto che nell'emergenza, perché si teme che quella stessa vulnerabilità possa trasformarsi in una devastante criticità quando la terra comincia a tremare? E financo la impossibile previsione dei terremoti, permette qualche spiraglio nel senso di una "piccola previsione possibile" se, escluso il *dove* e il *quando*, ci si concentra sul *cosa* può succedere. Una proiezione utilissima, quest'ultima, per fare prevenzione perché consente di disegnare scenari, individuare e poi eliminare criticità. Tutto questo sta dentro una porzione di territorio esaminata in dettaglio e può star bene all'interno di un piano certamente difficile da costruire (come difficile è anche trovargli un nome) ma indispensabile.

"Mille Comuni" ha questi caratteri, si inserisce in quel contesto di cose difficili da fare, passibile probabilmente di forti obiezioni. Per esempio quella che imputa al *cercare di far bene da una parte*, il minor impegno per il resto del paese. Offre tuttavia un indiscutibile vantaggio: la possibilità di valutarne l'efficacia decretata inequivocabilmente dal verificarsi, si spera il più tardi possibile, dei terremoti che verranno. Se questi capiteranno all'interno di una delle aree prescelte, il successo o meno di "Mille Comuni" sarà misurato dall'esito dell'impatto: se si manifesteranno nei limiti delle inevitabili perdite, piuttosto che in quelli consueti dell'inaccettabile strage, vorrà dire che ha funzionato. Se invece capiteranno al di fuori delle aree prescelte, ma comunque nella parte alta della lista delle priorità non tutte attivate, si potrà anche pensare di insistere e di ampliare il progetto. Se infine uno o più terremoti di questo secolo colpiranno fuori da ogni valutazione di priorità, sarà un insuccesso pieno ma, ancor peggio, dimostrerà che la conoscenza del fenomeno, per come si manifesta in questo paese, è ancora largamente insufficiente. Ma tuttavia sarà anche la caduta della speranza di risolvere la difesa dai sempre inattesi terremoti a politiche d'intervento a pioggia, proposte ogni "giorno dopo", che si limitano, questa volta, a somministrare un contributo al cittadino che alza per primo la mano.

ANBI BOZZA

La prevedibilità dei disastri sismici fra sismologia e storia

Forecasting earthquake disasters: a journey between seismology and history

Gianluca Valensise
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma
E-mail: gianluca.valensise@ingv.it

Parole chiave (*key words*): pericolosità sismica (*seismic hazard*), rischio sismico (*seismic risk*), previsione dei terremoti (*earthquake forecast*), sismicità italiana (*Italian seismicity*), DISS, CFTI

1. PREVEDERE O PREVENIRE?

Che cosa significa "prevedere"? Il verbo deriva dal latino *praevidere*, composto di *prae-* e *videre*, che si può tradurre semplicemente come "vedere prima". Così la pensavano i nostri avi duemila e più anni fa.

E oggi? Secondo un noto dizionario *online* questo verbo transitivo ha due significati indipendenti e per certi versi opposti, almeno per quanto concerne le loro implicazioni pratiche:

1) *conoscere in anticipo o annunciare quanto accadrà in futuro sulla base di presunte doti divinatorie; predire: prevedere il futuro; + che e ind. o cond.: "l'indovino ha previsto che presto ci sarà la fine del mondo"; con prop. interr. indir. "un mago ha previsto chi vincerà il campionato"*;
2) *congetturare sulla base di considerazioni logiche, dati tecnici o scientifici; ipotizzare: "prevedere i rischi di un'operazione"; anche con prop. interr. indir. "prevedere chi vincerà le elezioni"*.

I terremoti sicuramente non si prevedono, almeno non nell'accezione più restrittiva di questo verbo (la prima); ma quali e quante sono le grandezze che possono essere "congetturate sulla base di considerazioni logiche, dati tecnici o scientifici" (la seconda)? Tra le grandezze prevedibili rientrano certamente:

- dove avverranno la gran parte dei terremoti potenzialmente distruttivi (M 5.5+), con incertezze di qualche chilometro, e dove invece sono altamente improbabili;
- la cinematica attesa, ovvero il tipo di movimento al fuoco del terremoto;
- la magnitudo massima attesa;
- la distribuzione dello scuotimento atteso, incluse le eventuali amplificazioni di sito, per diversi periodi di oscillazione;
- la natura e distribuzione dei possibili effetti indotti sull'ambiente (fagliazione superficiale, frane, liquefazione).

Tra le grandezze certamente non prevedibili, almeno ad oggi, rientrano:

- l'istante esatto di accadimento;
- la magnitudo esatta del terremoto;
- l'eventuale innesco di scosse su faglie adiacenti;
- i caratteri di dettaglio della rottura, come l'eventuale eterogeneità della dislocazione sul piano di faglia, la direttività ecc.

Qualunque processo di stima della pericolosità sismica, sia che si tratti di stime probabilistiche, sia che si preferisca ragionare in modo deterministico, richiede di *prevedere* le caratteristiche salienti della sismicità del futuro, ovvero di identificare le potenziali sorgenti dei futuri terremoti, di capirne le caratteristiche spaziali e geometriche e di caratterizzarne le proprietà di ricorrenza. Ma in questo percorso logico c'è una possibile trappola lessicale, che va evitata a tutti i costi. Sempre più spesso si sentono i sismologi affermare che il vero problema di tutti i paesi soggetti ai rischi naturali, e se vogliamo di molte delle civiltà che si sono succedute attraverso i millenni, non è *prevedere* i disastri – sismici, ma anche vulcanici o idrogeologici – ma *prevenirne* gli effetti. I tanti colleghi che affermano questo – incluso il sottoscritto – intendono sostenere che prevenire gli effetti dei terremoti deve necessariamente venire prima di qualunque previsione in senso stretto, ovvero della previsione di cui all'accezione 1) tra le due discusse in precedenza. Ma allo stesso tempo per prevenire gli effetti dei terremoti, e quindi mitigare il rischio che essi causano, è necessario prevedere i terremoti nell'accezione 2), ovvero essere in grado di prevederne la distribuzione, l'impatto territoriale e le caratteristiche di ricorrenza, anche in funzione della geologia delle diverse aree colpite. Dunque non c'è una vera alternativa tra queste due espressioni: *prevedere* è un passaggio irrinunciabile per poter *prevenire*.

Prevedere e *prevenire* sono quindi due facce della stessa medaglia. Si deve però fare attenzione: il problema a cui stiamo accennando non è solo il frutto della limitatezza della nostra conoscenza e delle nostre capacità scientifiche, che oggi non ci consentono di prevedere l'istante esatto in cui accadrà un forte terremoto e la sua magnitudo. C'è un tema più generale, del quale si parla raramente perché fino a pochi anni fa considerato in subordine rispetto alla semplice tutela della vita umana: il tema è quello di proteggere le nostre infrastrutture, e quindi di salvaguardare l'economia che le ha finanziate e che tali infrastrutture servono su base quotidiana. Per rendere meglio questo concetto basterà pensare al Ponte sullo Stretto di Messina, che probabilmente non si farà mai, o al MOSE, che invece è attualmente in costruzione, o a qualunque viadotto o grande diga o infrastruttura speciale che viene progettata in Italia. In tutti questi casi il problema del progettista non è mai quello di sapere quando un forte terremoto potrà mettere alla prova quella struttura, ma piuttosto quello di sapere qual è la sollecitazione massima che quella struttura quasi certamente dovrà sopportare durante l'arco della sua vita utile, che normalmente per opere di questo tipo è di 100 anni. Come è facile capire, è del tutto irrilevante se quella sollecitazione avrà luogo dopo un quarto di



Figura 1 – Sintesi grafica degli elementi che determinano il Rischio Sismico

in bozza

quella vita utile, o alla fine del periodo considerato, perché l'obiettivo del progettista è quello di fare in modo che la struttura resista comunque alla sollecitazione massima *prevista* dagli esperti di pericolosità sismica, in qualunque istante essa si manifesti, senza danni o con danni non strutturali riparabili, e in ogni caso salvaguardando la vita umana.

2. LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO SISMICO: UNO SGUARDO AL FUTURO

In una disamina del dualismo prevenzione-previsione che tenga conto anche della evoluzione più recente delle politiche di mitigazione del rischio sismico vanno inseriti altri elementi poco noti ai più. Ma prima di entrare nello specifico è opportuno fare un passo indietro e definire in modo formale cosa è il rischio sismico e quali sono le sue componenti (*Fig.* 1). Infatti, anche se può sembrare paradossale, la mancata comprensione della terminologia pesa talora più della mancanza di conoscenza. Termini astratti quali pericolosità, sismicità, rischio vengono a volte usati in maniera intercambiabile, finendo spesso per accrescere la confusione di chi legge o ascolta. Va detto poi che i ricercatori e i professionisti utilizzano sovente espressioni del loro gergo senza aver accertato preventivamente se chi ascolta sia in grado di discriminare tra un termine e l'altro.

Le quattro espressioni fondamentali da conoscere sono **pericolosità**, **rischio**, **esposizione** e **vulnerabilità**. Nel seguito esse verranno usate con riferimento ai terremoti, ma lo stesso formalismo viene comunemente utilizzato con riferimento a fenomeni avversi di qualunque tipo, dalle alluvioni all'attività vulcanica ai maremoti.

- La **Pericolosità** definisce la capacità intrinseca di un territorio di generare terremoti, o più precisamente di causare scuotimento sismico. È solitamente espressa in termini di probabilità che all'interno di un intervallo di tempo prefissato e convenzionale si verifichi uno specifico terremoto, o che venga superato un valore prefissato di scuotimento sismico.
- L'**Esposizione** quantifica in termini economici e sociali quanto un territorio o una comunità sono letteralmente esposti al terremoto, ed è data dalla combinazione della densità abitativa con l'eventuale presenza di un patrimonio monumentale e di infrastrutture critiche.
- La **Vulnerabilità** quantifica la propensione di una rete insediativa – o anche di una singola struttura – a subire danni come effetto di un dato livello di scuotimento sismico.
- Infine il **Rischio** è rappresentato dalla combinazione dei tre parametri già descritti, e quantifica la perdita economica e sociale attesa in una specifica area in un determinato intervallo di tempo.

Dunque Pericolosità e Rischio non sono affatto sinonimi, ma sono due termini all'estremità di un percorso logico in mezzo al quale c'è l'uomo, con la sua presenza, con i suoi insediamenti e con le relative infrastrutture. Si dice spesso che sul nostro pianeta esistono luoghi in cui la pericolosità è altissima ma il rischio è comunque nullo, perché totalmente deserti o in mare aperto, dunque non vi è nulla di esposto e tantomeno di vulnerabile. La pericolosità è una caratteristica intrinseca dei sistemi naturali del nostro pianeta, e quindi può essere compresa e valutata ma non ridotta, mentre i nostri sforzi dovranno concentrarsi sulla mitigazione del rischio, che dipende esclusivamente da noi.

Fatte queste doverose premesse possiamo tornare al punto da cui eravamo partiti, ovvero il dualismo prevenzione-previsione. Come ci ricorda Emanuela Guidoboni[1], studiosa della storia dei terremoti, dopo essere stato testimone dei guasti causati dal terremoto di Ferrara del 1570 l'architetto di orgini napoletane Pirro Ligorio sostenne che *"Difendersi dai terremoti è un dovere dell'intelletto umano"*. Sono stati necessari quattro secoli e mezzo, ma oggi è un fatto che nei paesi in cui la cultura sismologica è più avanzata e in cui il patrimonio edilizio e infrastrutturale è meno fragile la previsione in senso stretto sta perdendo importanza proprio perché si è fatto tesoro di questa fondamentale lezione che arriva dalla storia. La tecnologia oggi disponibile porta i governi e gli abitanti di questi paesi – tipico è il caso del Giappone – a ritenere che ormai gli effetti dei terremoti sul patrimonio abitativo possano e debbano essere ridotti al minimo; questo dovrebbe conseguentemente ridurre al minimo – se non azzerare – le perdite di vite umane, almeno relativamente alla popolazione che al momento del terremoto si trova in edifici residenziali, commerciali o di culto. Semplificando al massimo, questo equivale a dire che in prospettiva noi potremo vivere l'esperienza di un terremoto anche forte con la stessa predisposizione con cui oggi viviamo quella di un forte temporale, che di certo non ci induce a lasciare casa ma al massimo a chiudere bene le finestre. Non a caso nelle società più avanzate – ma anche l'Italia è in prima fila in questo campo – si stanno fortemente incoraggiando gli studi sul cosiddetto *early-warning* dei terremoti: quel complesso di strumentazione, tecniche di elaborazione e prassi operative che consente di avvertire la popolazione dell'imminenza dell'arrivo delle onde sismiche generate da un forte terremoto, e soprattutto di attivare procedure automatiche per fermare treni, bloccare centrali, chiudere l'accesso a ponti e viadotti. In breve, l'*early-warning* consente di prevenire tutti quegli effetti collaterali di un terremoto che sono caratteristici di una società evoluta e che possono andare molto oltre il crollo di un normale edificio residenziale. L'idea sottostante, con la quale non si può che essere d'accordo, è che nel 2018 le singole abitazioni e gli uffici non dovrebbero più crollare, e quindi ci si può e deve concentrare sulle perdite, umane ed economiche, derivanti da tutte le altre criticità che è decisamente più difficile ingegnerizzare. Un concetto che potremmo



Figura 2 – L'Arrivo dell'onda di tsunami causata dal terremoto di Honshu dell'11 marzo 2011. L'evento ha avuto una magnitudo pari a 9.0 e ha causato un'onda di tsunami che localmente ha raggiunto una altezza di 40 m.

1 E. Guidoboni, 1997, "An early project for an anti-seismic house in Italy: Pirro Ligorio's Manuscript Treatise of 1570-74. European Earthquake Engineering, rivista della European Association for Earthquake Engineering, 2, 15-20.

esemplificare con un solo nome, altamente evocativo: *Fukushima*[2].

Va osservato che questo nuovo approccio alla prevenzione degli effetti dei terremoti non è più appannaggio del solo Giappone, dove a onor del vero la più che opportuna scelta di fare soprattutto dell'ottima prevenzione è stata azzoppata da una previsione sbagliata; quella relativa alla massima magnitudo che avrebbe potuto avere un terremoto che avvenisse di fronte alla costa nord-orientale dell'isola di Honshu. Quel valore di magnitudo a sua volta permetteva di stimare quale sarebbe stata l'altezza dell'onda di tsunami che questo terremoto avrebbe certamente provocato (*Fig.* 2). Il terremoto di Maule (Cile) del 27 febbraio 2010, con una magnitudo pari a 8.8 e circa 500 vittime, e il recente terremoto del Messico del 19 settembre 2017, un evento di magnitudo 7.1 avvenuto pericolosamente vicino alla capitale federale e il cui tributo in vite umane si è fermato a 369 vittime, sono esempi virtuosi di nazioni non ricchissime ma che hanno preso molto sul serio il tema della prevenzione. Come hanno ben documentato le televisioni di tutto il mondo, il recente terremoto del Messico non ha impensierito i più alti edifici di Città del Messico, nei quali vivono molti milioni di persone e che quindi portano a livelli altissimi l'*esposizione* che caratterizza quella immensa conurbazione. Questo perché molti di questi edifici sono stati ricostruiti o rinforzati dopo il devastante terremoto del 19 settembre 1985, un cataclisma di magnitudo 8.1 che aveva causato oltre 5.000 vittime. Al contrario, il recente terremoto del 2017 ha selettivamente distrutto gli edifici più antichi e *vulnerabili*, ovvero quelli presumibilmente costruiti in assenza di norme sismiche efficaci e con tecniche costruttive obsolete e comunque inadeguate alla sismicità dell'area. Conoscere nel dettaglio la *pericolosità* consente quindi di ridurre enormemente il *rischio*, cioè le perdite di vite umane e materiali, anche in contesti in cui l'*esposizione* è altissima, come avviene in tante megalopoli del XXI secolo, agendo energicamente sulla riduzione della *vulnerabilità* del costruito.

3. DALLA CONOSCENZA ALLA PREVENZIONE

Dunque *conoscere* per *capire*, *capire* per *prevedere*, e *prevedere* per *prevenire*. E come insegnano i padri della Geologia – primo fra tutti Charles Lyell[3] – i forti terremoti di oggi sono indubbiamente la chiave per capire e intepretare anche quelli del passato nella loro distribuzione spaziale e in termini di energia rilasciata; una volta compiuto questo passaggio logico i forti terremoti del passato, molto più numerosi di quelli per i quali abbiamo dati strumentali, e soprattutto molto più diffusi sul territorio, possono essere utilizzati per ribaltare il passato sul futuro, che è quello che qualunque geologo chiamato a valutare l'incidenza dei fenomeni naturali avversi del futuro è chiamato a fare nel suo percorso professionale.

Il percorso che stiamo per intraprendere parte dalla Storia, o più precisamente dalla Sismologia Storica; passa quindi per la Geologia, o meglio per la Geologia dei Terremoti, e infine approda a delle previsioni sulla sismicità del futuro, avendo sempre a portata di mano i principi basilari della Sismologia moderna. È un percorso che somiglia un po' a una indagine di polizia, in cui i diversi tasselli delle prove disponibili devono essere fatti combaciare con attenzione.

Il lavoro non è semplice perché si scontra con almeno due ordini di problemi. Il primo consiste nella difficoltà intrinseca della interazione tra sismologi strumentali, sismologi storici ed esperti di geologia dei terremoti; figure professionali formate in ambiti disciplinari molto diversi, che tendono a parlare linguaggi propri e che fino a pochi anni fa non avevano sentito – né sviluppato autonomamente – la necessità di dialogare intorno allo stesso tavolo. Il secondo problema consiste nella scarsa attitudine del mondo scientifico, che si riflette poi nei meccanismi di finanziamento della ricerca, a capire quanto sia importante l'esperimento che è stato condotto in Italia in questi ultimi due decenni nel campo della sismologia, in un contesto culturale e decisionale che spesso identifica la ricerca di successo solo con le grandi infrastrutture e con la super-specializzazione tipiche, ad esempio, della fisica delle particelle.

4. TERREMOTI: LA STORIA INSEGNA

È arrivato il momento di introdurre il grande tema di cosa è possibile imparare dal *record* storico della sismicità, un dato spesso considerato con sufficienza da chi opera nel campo della sismologia strumentale, ma che in effetti è solidamente alla base di quasi tutte le elaborazioni di pericolosità sismica che esistono nel mondo. L'Italia vanta una lunga tradizione in questo particolare settore disciplinare, che è quasi del tutto sconosciuto alla tradizionale formazione accademica, e si è spesso posta in una condizione di leadership mondiale sul tema[4]. La disciplina che indaga sui terremoti del passato – la Sismologia storica – integra elementi di storia in senso stretto, di demografia storica e di storia delle tecniche edilizie, rigorosamente basati su fonti scritte di diversa natura, con elementi di sismologia e di geodinamica. L'obiettivo ultimo è quello di documentare e quantificare i forti terremoti del passato, attraverso l'esame sistematico dei loro effetti.

Torniamo ora all'*esperimento* di cui si è parlato poco sopra. Per la precisione, torniamo per un attimo al 1995, quando ha visto la luce la prima versione del *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia* o CFTI[5] (*Fig.* 3), un vasto elaborato finanziato dall'allora Istituto Nazionale di Geofisica (ING; dal 1999 Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, INGV). Si trattava di una svolta decisa che in fasi successive, fino al 2007[6], ha messo a disposizione decine e decine di migliaia di dati sui forti terremoti italiani (e di area euro-mediterranea), organizzati su base geografica con modalità tali da consentirne un'analisi automatica attraverso opportuni codici di calcolo. Le ricerche erano cominciate nel 1983 per iniziativa dell'ENEA e dell'ENEL, nel quadro del programma nucleare italiano, in seguito annullato come conseguenza dell'incidente di Chernobyl del 1986.

La vera novità introdotta con il CFTI era nella logica con cui i dati venivano reperiti, presentati e discussi, e nelle nuove possibilità di elaborazione che ne scaturivano. La principale tra queste era certamente quella che utilizzava il complesso dei dati sugli effetti di ogni terremoto, località per località, per ricavarne la **localizzazione epicentrale**, la **magnitudo** e, quando possibile, l'**orientazione della sorgente sismica**. La magnitudo veniva poi convertita in una lunghezza media della faglia responsabile del terremoto, che a

2 Tutti ricordiamo il nome della città vicino alla quale sorge la centrale nucleare che ha quasi causato una catastrofe globale a seguito del terremoto di magnitudo 9.0 che l'11 marzo 2011 ha colpito il Giappone settentrionale. L'incidente della centrale di Fukushima è stato causato dal fatto che le protezioni poste a riparo della centrale contro l'arrivo di un'onda di *tsunami* erano state dimensionate sulla base di una previsione, rivelatasi tragicamente errata, che un terremoto in quella zona non avrebbe potuto superare una magnitudo pari a 8.0 circa.

3 Charles Lyell (1797-1875) era un geologo scozzese che nel suo "Principles of Geology" ha sviluppato la teoria dell'uniformitarismo, inizialmente concepita da James Hutton, ponendo così le basi della moderna Geologia.

4 E. Guidoboni e J. E. Ebel (2009). *Earthquakes and Tsunamis in the Past, A Guide to Techniques* in «Historical Seismology», Cambridge University Press, 2009, isbn-13: 9780521837958.

5 Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G. e Valensise G. (1995). *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980.* I.N.G. e S.G.A. editori, Bologna, 973 pp., con CD-ROM.

6 Nel 2007 ha visto la luce la versione attualmente consultabile *on-line* del CFTI, denominata CFTI4Med per via della sua estensione al resto del Mediterraneo: Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007). *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.- 1500),* INGV-SGA, http://storing.ingv.it/cfti4med/.

IN BOZZA

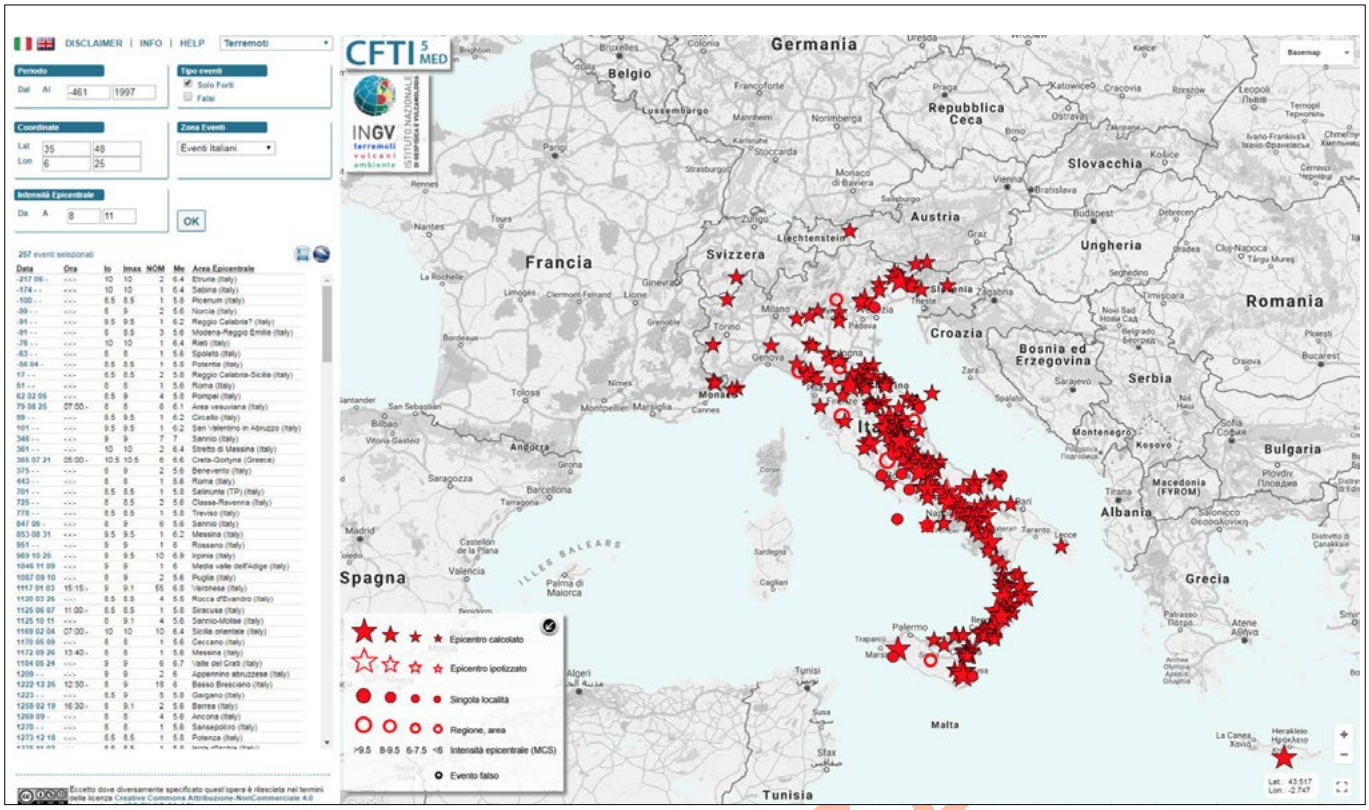


Figura 3 – Pagina iniziale della Versione 5 del Catalogo dei Forti Terremoti in Italia, in pubblicazione entro i primi mesi del 2018. Nell'immagine appaiono selezionati solo gli oltre 250 forti terremoti italiani.

sua volta veniva mostrata nella relativa cartografia tematica come un rettangolo orientato nello spazio; una rappresentazione virtuale ma spesso piuttosto fedele della proiezione in superficie della faglia sismogenetica profonda (*Fig.* 4).

Questa tecnica consentiva dunque di ottenere delle "faglie equivalenti" a partire dai dati di terremoti anche molto antichi, il che consentiva di recuperare diversi secoli di storia sismica che in precedenza era stata utilizzata solo in modo molto qualitativo, ad esempio valutare la vocazione sismica di una regione rispetto alle altre.

Negli anni seguenti questo approccio concettuale è stato affinato ed esteso a tutta l'Italia, divenendo un riferimento per l'analisi dei dati di Sismologia storica a livello internazionale.

Le sorgenti sismogenetiche virtuali così ottenute sono state rappresentate insieme alla sismicità strumentale registrata dalla rete nazionale dell'ING e insieme alle sorgenti ottenute con strumenti geologici, che in quegli anni formavano l'embrione di quello che sarebbe diventato il *Database of Individual Seismogenic Sources* (DISS), del quale si parlerà nella sezione successiva. Si trattava di un approccio tutto italiano, ma portato da subito nelle sedi internazionali per un opportuno confronto. Ad esempio, nel luglio 1999 un gruppo di ricercatori dell'ING partecipò a una conferenza sui terremoti presso il Centro Ettore Majorana di Erice. Presentavano i loro risultati più recenti in un poster nel quale,

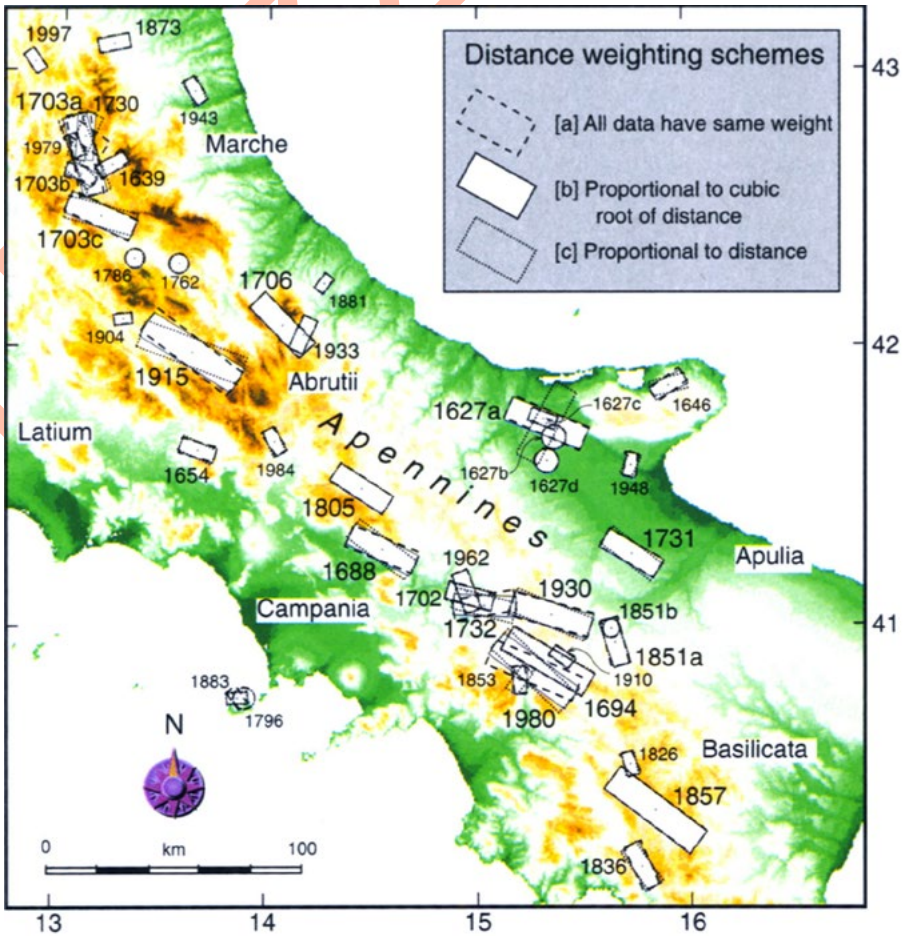


Figura 4 – Sorgenti sismogenetiche virtuali ottenute dall'elaborazione dei dati di intensità pubblicati nel Catalogo dei Forti Terremoti in Italia tramite il codice denominato Boxer (La figura è tratta da: P. Gasperini, F. Bernardini, G. Valensise e E. Boschi (1999). Defining seismogenic sources from historical earthquake felt reports. Bull. Seism. Soc. Am., 89, 94-110). I rettangoli rappresentano la presumibile proiezione in superficie della sorgente posta a profondità crostale. Pur essendo basate esclusivamente su dati storici, le sorgenti delineano chiaramente le aree a maggior sismicità della penisola, coerentemente con i principali trend geodinamici noti.

dopo aver giustapposto tutte le informazioni sismologiche, geologiche e storiche allora disponibili, venivano abbastanza provocatoriamente identificate un certo numero di aree in cui era più probabile il verificarsi di un terremoto distruttivo nei primi decenni del XXI secolo (*Fig.* 5).

Tra le aree individuate c'erano l'Abruzzo centrale, poi colpito dal terremoto del 6 aprile 2009 e in parte dai terremoti della sequenza dell'Appennino centrale del 2016-2017, l'area del confine calabro-lucano, colpita nel 2010 da una sequenza con scosse che hanno superato magnitudo 5.0, e l'area della Pianura Padana meridionale colpita dai terremoti del maggio 2012. Altre zone colpite da terremoti significativi di questi anni erano evidenziate come "aree di attenzione". Si era trattato di una *previsione*; probabilmente un po' temeraria, anche in virtù della relativamente limitata esperienza di coloro che l'avevano formulata, ma pure sempre una previsione, quantomeno nell'accezione (2) discussa in apertura di questo articolo.

4. CAPIRE I TERREMOTI DALLA GEOLOGIA

Molti si chiedono – e io stesso mi sono chiesto varie volte quando ero studente: ma se la Geologia si esprime in migliaia e milioni di anni mentre un terremoto è per sua natura istantaneo, cosa ne può capire il geologo del terremoto come fenomeno? La risposta è complessa e ovvia allo stesso tempo. Il terremoto non fa altro che "accelerare" i processi geologici, restituendoci un'istantanea di fenomeni che hanno una gestazione millenaria: in altre parole, il terremoto è Geologia in azione sotto i nostri occhi. Ne consegue che la conoscenza dei terremoti – recenti e storici – da un lato, e la comprensione globale dell'evoluzione della geologia recente e del paesaggio – dall'altro, possono consentirci di *prevedere* efficacemente le caratteristiche dei terremoti futuri.

Gli schemi riportati in *Fig.* 6 mostrano come in effetti il geologo sia una figura centrale in tutte le manifestazioni di un terremoto, a tutte le scale spaziali e cronologiche. Lo **scuotimento** (schema in alto) crea le premesse per un registrazione storica o archeologica dell'evento, ma chiama in causa la Geologia con riferimento (a) agli effetti sull'ambiente dello scuotimento stesso, come frane e liquefazioni, e (b) alla eventuale disomogeneità della risposta sismica causata dalla variabilità delle caratteristiche dei terreni di fondazione e del loro assetto geomorfologico. All'estremo opposto troviamo la **fagliazione superficiale** (schema in basso), che potrà essere osservata dal geologo anche migliaia di anni dopo l'evento, anche se va ricordato che i terremoti che arrivano a interessare la superficie topografica sono un sottoinsieme di tutti quelli che avvengono. Tutti i terremoti causano invece **deformazione superficiale**, ovvero una alterazione della topografia con lunghezza d'onda di molti km e con ampiezza variabile tra qualche centimetro e alcuni metri (schema al centro), che sommandosi evento dopo evento lascia una firma indelebile sulla geologia e sul paesaggio della regione sovrastante la sorgente sismogenetica.

Per il geologo lo strumento principe per identificare le faglie attive è l'osservazione diretta sul terreno. Questo approccio è in armonia con il carattere descrittivo della geologia tradizionale, ma comporta un percorso di osservazioni e inferenze che purtroppo contiene una forte componente di soggettività. In pratica, un esperto può considerare attiva una faglia che per un altro esperto non è attiva, o addirittura non è neppure una faglia. Questa non-oggettività delle stime degli esperti, che somiglia a una non-riproducibilità delle osservazioni effettuate nell'ambito delle discipline definite come esatte, dà una misura delle difficoltà insite nella ricerca delle faglie attive. La sola identificazione di faglie attive costituisce inoltre un approccio fortemente inadeguato per le ricerche a carattere applicativo per due ragioni fondamentali ma distinte:

a) rimanendo nel campo della pericolosità sismica, e quindi della *previsione* delle caratteristiche della sismicità del futuro, bisogna ricordare che un forte terremoto è generato da una sorgente sismogenetica posta a una profondità minima di 2-3 km e massima di centinaia di km, anche se i terremoti più insidiosi sono quelli che avvengono tra 3 e 20 km. Il problema che si pone quindi è quello di identificare faglie poste ad una profondità tale da renderle difficilmente identificabili dai soli elementi che si osservano in superficie. Fatte le dovute eccezioni, come le grandi faglie trascorrenti lunghe centinaia o migliaia di km (es. la Faglia di San Andreas in California e la Faglia Nord-anatolica in Turchia settentrionale), tutte le altre potenziali sorgenti di grandi terremoti sono rappresentate da sistemi complessi di faglie gerarchizzate, tema sul quale torneremo nel seguito;



24 DOMENICA 12 SETTEMBRE 1999 — Corriere della Sera

Corriere Scienza
UOMO/TECNOLOGIA/NATURA

Le aree sono classificate ad alto rischio perché da troppo tempo non sono soggette a movimenti sismici

Le quattro zone dove si aspettano i terremoti

Sono distribuite sugli Appennini, l'arco calabro e la Sicilia orientale

C'è una nuova mappa dell'Italia sismica, elaborata dai ricercatori dell'Istituto nazionale di geofisica (Ing), che riassume le conoscenze più aggiornate sulle faglie in grado di generare i forti terremoti italiani. In questa mappa gli studiosi hanno potuto evidenziare le cosiddette lacune sismiche, cioè le aree sismiche in cui da tempo non si verificano forti terremoti e che, quindi, sono esposte a terremoti significativi in futuro. Presentata in un recente convegno a Erice, la mappa rappresenta un approccio innovativo alla valutazione della pericolosità sismica del nostro Paese. «Tradizionalmente, la valutazione della pericolosità sismica si basa sulla identificazione di aree in cui i terremoti tendono ad avere sempre le stesse caratteristiche, individuate dalle informazioni contenute nei cataloghi storici e dai dati geologici — spiegano i ricercatori Ing —. Gli studi intrapresi negli ultimi anni puntano anche alla identificazione e descrizione delle faglie attraverso studi di sismologia storica, paleosismologia e sismologia strumentale. Poi, con l'aiuto di un modello fisico-matematico, si tenta di capire come si ripetono i forti terremoti».

A tutto questo si è aggiunto ora il concetto nuovo di lacuna: la ricerca del terremoto che non c'è e che, invece, ci dovrebbe essere. «Si è potuto accertare — aggiungono gli studiosi — che in un sistema di faglie l'attivazione avviene con la rottura in tempi successivi di segmenti, ognuno dei quali è lungo da alcune decine di chilometri fino a diverse centinaia di chilometri. Se uno di questi segmenti, già interessato da terremoti nel lontano passato, è rimasto immobile per molti secoli, mentre i segmenti adiacenti si sono attivati, allora possiamo supporre di essere in presenza di una lacuna sismica».

L'individuazione delle lacune sismiche lungo una fascia sismogenetica non può portare alla previsione di un terremoto, cioè all'indicazione precisa di quando esso avverrà, tuttavia costituisce un importante risultato scientifico e un elemento per orientare le strategie di prevenzione. Così poteva essere, ma non è stato, in Turchia, dove il disastroso terremoto di Izmit si è scaricato in una lacuna segnalata con largo anticipo dai sismologi.

In Italia gli studi dei sismologi hanno portato, finora, all'identificazione di diverse zone a elevata pericolosità sismica. Nell'ambito di esse sono presenti alcune lacune sismiche in cui il deficit di energia, accumulato negli ultimi secoli, sarà colmato con il verificarsi di forti terremoti. Le principali lacune evidenziate dagli studiosi ricadono in una fascia che comprende la dorsale appenninica, l'arco calabro e la Sicilia orientale. Le magnitudo massime dei terremoti attesi dovrebbero essere inferiori a 6,5 nell'Appennino settentrionale, e intorno a 7 nell'Italia meridionale, di gran lunga inferiori, quindi, alla magnitudo del recente terremoto turco, ma egualmente preoccupanti, date le condizioni del nostro patrimonio edilizio storico.

«Vorremmo sottolineare — precisano i ricercatori dell'Ing — che le lacune finora identificate sono solo una parte di quelle che presumibilmente esistano. Questa mappa, infatti, rappresenta solo il punto di partenza per comprendere le modalità di accumulo e rilascio dell'energia sismica, e per identificare le lacune ancora sconosciute».

Franco Foresta Martin

Uno studio dell'Istituto nazionale di geofisica

L'Italia a rischio

DOVE NASCONO I TERREMOTI
(Zone sismogenetiche: fasce lunghe decine di km attraversate da sistemi di faglie lungo cui si manifestano i terremoti)

1 **Arco Padc-Alpino dell'Italia Nord Orientale.** Dal confine con la Slovenia ai Monti Berici **Ultimo sisma: Friuli 1976 - 6,5** ° scala Richter

2 **Arco Padano.** Dal Lodigiano a Ferrara, passando per Cremona e Mantova **Ultimo sisma: Reggio Emilia 1996 - 5,4** ° scala Richter

3 **Appennino Centro-Settentrionale.** Dalla Lunigiana alla Valnerina, passando per Garfagnana e Mugello **Ultimo sisma: Cafferita 1997 - 6** ° scala Richter

4 **Appennino Centro-Meridionale.** Dalla Valnerina al Massiccio del Pollino, passando per Aquilano, Fucino, Matese, Sannio, Irpinia, Lucania **Ultimo sisma: Irpinia 1980 - 6,9** ° scala Richter

5 **Arco Calabro.** Dalla Piana di Sibari ai Peloritani **Ultimo sisma: Messina-Reggio 1908 - oltre 7** ° scala Richter

6 **a,b. Sicilia Settentrionale e orientale.** Fascia costiera Nord e dalla Piana di Catania agli Iblei **Ultimo sisma: Val di Noto 1693 - 7** ° scala Richter

7 **a,b,c. Fascia Adriatico-Ionica.** Ravennate, Gargano e Crotonese

8 **a,b,c,d. Aree Vulcaniche.** Amiata, Vulsini, Vulcano Laziale, Campi Flegrei, Vesuvio, Etna

ZONE AD ALTISSIMO PERICOLO
(Lacune sismiche: segmenti di faglie immobili da molti secoli)

- **Appennino Centro-Settentrionale,** tra il Casentino e Città di Castello. Potenziale superiore a **6,5** ° scala Richter
- **Appennino Centrale,** zona dell'Aquilano, tra Rieti e Sulmona. Potenziale superiore a **6,5**
- **Arco Calabro Settentrionale,** tra Castrovillari e Cosenza. Potenziale superiore a **6,5** ° scala Richter
- **Sicilia Orientale,** Val di Noto. Potenziale superiore a **6,5** ° scala Richter

A questo elenco vanno aggiunte probabili lacune nella Costiera Adriatica, tra Marche e Romagna e nell'Appennino Centro-Meridionale, nel Sannio

L'unica arma è la prevenzione

Ma esiste davvero la possibilità scientifica di individuare le zone dov'è più alta la probabilità che si verifichi un terremoto? Lo abbiamo chiesto al professor Franco Barberi, sottosegretario alla Protezione civile.

«Io sono convinto di sì. Fra i vari possibili approcci, ritengo che quello dell'individuazione delle lacune sismiche sia uno dei più promettenti. Infatti, sono stato io stesso a chiedere all'Istituto nazionale di geofisica, e alla comunità scientifica in genere, di affrontare queste ricerche».

La valutazione del rischio sismico in Italia, ricorda Barberi, finora si basava essenzialmente sulla statistica degli accadimenti e sulla vulnerabilità del patrimonio edilizio. Sappiamo che oltre il 40% del territorio è considerato a rischio e oltre il 60% degli edifici è giudicato inadeguato. «Il quadro è preoccupante — osserva Barberi — e l'unico modo per difendersi è attuare una politica di prevenzione consistente nell'adeguamento edilizio. Ma il fabbisogno finanziario è gigantesco. Allora ci chiediamo di fronte a risorse limitate, dove intervenire prima? Le lacune ci offrono un possibile criterio, che giudichiamo valido anche perché si è visto che funziona».

Barberi ricorda che, analizzando il modo con cui si è liberata l'energia nei recenti terremoti italiani, ultimo quello Umbro-Marchigiano del 1997-98, le scosse si sono succedute nei vari segmenti di faglia in modo tale da colmare le lacune. «Fermo restando che dobbiamo controllare tutto il territorio esposto al rischio sismico, rivolgiamo maggiore attenzione alle zone vicine alle lacune sismiche. Gli incentivi per il consolidamento dei vecchi edifici, la predisposizione dei piani di emergenza con l'individuazione di aree di sgombero, l'informazione alla popolazione, sono fra le misure che sollecitiamo». **(F.F.M.)**

Figura 5 - Articolo a firma del giornalista Franco Foresta-Martin - geologo di estrazione - sul Corriere della Sera-Scienza del 12 settembre 1999. La grande immagine centrale si basa sul modello presentato dai ricercatori dell'ING ad una conferenza svoltasi ad Erice appena qualche settimana prima (vedi testo).

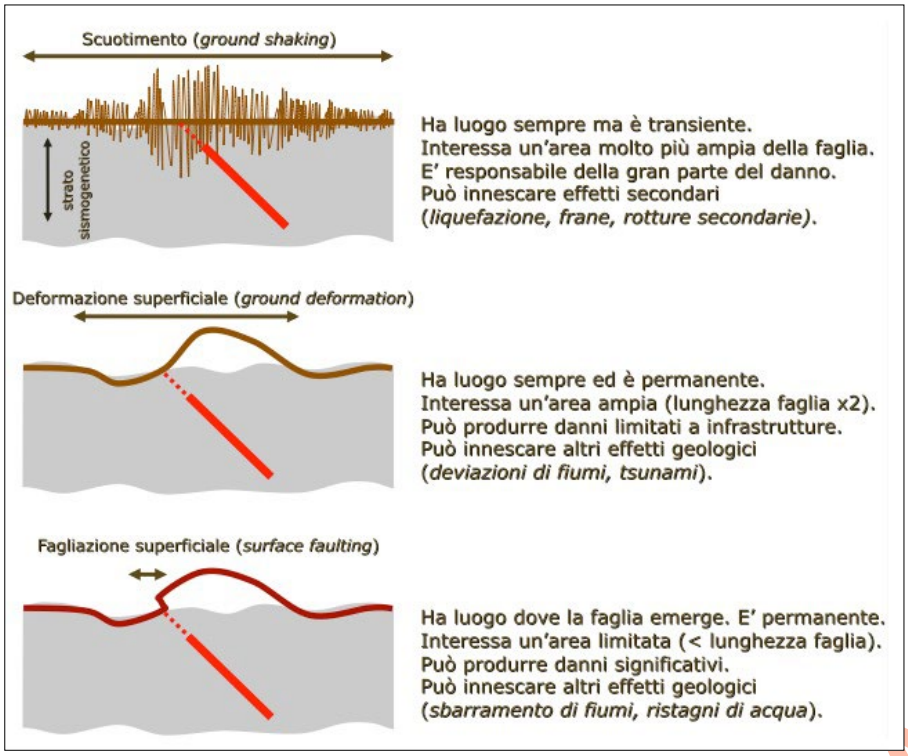


Figura 6 – Sintesi degli effetti in superficie di un forte terremoto, ovvero dei diversi osservabili di cui il geologo può avvalersi per identificare sul terreno le sorgenti dei terremoti passati, presenti e futuri

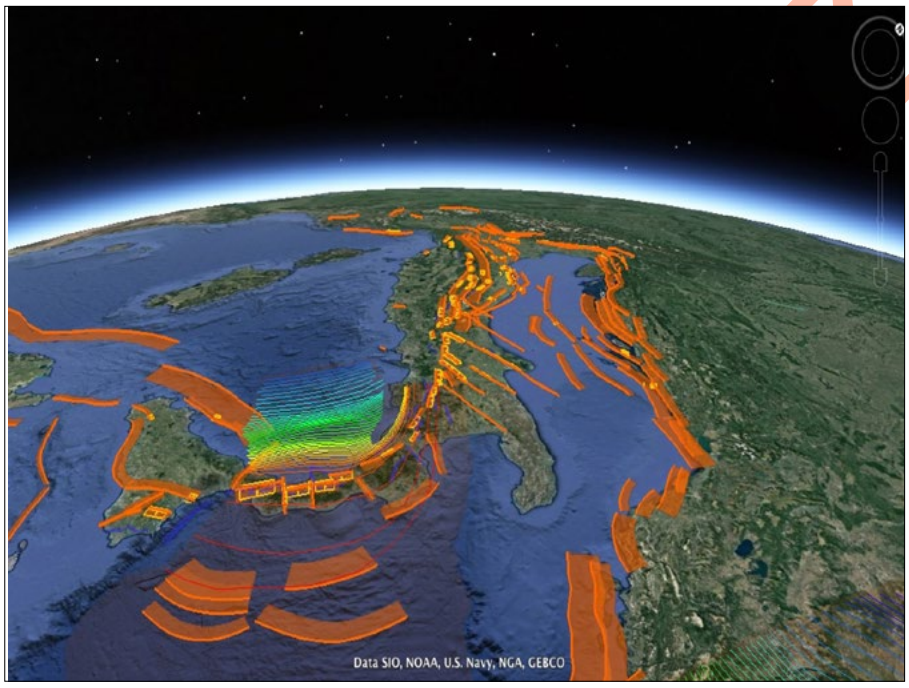


Figura 7 - Il Database of Individual Seismogenic Sources, o DISS (http://diss.rm.ingv.it/diss/), nella sua versione corrente (3.2.0), rilasciata nel 2015. È attualmente in corso di elaborazione una nuova versione che vedrà la luce nei prossimi mesi.

b) in quasi tutte le applicazioni pratiche della geologia più che descrivere i fenomeni esistenti, quali frane, giacimenti di varia natura e – appunto – faglie attive, diventa cruciale poterne accertare la presenza o, al contrario, escluderla. Tutti siamo consapevoli dei risvolti emotivi e pratici associati all'identificazione di una grande faglia presumibilmente attiva in una zona urbanizzata, o in prossimità di una infrastruttura a rischio, tanto che negli ultimi due decenni questo tema compare sempre più spesso nelle cronache e nei titoli dei giornali.

Ma identificare le faglie attive sul terreno è anche e soprattutto difficile, a causa di un intreccio di situazioni anche spinose e controverse che talora non sono del tutto evidenti persino agli addetti ai lavori, e che possiamo così sintetizzare[7]:

1) molte faglie sismogenetiche sono cieche, ovvero sono del tutto prive di espressione superficiale diretta. Questa circostanza, che è molto di diffusa in tutto il mondo e in particolar modo in Italia, è strettamente legata alla magnitudo dei terremoti attesi; faglie capaci di generare terremoti di magnitudo fino a 6.0, molto numerose in Italia, hanno una probabilità bassa o bassissima di essere espresse in superficie, ma anche faglie capaci di terremoti molto più grandi, come quello che ha colpito il Nepal il 12 maggio 2015, con una magnitudo pari a 7.8, non hanno una espressione superficiale diretta. L'assenza di evidenza di superficie rende la faglia invisibile alle normali tecniche di indagine diretta;
2) molte faglie sismogenetiche si trovano al di sotto dei fondali marini. È facile comprendere che anche questa circostanza rende la loro indagine diretta molto più difficile;
3) l'identificabilità di una faglia dotata di espressione superficiale è legata al fatto che la faglia stessa abbia dislocato depositi sufficientemente giovani da consentire di ipotizzare che la sua attività sia proseguita fino al presente, e dunque presumibilmente proseguirà nel futuro. È molto difficile, se non impossibile, identificare con certezza lo stato di attività di faglie che dislocano solo rocce molto antiche, perché questa condizione non consente di datare l'età del movimento; si rischia quindi di considerare attiva una faglia che non lo è più, con la conseguente alterazione delle valutazioni di pericolosità sismica;
4) la realtà geologica è spesso frutto di processi che si sovrappongono nello spazio e nel tempo, e non è sempre semplice identificare con certezza una faglia – e ancor meno una faglia attiva – partendo dalla sola indagine di terreno. Altri processi geologici, legati solo indirettamente all'attività geodinamica o addirittura del tutto indipendenti da essa, possono dar luogo a forme che simulano la presenza di una faglia attiva, o che fanno apparire attiva una faglia che non lo è più[8], introducendo nell'analisi quelli che in statistica potrebbero essere definiti dei *falsi positivi*;
5) come si accennava in precedenza, i sistemi di faglia sono per loro natura complessi, anche per la stratificazione di faglie di recente formazione, faglie

7 Per un'ampia sintesi di queste problematiche il lettore può fare riferimento a: G. Valensise, D. Pantosti (2001). *The investigation of potential earthquake sources in peninsular Italy: a review.* Journal of Seismology, 5, 287-306.

8 Si veda ad esempio: V. Kastelic, P. Burrato, M. M. C. Carafa e R. Basili (2017). *Repeated surveys reveal non-tectonic exposure of supposedly active normal faults in the Central Apennines, Italy.* J. Geophys. Res. Earth Surf., 121, doi: 10.1002/2016JF003953.

antiche riattivate nel campo di sforzi attuale e faglie antiche non riattivabili ma che rappresentano barriere passive per la propagazione delle faglie attive. L'osservazione degli effetti geologici dei forti terremoti mostra spesso la riattivazione di una pluralità di faglie di superficie, con modalità che spesso rendono possibile gerarchizzarle – ovvero capire quali sono quelle primarie e quali invece quelle riattivate solo passivamente – solo a posteriori[9]. Questo rende difficile *prevedere* quante e quali faglie sono capaci di generare autonomamente un forte terremoto e quali invece sono solo spettatori passivi nel processo.

Il Database of Individual Seismogenic Sources, o DISS (http://diss.rm.ingv.it/diss/) *Fig.* 7, che raccoglie l'eredità dell'esperimento descritto in precedenza (si veda la *Fig.* 5 e la relativa discussione), rappresenta una sintesi di tutti i principi descritti in questo capitolo. Il Database utilizza informazioni di natura diversa – dati storici, dati strumentali, osservazioni di terreno, dati di sottosuolo forniti dalla geofisica di esplorazione, elaborazioni modellistiche – per delineare le sorgenti sismogenetiche che vengono ritenute in grado di generare terremoti di magnitudo 5.5 e superiore. L'esperienza del DISS, iniziata con prototipi già nel 1997, è stata da alcuni anni esportata al resto d'Europa (http://diss.rm.ingv.it/share-edsf/) nel quadro della realizzazione del modello di pericolosità europeo denominato European Seismic Hazard Model (ESHM13: http://www.efehr.org).

5. I TERREMOTI DEL FUTURO: STORIA E GEOLOGIA SI INTERPELLANO

Da quanto asserito discende che è difficile sapere in ogni istante se le faglie attive che conosciamo sono tutte quelle che esistono nell'area di nostro interesse e che sono in grado di generare forti terremoti, e dunque se il nostro insieme di dati è *completo*. Ma c'è un altro elemento che riduce la percettibilità macroscopica del fenomeno sismico in vista di una sua prevedibilità: la lacunosità del record sismologico, sia strumentale sia storico, ovvero quella circostanza per cui abbiamo notizie o dati su alcuni terremoti ma non su altri, semplicemente perché avvenuti prima dell'inizio delle osservazioni di cui disponiamo. Nel caso del dato strumentale vale il principio che la durata dei cataloghi della sismicità di cui disponiamo, che di solito non supera i 30 o 40 anni – anche qui con significativi problemi di *completezza* – è assolutamente insufficiente a illustrare in modo completo il ciclo sismico caratteristico di una determinata faglia o gruppo di faglie.

Le limitazioni appena discusse prescindono del tutto dalla qualità e densità delle moderne reti di sorveglianza perché in questo caso il problema è rappresentato dai terremoti che non avvengono, e dei quali quindi non abbiamo cognizione, ma che potrebbero avvenire in futuro. I numerosissimi piccoli terremoti registrati dalle reti di sorveglianza, anche molte decine al giorno, sono la testimonianza vivente dell'esistenza di un sottoinsieme delle strutture tettoniche attive sul territorio, e in particolare di quelle attive nel periodo storico in cui stiamo vivendo, ma dicono poco o nulla su tutte le altre. I dati strumentali peraltro portano informazioni sulla struttura delle aree sismogenetiche, ma non sul loro comportamento atteso. Anche in questo caso resta evidentemente aperta una questione di *completezza*, per le ragioni sopra espresse.

A sua volta anche la Sismologia storica è soggetta alla lacunosità tipica della ricerca in campo storico, particolarmente per le epoche più remote e per certe aree del nostro paese in cui le fonti scritte seriali sono disponibili solo per pochi secoli. Dunque si pone nuovamente un problema di *completezza*, reso più acuto dal fatto che i grandi terremoti italiani sono (fortunatamente) anche piuttosto rari, e quindi esiste una elevata probabilità che le faglie di cui vorremmo conoscere il potenziale siano state semplicemente quiescenti durante il periodo per il quale è disponibile l'informazione storica; una condizione che necessariamente le rende ancora più pericolose, perché potrebbero trovarsi in una fase avanzata rispetto al loro ciclo caratteristico di produzione di terremoti.

La percezione della rarità dei forti terremoti italiani è in effetti un'acquisizione piuttosto recente. Fino alla fine degli anni '80 del secolo scorso la frequenza dei terremoti era vista soprattutto in chiave ingegneristica, con riferimento a "quante volte" in una data area era stato superato un prefissato valore di scuotimento; a questo parametro, che è alla base della elaborazione delle moderne mappe di pericolosità sismca, è dato il nome di *tempo di ritorno*. Il grande sviluppo delle ricerche in campo sismotettonico avviate dopo il terremoto dell'Irpinia del 1980 ha completamente cambiato questo paradigma, sottolineando l'opportunità di utilizzare come parametro-chiave anche il *tempo di ricorrenza*, ovvero il tempo che intercorre tra due eventi successivi di attivazione della stessa faglia sismogenetica. In una zona in cui esistono molte faglie, come in ampi settori dell'Appennino centrale e meridionale e della Calabria, l'attivazione a cascata di faglie adiacenti – un fatto osservato sperimentalmente e ben giustificato dalle sismologia moderna – può dare l'impressione che i terremoti non siano così rari: ma si tratta appunto di una condizione apparente, dovuta all'attivazione in tempi ravvicinati di faglie diverse, ognuna delle quali può avere un "tempo di incubazione" anche dell'ordine dei 1.000-2.000 anni, nell'ambito di periodi sismici che potrebbero poi aprire la strada a periodi di totale quiescenza estesi per secoli.

Sulla base di quanto affermato dunque la partita della ricorrenza dei forti terremoti si gioca – in Italia e altrove – in una sorta di rimpallo tra quello che ci aspettiamo che debba succedere, sulla base dell'evidenza geologica e geodinamica, e quello che è già successo, così come ci viene documentato sia dalla storia sia dal *record* strumentale, preziosissimo ma assolutamente breve per questi scopi. Come ha suggerito recentemente Francesco Mulargia in un articolo significativamente intitolato *Perché il prossimo forte terremoto sarà verosimilmente una grossa sorpresa*[10] il risultato di questo stato delle cose è che né l'informazione geologica né quella storica possono da sole aiutarci a identificare – dunque a *prevedere* – tutti i probabili terremoti prossimi venturi.

È quindi inevitabile usare congiuntamente e con saggezza le informazioni che ci arrivano dalla storia sismica e quelle che ci arrivano dalla storia geologica: in fondo la Geologia è la narrazione della vita del pianeta così come la Storia è la narrazione della vita di coloro che lo abitano. Ma a sua volta la storia dell'uomo è troppo breve – appena qualche migliaio di anni – e la "geologia delle rocce dure" che formano le catene montuose troppo lunga – si misura in milioni di anni – per catturare tutti i processi evolutivi del pianeta che minacciano il genere umano, come il susseguirsi delle catastrofi naturali. Questa differenza nelle scale cronologiche caratteristiche della Geologia e della nostra presenza sul pianeta resta l'ostacolo principale per la nostra capacità di *prevedere* efficacemente i terremoti del futuro.0

9 Si veda ad esempio: L. Bonini, D. Di Bucci, G. Toscani, S. Seno e G. Valensise (2014). On the complexity of surface ruptures during normal faulting earthquakes: excerpts from the 6 April 2009 L'Aquila (central Italy) earthquake (M-w 6.3). Solid Earth, 5, 389-408, ISSN: 1869-9510, doi: 10.5194/se-5-389-2014.

10 F. Mulargia (2013). *Why the next large earthquake is likely to be a big surprise*. Bull. Seismol. Soc. Am., 103, pp. 2946-2952.

IL BOZZA

Moderni sistemi per la prevenzione sismica

Modern systems for seismic prevention

Alessandro Martelli
Ingegnere, PhD, Vice-Presidente ASSISi
(Anti-Seismic Systems International Society)
e già Presidente GLIS (Isolamento ed Altre Strategie di Progettazione Antisismica)
E-mail: marteisso1@gmail.com

Parole chiave (*key words*): sistemi antisismici (*anti-seismic systems*), isolamento sismico (*seismic isolation*), dissipazione di energia (*energy dissipation*), nuove costruzioni (*new constructions*), retrofit di edifici esistenti (*retrofit of existing buildings*)

1. INTRODUZIONE

Numerose moderne tecnologie in grado di rendere sismicamente sicure le costruzioni (edifici, ponti e viadotti ed impianti), di nuova costruzione od esistenti, sono disponibili e del tutto qualificate ormai da tempo, anche in Italia (anzi, nel nostro Paese prima di quanto avvenuto in altri, anche se ora più evoluti del nostro). Esse si basano o sul rinforzo delle strutture, o sull'uso di sistemi antisismici, o su una combinazione delle due tecniche (Martelli, a cura di, 2017).

Nel seguito, riportando quanto illustrato nel Cap. 2 del libro «Edifici e impianti di nuova costruzione ed esistenti e patrimonio culturale protetti dal terremoto grazie a moderne tecnologie – Normativa, sperimentazione, progettazione, realizzazione, collaudo e monitoraggio sismico» (Martelli, 2017), sono ricordate le caratteristiche dei sistemi antisismici, sono riportate alcune note sui costi aggiuntivi di costruzione che il loro uso eventualmente comporta, sono sottolineate le condizioni per un'utilizzazione corretta di tali sistemi, è fornito un quadro sintetico delle loro applicazioni in Italia e nel mondo e sono citate le verifiche della loro efficacia durante violenti terremoti.

Per maggiori dettagli, inclusi alcuni cenni storici, si rinvia al capitolo succitato, che riporta anche numerose immagini ed un'ampia bibliografia, nonché ai due recenti articoli di Clemente e Martelli (2017) e Martelli *et al.* (2017).

2. CARATTERISTICHE DEI SISTEMI DI ISOLAMENTO SISMICO ORIZZONTALI

I sistemi antisismici si basano, in generale, sulla drastica riduzione delle forze sismiche agenti sulla struttura, piuttosto che affidarsi alla sua resistenza. Fra tali sistemi, i principali sono quelli di isolamento sismico nelle direzioni orizzontali e quelli di dissipazione dell'energia.

L'isolamento sismico orizzontale consiste nel disaccoppiare il movimento trasversale della costruzione da quello del terreno, "filtrando" così le componenti orizzontali del terremoto (che, usualmente, sono quelle più pericolose), mediante l'inserimento di dispositivi trasversalmente estremamente flessibili (per lo più in gomma armata internamente con lamine d'acciaio) e/o a scorrimento od a rotolamento, detti "isolatori". Mentre nei ponti e nei viadotti gli isolatori (così come i dispositivi antisismici di diversa tipologia) sono ora normalmente installati alla sommità delle pile (sebbene esistano, ad esempio in Giappone, anche applicazioni di tali dispositivi alla base, nel caso di pile molto robuste), negli edifici italiani essi sono usualmente inseriti prevalentemente alla base od all'interno del piano terreno, ma esistono anche applicazioni di isolamento ai piani, o, pure in Italia (per edifici sospesi), alla sommità (Martelli, 2017).

Pertanto, sopra gli isolatori, la struttura (se non è eccessivamente flessibile) si muove quasi come un "corpo rigido" nel piano orizzontale, con valori molto piccoli, in tale piano, sia dell'accelerazione che degli spostamenti d'interpiano e, quindi, senza danneggiamento non solo delle parti strutturali, ma neppure di quelle non strutturali, contenuti compresi.

Nei casi suddetti, si realizza, cioè, per la sovrastruttura (che è la parte della struttura sorretta dagli isolatori) ciò che è impossibile per una costruzione fondata in maniera convenzionale. Infatti, il periodo proprio della costruzione aumenta considerevolmente nelle direzioni orizzontali e, pertanto, in tali direzioni, le accelerazioni della struttura decrescono fortemente; è vero che, in parallelo, crescono fortemente i suoi spostamenti (ma di "corpo rigido") trasversali, però, nei casi in cui l'isolamento è applicato, essi sono dovuti a deformazioni praticamente tutte concentrate negli isolatori.

Un altro vantaggio dell'isolamento sismico è che, siccome esso induce movimenti molto lenti nella sovrastruttura (che, quindi, sono avvertiti molto meno che non in un edificio con fondazioni convenzionali), è minimizzato anche il *panico*, effetto che può risultare molto pericoloso in edifici pubblici densamente "popolati" (in particolare scuole, ma anche chiese, centri commerciali, ecc.). Inoltre, dato che un buon sistema di isolamento sismico elimina la necessità di duttilità da parte della sovrastruttura, questa tecnica permette di realizzare anche edifici in muratura di notevole altezza in aree ad elevata pericolosità sismica, come accade da tempo, ad esempio, nella Repubblica Popolare (R.P.) Cinese. Infine, se un sistema di isolamento sismico è progettato con adeguati margini di sicurezza, esso è anche in grado di ovviare alle incertezze (o all'ignoranza) che caratterizzano il moto sismico di progetto (Martelli, 2017).

Gli isolatori sismici ora di norma considerati devono, quindi, essere molto rigidi nella direzione verticale. Si noti che, sebbene la funzione principale di tali dispositivi sia di "filtrare" l'energia sismica, essi devono però possedere anche una *sufficiente capacità dissipativa*, in modo da limitare lo spostamento orizzontale di progetto a valori accettabili (cioè, usualmente fino a 50 cm in Italia, ma fino ad oltre 1 m in aree ad elevatissima sismicità, come, ad esempio, in Giappone od in California). Tipicamente, è sufficiente un valore del coefficiente di smorzamento non superiore al 15%: valori troppo elevati sono da evitare, per non "sporcare" il filtro, causando così amplificazioni locali del moto alla base della sovrastruttura isolata a frequenze tipiche dei contenuti, dei tramezzi e, soprattutto, delle apparecchiature.

Quando si utilizzano moderni isolatori in gomma naturale (*Rubber Bearing* o RB), la loro capacità dissipativa si può usualmente ottenere:

- additivando la gomma naturale con particolari oli e resine (isolatori ad alto smorzamento o *High Damping Rubber Bearing* – HDRB), metodo da tempo utilizzato in Italia, oltre che in molti edifici statunitensi, giapponesi e di altri paesi (si vedano, ad esempio, le *Figg.* 1, 2, 3a, 4 e 5);
- inserendo all'interno degli isolatori nuclei, usualmente di piombo (isolatori in gomma-piombo o *Lead Rubber Bearing* – LRB), metodo che permette di ottenere valori del coefficiente di smorzamento maggiori del 15% e che è pure utilizzato in molti edifici statunitensi, giapponesi, cinesi e neozelandesi (si vedano, ad esempio, le *Figg.* 3b e 7);
- installando dissipatori di energia accanto ad isolatori in gomma a basso smorzamento (*Low Damping Robber Bearing* o LDRB), od anche ad altri tipi di RB (metodo assai utilizzato in Giappone), ovvero ad isolatori a scorrimento a superficie piana (SD), decritti nel seguito (Martelli, 2017).

Quanto agli isolatori RB, oltre a quelli in gomma naturale suddetti, sono ancora utilizzati, in qualche caso, isolatori in neoprene

UFFICIALE



Figura 1 – La scuola elementare Francesco Jovine di San Giuliano di Puglia (CB), distrutta dal terremoto del Molise e della Puglia del 2002 (a sinistra) e ricostruita (in altra posizione), assieme ad un secondo corpo di fabbrica, su una piattaforma comune isolata sismicamente (su progetto di un team coordinato dall'ENEA), mediante 61 HDRB e 12 SD, che permettono anche di minimizzare gli effetti torsionali indotti dalla forte asimmetria della struttura in pianta (si tratta della prima delle ormai oltre 30 scuole isolate in Italia, collaudata in corso d'opera – c.o. – nel 2008 dallo scrivente e dall'Ing. G. Pasquale di Campobasso).

(*Neoprene Bearing* o NB) e, principalmente in Armenia, isolatori in neoprene a smorzamento maggiorato (*Medium Damping Neoprene Bearing* o MDNB), sviluppati in quel paese.

Ovviamente, oltre ad essere caratterizzato dalle funzioni principale e secondaria summenzionate, un sistema d'isolamento adeguato del tipo suaccennato deve possedere:

- una buona *capacità ricentrante* (cioè di riportare la struttura alla posizione iniziale una volta terminato il terremoto);
- una *vita utile* sufficientemente lunga (almeno pari a quella della struttura), requisito che molti dimenticano;
- *rigidezza crescente al diminuire del livello dell'eccitazione sismica*, elevata per quelle di modesta entità, così da impedire continue vibrazioni, ad esempio, sotto l'azione del vento;
- rigidezza e smorzamento *poco sensibili* ad effetti quali le variazioni di temperatura, l'invecchiamento, ecc.

Gli attuali isolatori in gomma ormai possiedono tutte queste caratteristiche. Essi, poi, devono essere ovviamente protetti dal fuoco, da atti di vandalismo e da altre possibili cause di danneggiamento, ove necessario (ma possono esserlo agevolmente).

Oltre ai RB, comunque, sono utilizzati anche altri sistemi di isolamento sismico, ad esempio:

- isolatori a scorrimento a superficie piana acciaio-teflon (*Sliding Device* o SD), che, in numerose realizzazioni, sono ora prevalentemente accoppiati ad isolatori in gomma (i quali forniscono la capacità ricentrante) per sorreggere parti di edifici che non devono sostenere carichi verticali rilevanti (in modo da non irrigidire inutilmente il sistema di isolamento sismico e da poter isolare in modo economico anche edifici leggeri) e, soprattutto, per minimizzare gli effetti torsionali che, in caso di fondazioni convenzionali, vi sarebbero in presenza di asimmetrie della sovrastruttura in pianta (*Figg.* 1, 3b e 4);
- isolatori cosiddetti "a pendolo scorrevole" (*Curved Surface Slider* o CSS), che dovrebbero assicurare una sufficiente dissipazione di energia grazie al valore del coefficiente



Figura 2 – L'edificio principale ("Sale Operative") del Centro della Protezione Civile di Foligno (ove sono numerosi gli edifici isolati), che poggia su 10 HDRB di 1 metro di diametro (il corpo centrale, contenente le scale di accesso, è sospeso e giuntato), progettato dal socio GLIS ed ASSISi Prof. A. Parducci (con la collaborazione dell'ENEA per la ridefinizione delle azioni sismiche di progetto) e collaudato in c.o. dallo scrivente nel 2011 (si notino l'architettura, impossibile con fondazioni convenzionali e per la quale il Prof. Parducci ha ottenuto premi, ed il fatto che l'edificio è stato dotato di un sistema di monitoraggio sismico, come raccomandato dallo scrivente nella sua relazione di collaudo, realizzato con la collaborazione dell'ENEA e che ha permesso l'ottenimento di dati di estrema importanza durante la crisi sismica iniziata il 24 agosto 2016 nell'Italia Centrale).



Figura 3 – (a – a sinistra) Tre dei quattro edifici residenziali di 5 piani di Cerignola (FG), isolati mediante 124 HDRB, con costi aggiuntivi di costruzione nulli rispetto ad edifici fondati convenzionalmente (prima applicazione dell'isolamento nell'ambito nei cosiddetti "Contratti di Quartiere"), progettati dal socio GLIS ed ASSISi Ing. A. Dusi ed altri e collaudati in c.o. dallo scrivente nel 2009; (b – al centro e a destra) il nuovo edificio residenziale di Via Spadafora a Messina, di 8 piani (oltre al cantinato) costruito (dopo la demolizione di quello precedente) su 11 LRB e 2 SD installati alla sommità dei pilastri del garage interrato, progettato dal membro del Consiglio Direttivo GLIS e socio ASSISi Ing. M. Marino e collaudato in c.o. dallo scrivente e dall'Ing. G. Camiti di Messina nel 2014 (previa installazione di un sistema che garantisca l'integrità del giunto strutturale pure nel caso di eventuali crolli dell'edificio convenzionale adiacente).

di attrito del materiale a scorrimento ed il ricentraggio grazie alla loro forma e che sono stati sviluppati ed applicati inizialmente dalla sola azienda americana EPS (*Friction Pendulum System* o FPS), poi, con materiali a scorrimento diversi (polietilenici), dall'azienda tedesca *Maurer* (*Seimic Isolation Pendulum* o SIP), e, infine, anche in altri paesi, inclusa (dopo il terremoto in Abruzzo del 2009) pure l'Italia (Clemente e Martelli, 2017; Martelli, 2017; Martelli *et al*., 2017);

- isolatori "a rotolamento" (*Ball Bearing* o BB), in particolare a sfere (Martelli, 2017), che, utilizzati in parallelo a dissipatori e dispositivi ricentranti, trovano frequenti applicazioni soprattutto in Giappone, dove sono stati sviluppati (ad esempio dall'azienda THK), per costruzioni sia pesanti che anche assai leggere, come pure casette in legno (in conseguenza del loro costo significativo, in Italia questo tipo di isolatori ha trovato, sino ad ora, solo poche applicazioni, come quelle alla statua del Guerriero di Capestrano a L'Aquila, durante la riunione del G8 del 2010, a teche museali al Museo di Assisi ed ai Bronzi di Riace al Museo di Reggio Calabria, anche se se ne parla pure per proteggere il David di Michelangelo alla Galleria dell'Accademia di Firenze).

Un conclamato vantaggio degli isolatori CSS rispetto ai RB (oltre al loro costo inferiore) è che essi sarebbero applicabili indipendentemente dalla massa della sovrastruttura e sarebbero in grado di minimizzarne, da soli (cioè senza utilizzare i dispositivi a scorrimento SD installati in parallelo ai RB), gli effetti torsionali: di ciò molti (compreso lo scrivente) dubitano, soprattutto per quanto attiene all'efficacia dei CSS qualche anno dopo la loro installazione (allo scrivente non sono noti studi che dimostrino tale efficacia, contrariamente a quanto avviene per i RB). Le summenzionate riserve dello scrivente non riguardano, invece, gli isolatori "a rotolamento", quantomeno se essi sono costituiti da sfere in acciaio.

Circa, infine, gli isolatori a scorrimento a superficie piana SD, si noti che il concetto su cui si basano non è affatto nuovo: era quello utilizzato nelle prime antiche applicazioni, realizzate o proposte, dell'isolamento sismico (Martelli, 2017).

3. NOTE SULL'ISOLAMENTO SISMICO TRIDIREZIONALE

Per quanto riguarda il fatto che l'isolamento sismico è usualmente applicato solo nel piano orizzontale, è da ricordare che la *componente verticale* dei terremoti è normalmente inferiore a quelle orizzontali, almeno al di fuori della zona epicentrale, e che le strutture, per le loro caratteristiche costruttive, resistono assai meglio alle vibrazioni verticali che non a quelle orizzontali; inoltre, con l'isolamento tridirezionale è spesso arduo controllare i moti di beccheggio (*rocking*). Infine, qualora fosse necessario proteggere alcuni componenti particolarmente delicati (ad esempio, *computer*) anche dalle vibrazioni verticali, è usualmente più agevole isolare orizzontalmente la base dell'edificio che li contiene ed isolare verticalmente solo i piani d'interesse. Comunque, sono stati sviluppati anche sistemi "*anti-rocking*", in particolare dai giapponesi per applicazioni in campo nucleare (ovviamente, l'uso di tali sistemi comporta costi non trascurabili).

4. ISOLAMENTO SISMICO DI COSTRUZIONI ESISTENTI, CONVENZIONALI E MONUMENTALI

L'isolamento è una tecnica di agevole applicazione nel caso di strutture di nuova costruzione, ma può essere utilizzato (e lo è già stato sovente, dapprima in Nuova Zelanda e negli USA ed da anni in Giappone, nella R.P. Cinese e pure in Italia) *anche per l'adeguamento* (od il "miglioramento") sismico di strutture esistenti: in questo caso esso è attuato, per gli edifici, mediante il taglio delle fondazioni o delle strutture portanti (pilastri e pareti) del primo piano, ovvero mediante la sottofondazione (*Figg*. 4 e 5).

Si noti che, qualora si intervenga su costruzioni esistenti con l'isolamento sismico, a parere dello scrivente, non ha senso limitarsi al solo "miglioramento": infatti, con una spesa aggiuntiva limitata, non è difficile rinforzare gli elementi della sovrastruttura isolata, ad esempio, grazie a fibre o, come mostrato nella *Fig*. 4a, utilizzando il metodo denominato "Cuciture Attive dei Manufatti" (o CAM), in misura tale da conseguire un *effettivo adeguamento* (Martelli, a cura di, 2017).

Per attuare corrette politiche di prevenzione sismica, è ovviamente indispensabile non solo intervenire (correttamente) su quanto è già stato danneggiato da terremoti, ma, soprattutto, *agire anche sull'esistente non ancora da essi colpito*, tramite l'installazione di sistemi di isolamento sismico in fase preventiva: ciò permette, fra l'altro, di *limitare molto l'interruzione dell'operatività* della costruzione (cosa di particolare interesse, ad esempio, nel caso degli *ospedali*, le cui attività non possono essere agevolmente spostate).

È poi da sottolineare che sistemi di isolamento sismico possono essere utilizzati anche per intervenire su *edifici monumentali* o, comunque, di interesse artistico, sebbene con particolari accorgimenti, cioè in sottofondazione (onde garantire il rispetto dai requisiti del restauro), e, quindi, con costi non trascurabili (Clemente e Martelli, 2017; Martelli *et al*., 2017).

Comunque, anche in Italia, occorre finalmente iniziare a distinguere tra l'edificato realmente "antico" e quello semplicemente "*vecchio*", demolendo quest'ultimo e ricostruendolo in modo tale che esso garantisca la sicurezza sismica (contrariamente a quanto attualmente avviene in Italia, anche per la miopia di numerose Sovrintendenze, oltre che per leggi ormai superate).

BOZZA



Figura 4 – (a – in alto a sinistra) Villa in c.a. di 3 piani e mansarda a L'Aquila (SS 17), fortemente danneggiata dal sisma del 2009, rinforzata con il Metodo CAM ed adeguata con 8 HDRB e 19 SD (foto a sinistra, del P.I. B. Spadoni); (b – a destra e in basso a sinistra) retrofit con l'isolamento sismico del complesso edilizio residenziale di via dei Tigli di Pianola (AQ) (42 HDRB e 62 SD, progetto dei soci GLIS Ingg. G. Mancinelli e D. Corsetti, collaudo statico in c.o. dello scrivente, in maggio 2014).

Ciò vale, per gli edifici "vecchi", soprattutto (ma non solo) per quelli:

- *strategici*, come, ad esempio, gli *ospedali* ed altri rilevanti per la protezione civile (edifici che dovrebbero restare operativi dopo un terremoto, anche forte);
- *pubblici*, in particolare per le *scuole*, che dovrebbero restare totalmente integre dopo un terremoto, anche violento, perché esse contengono il futuro di ogni comunità.

Per quanto attiene a scuole, ospedali, altri edifici strategici e pubblici ed anche musei che sono attualmente ospitati in edifici monumentali che non sia possibile adeguare sismicamente, ad avviso dello scrivente, è indispensabile *spostarne le funzioni* in altri che siano totalmente sicuri (magari da costruire isolati ad *hoc*).

Infine, per quanto riguarda gli *impianti chimici a Rischio di Incidente Rilevante* (RIR) esistenti, lo scrivente ritiene necessario che si valuti, con la massima urgenza, la loro vulnerabilità, rispetto sia al rischio sismico che, ove necessario, a quello da maremoto (in particolare, in Sicilia, a Priolo-Gargallo ed a Milazzo), si definisca, finalmente, un'adeguata normativa (questa anche per gli impianti di nuova costruzione) e si proceda, finalmente, ai necessari interventi di messa in sicurezza dei componenti esistenti che lo richiedano (Martelli, 2017): a tal fine l'isolamento sismico e la dissipazione di energia possono risultare di estrema utilità (sino ad ora, purtroppo, in Italia risultano allo scrivente solo tre *retrofit* con l'isolamento sismico, a Priolo-Gargallo, su tre serbatoi cilindrici).

5. NOTE SUI COSTI DELL'ISOLAMENTO SISMICO E SUGLI SVILUPPI DELLA NORMATIVA

Anche quando (prima dell'entrata in vigore della nuova normativa sismica nel 2003) non era ammesso trarre alcun vantaggio dall'utilizzazione dell'isolamento sismico, i costi di costruzione aggiuntivi per nuove realizzazioni erano limitati: orientativamente, per gli edifici, il costo di costruzione aggiuntivo delle strutture era del 7÷10% (percentuale che si riduceva, molto spesso, al 2÷3% del costo dell'opera completa).

Già allora, però, l'isolamento sismico aveva talvolta permesso notevoli semplificazioni, con conseguenti consistenti risparmi: ad esempio, la possibilità di evitare una complessa palificazione (sostituita da una rigida platea di fondazione) e quella di realizzare edifici di forma particolare e con notevoli asimmetrie di rigidezza permisero di risparmiare addirittura il 7% dei costi di costruzione nell'edificazione, terminata nel 1990, del Centro Regionale della Telecom Italia di Ancona, la prima grande applicazione italiana dell'isolamento alla base (Martelli, 2017).

Quanto alle asimmetrie degli edifici, infatti, come si è già accennato, queste risultano assai problematiche per gli edifici con fondazioni convenzionali, in aree significativamente sismiche, in quanto generano pericolosi effetti torsionali. Ecco che allora, ad esempio, per evitare forti asimmetrie geometriche in pianta od in alzato, occorre spesso separare tali edifici in più corpi di fabbrica sufficientemente simmetrici. Ciò, invece, non è necessario per le costruzioni isolate.





Figura 5 – Palazzina di via Fratelli Latini a Fabriano (Ancona), che aveva riportato danni non strutturali durante i terremoti umbro-marchigiani del 1997-98 e che fu adeguata sismicamente, per la prima volta in Europa, dal compianto socio del GLIS e dell'ASSISi Ing. G. Mancinelli, con l'isolamento sismico in sottofondazione (costituito da 56 HDRB) e fu collaudata in c.o. dallo scrivente nel 2006 (questa palazzina non ha sinora riportato alcun danno durante la crisi sismica iniziata, nell'Italia Centrale, il 24 agosto, neppure durante l'evento di Norcia del 30 ottobre 2016).

Inoltre, già prima dell'entrata in vigore della nuova normativa sismica, accadeva spesso che l'isolamento comportasse un risparmio nel caso di adeguamento o miglioramento sismico di edifici esistenti: ciò, ad esempio, si verificò per una palazzina sita in via Fratelli Latini a Fabriano, fortemente lesionata dai terremoti *umbro-marchigiani* del 1997-98 (*Figg.* 5). In essa fu realizzato, per la prima volta in Europa, un intervento con l'isolamento in sottofondazione, ove furono inseriti HDRB, seguito (in corrispondenza degli isolatori) dal taglio dei vecchi pali di fondazione. Il risparmio (del 20%, che consentì il finanziamento dell'intervento di isolamento sismico invece di uno di tipo convenzionale) derivò dal fatto che l'isolamento permise di evitare il notevole irrigidimento della struttura (di difficile esecuzione, per la presenza di numerose aperture) ed il rifacimento di tutte le parti non strutturali (anche di quelle non danneggiate dal terremoto, come i pavimenti, od agevolmente riparabili, come molti tramezzi), che si sarebbero resi necessari con un intervento di tipo, appunto, convenzionale: infatti, i notevoli danni subiti dalla palazzina (essenzialmente alle parti non strutturali, con ampie fessurazioni e crolli parziali dei tamponamenti e di tramezzi interni) sono da ascriversi principalmente sia all'eccessiva flessibilità presentata dai pilastri in cemento armato (c.a.), che i rigidi elementi in muratura non erano stati in grado di seguire, sia a problemi delle fondazioni. L'eccessiva flessibilità dei pilastri è una caratteristica comune a molti edifici esistenti in c.a., soprattutto se realizzati in aree non classificate sismiche al momento della loro costruzione.

Circa la suddetta palazzina di Fabriano, che era stata collaudata in corso d'opera (c.o.) dallo scrivente nel 2006, è da sottolineare che egli, durante una sua ispezione effettuata in dicembre 2016 (cioè dopo il terremoto di Norcia del 30 ottobre), riscontrò l'assenza di qualsiasi danno (contrariamente a quanto era accaduto in alcuni edifici similari attigui, in parte ricostruiti dopo i sismi *umbro-marchigiani* del 1997-98).

La nuova normativa sismica, poi, oltre a aver liberalizzato l'uso delle moderne tecnologie antisismiche, lo ha reso più conveniente, permettendo, in particolare, nel caso di strutture isolate, di tener conto della riduzione delle forze sismiche agenti sulla sovrastruttura, operata dal sistema d'isolamento, e di assumere, per essa, accelerazione costante (invece che crescente) dalla base alla sommità, coerentemente con il movimento di "corpo rigido" che essa presenta. Queste semplificazioni riducono molto, e talvolta annullano, i costi aggiuntivi dovuti al sistema d'isolamento, anche per le nuove costruzioni, in quanto questi sono compensati dai risparmi dovuti all'alleggerimento della sovrastruttura (*Fig.* 3a). Ciò rende l'isolamento sismico una tecnica attraente non solo per la protezione degli edifici strategici e pubblici, ma pure per quella di quelli residenziali (*Figg.* 3-5).

Ovviamente, però, ciò significa che la sicurezza sismica della costruzione è fondamentalmente *affidata all'efficacia del sistema di isolamento sismico*, durante l'intera vita della costruzione stessa (*Par.* 8).

6. PRINCIPALI SISTEMI DISSIPATIVI E LORO CARATTERISTICHE

La dissipazione di energia consiste nell'inserimento, in apposite posizioni della struttura (cioè sulle diagonali, ove sono massimi gli spostamenti differenziali, come mostrato, ad esempio, dalla *Fig.* 6), di dispositivi, detti dissipatori (o *damper*). I dissipatori sono in grado di "attrarre" e concentrare su se stessi gran parte dell'energia trasmessa dal terreno alla struttura durante un sisma, provvedendo a dissiparla (cioè a trasformarla in calore), cosa che, in assenza di essi, sarebbe operata dagli elementi strutturali (e non), attraverso il danneggiamento di tali elementi e, eventualmente, il collasso della struttura o di sue parti. I più utilizzati (anche in Italia) sono i dissipatori di tipo viscoso, elasto-plastico, viscoelastico e "ad instabilità impedita":

- i dissipatori elastoplastici (*Elastic-Plastic Damper*, o EPD) si basano sulla capacità di particolari acciai di sopportare numerosi cicli di elevate deformazioni plastiche (Martelli, 2017); con essi, quindi, la dissipazione energetica dipende dallo spostamento (comportamento cosiddetto "isteretico", od elastoplastico);
- i dissipatori viscosi (*Viscous Damper* o VD), invece, si basano sulla dissipazione energetica derivante dal passaggio di fluidi (siliconici) particolarmente viscosi attraverso stretti orifizi nel setto presente in un sistema cilindro-pistone; con essi, dunque, la dissipazione di energia dipende dalla velocità;
- i dissipatori viscoelastici (*Visco-Elastic Damper* o VED) utilizzano particolari gomme che forniscono una dissipazione di energia funzione sia dello spostamento che della velocità;
- i dissipatori "ad instabilità impedita" (*Buckling Restrained Brace* o BRB), da tempo molto utilizzati anche in Giappone e negli USA, sono costituiti da aste in acciaio contenute in un involucro in calcestruzzo, che impedisce l'instabilità dinamica delle aste in fase di compressione, permettendo, così, alle aste stesse, di dissipare energia anche in questa fase, oltre che in quella di trazione (*Fig.* 6).

I sistemi dissipativi sono meno efficaci di quelli di isolamento, perché lasciano entrare inalterata l'energia sismica nella struttura e perché, per attivarsi e funzionare, hanno la necessità che la struttura si deformi sufficientemente (e non possono, quindi, ridurre gli spostamenti relativi nella stessa misura con cui riescono a farlo i sistemi di isolamento). Inoltre, è necessaria l'installazione di numerosi elementi ingombranti e sovente antiestetici, come

UBOZZA

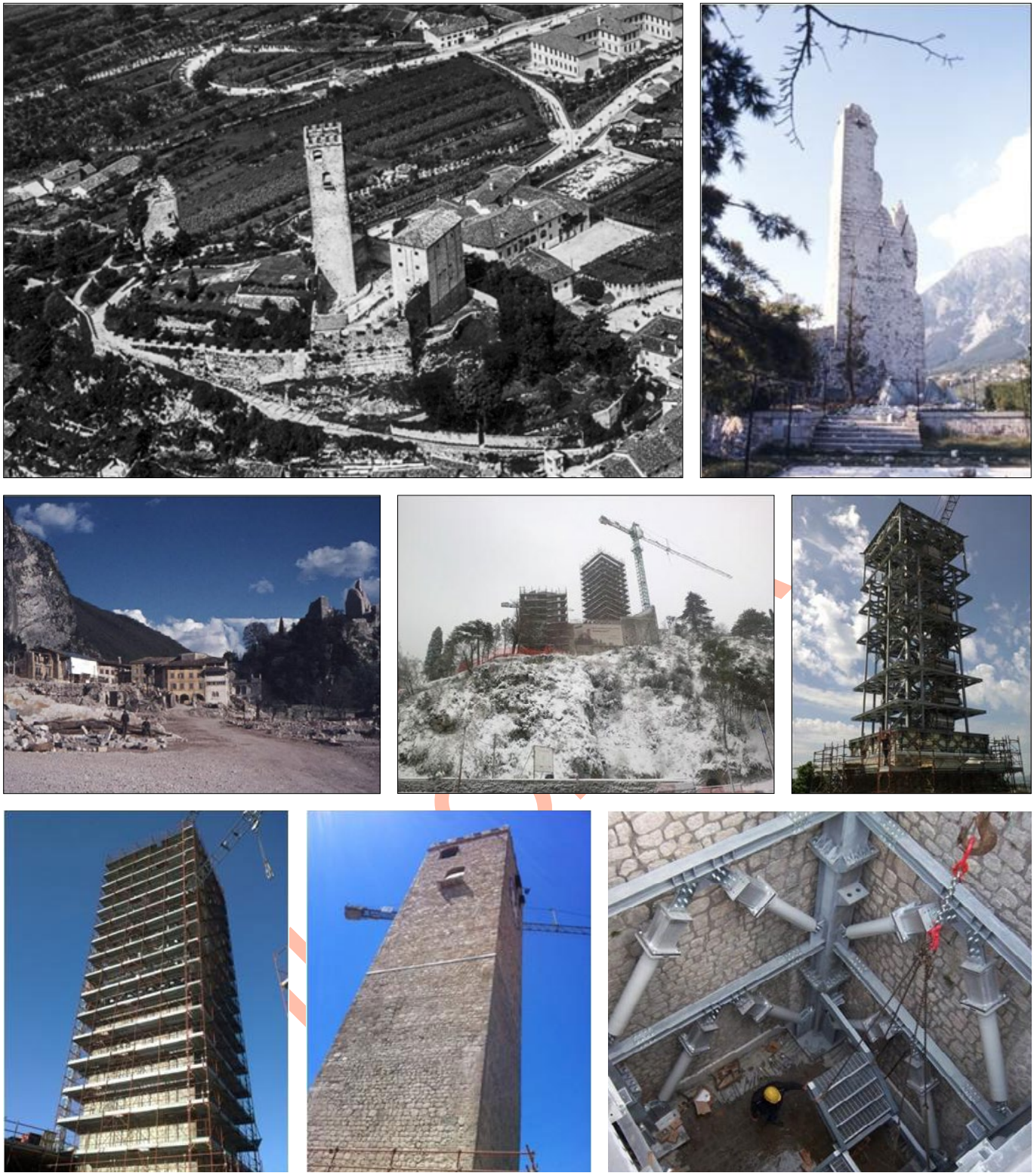


Figura 6 – Il Castello di Gemona del Friuli (UD) prima dei terremoti del Friuli del 1976; crolli della sua "Torre dell'Orologio" dopo l'evento di maggio e (pressoché totale) dopo quello di settembre; ricostruzione di tale torre, ultimata nel 2015, con le pietre originarie nella parete esterna e, internamente, un telaio in acciaio che sostiene i piani e la cella campanaria, dotato di 22 dissipatori BRB e giuntato rispetto alla parete esterna, per evitare martellamento (collaudo in c.o. dello scrivente in luglio 2015).

robusti controventi, anche esterni (per riportare rigidamente, cioè senza modifiche significative, lo spostamento di ciascun piano alla quota di quello superiore o inferiore), ed anche i dissipatori stessi. Infine, dato che i dissipatori non inducono un aumento del periodo di vibrazione della costruzione, essi minimizzano l'effetto "panico" assai meno dei sistemi di isolamento.

La dissipazione di energia, però, è particolarmente utile *quando l'isolamento sismico non è applicabile*, perché:

- la struttura è un *edificio troppo flessibile*;
- il *terreno su cui la costruzione poggia è troppo soffice*;
- occorre adeguare o migliorare sismicamente un edificio che non presenta (o non permette di realizzare) *giunti strutturali sufficientemente ampi*, rispetto agli edifici adiacenti, che permettano i necessari spostamenti di "corpo rigido" (spostamenti che, come si è detto, possono raggiungere, in Italia, alcune decine di centimetri).

7. ALTRI SISTEMI ANTISISMICI

Oltre ai sistemi di isolamento e dissipativi, le moderne tecniche antisismiche includono (Martelli, 2017):

- le cosiddette *Shock Transmitter Unit* (STU), ritegni oleodinamici provvisori, che lasciano la struttura libera di deformarsi nel caso di deformazioni lente, come quelle di origine termica, ma (analogamente alle cinture di sicurezza in un'auto) si bloccano, irrigidendo la struttura, nel

caso di deformazioni rapide, come quelle indotte dal sisma;
- i dispositivi in leghe a memoria di forma *(Shape Memory Alloy Device* o *SMAD*), che permettono di connettere, durante il sisma, elementi strutturali separati, limitando al massimo le variazioni dei carichi su di essi agenti al variare degli spostamenti relativi e che non subiscono plasticizzazioni, bensì transizioni di fase del materiale che li costituisce, così da risultare ricentranti.

Le prime e tuttora più numerose applicazioni delle STU riguardano i ponti e i viadotti ed alcuni edifici industriali, mentre i dispositivi SMAD (ancora di costo non trascurabile, almeno in Italia) sono stati sviluppati, nell'ambito di progetti comunitari, per la protezione del patrimonio artistico. In Italia, però, anche le STU (assieme ai dispositivi SMAD) hanno già trovato alcune importanti applicazioni nel restauro di tale patrimonio. Infatti, dopo la prima applicazione nella Chiesa di San Giovanni in Carife, esse sono state utilizzate anche in altre opere, *in primis*, nel 1999, nella Basilica Superiore di San Francesco ad Assisi, fortemente danneggiata dai terremoti *umbro-marchigiani* del 1997-98 (Martelli, 2017): al suo interno, 34 STU sono state installate sul cordolo posto al di sotto delle grandi finestre, in serie ad apposite travi, per realizzare, in caso di terremoto, il cerchiaggio delle pareti (quelle laterali erano assai deboli, anche a causa delle finestre suddette), e, sul tetto del transetto, 47 dispositivi SMAD sono stati utilizzati, per la prima volta al mondo, per connettere ad esso i due timpani laterali, in modo da limitare, durante il terremoto, il distacco dei timpani stessi dal transetto, senza sovraccaricare la muratura, e da assicurare il ricentraggio (i dispositivi SMAD erano appena stati sviluppati nell'ambito di un progetto comunitario coordinato dall'ENEA).

Quanto alle leghe a memoria di forma (SMA), si nota, infine, che con nuclei interni di esse possono essere realizzati anche *dissipatori ricentranti*, utilizzandole al posto del piombo presente nei LRB (alcune applicazioni di tal tipo già esistono).

8. CONDIZIONI PER L'USO CORRETTO DEI SISTEMI ANTISISMICI

Come si sottolinea nel Par. 10, utilizzando le moderne tecnologie antisismiche (ma *correttamente*, cosa che, purtroppo, in Italia e non solo, non sempre avviene), dal terremoto ci si può proteggere, eccome.

Lo dimostra, senza tema di smentita, l'esperienza di altri paesi, in particolare del Giappone, che, pur essendo periodicamente colpito da eventi ben più violenti di quelli italiani, ne esce quasi sempre con poche vittime e danni limitati.

Ciò è dovuto, infatti, in larga parte, all'ampio uso che in tale paese da tempo si fa dell'isolamento sismico e dei sistemi di dissipazione di energia (Martelli, 2017).

I dispositivi antisismici, però (in particolare quelli di isolamento), devono essere accuratamente scelti, qualificati sperimentalmente, accettati con adeguate prove sperimentali ed installati e deve anche essere garantito che tali sistemi mantengano la loro efficacia *per l'intera vita utile* della costruzione.

Tutto ciò è di particolare importanza in paesi come l'Italia, nei quali la percezione del rischio sismico è molto inferiore a quella che caratterizza i giapponesi, e, quindi, per promuovere l'uso dei sistemi antisismici, la normativa permette ora di tener conto della riduzione delle azioni sismiche da essi operata sulla sovrastruttura (Par. 5).

Per quanto attiene ad un'esaustiva qualificazione sperimentale dei dispositivi antisismici, occorre far uso di attrezzature in grado di sottoporre prototipi (in scala reale) degli stessi anche ad eccitazioni almeno tridirezionali, simulanti terremoti reali. Tali attrezzature esistono da tempo negli USA, all'Università della California a San Diego, ed a Taiwan (Martelli, 2017).

Inoltre, un'attrezzatura sufficiente quantomeno per i dispositivi da utilizzare in Italia è stata inaugurata a Messina alla fine del 2015 (Martelli, 2017). Simili attrezzature sono già quantomeno in fase di progetto anche in altri paesi (ad esempio in Giappone e nella R.P. Cinese).

Infine, occorre non dimenticare che è indispensabile (ed il collaudatore in c.o. deve prescriverlo) non solo che i dispositivi antisismici mantengano la loro efficacia per l'*intera vita utile* della costruzione ove sono installati, ma anche che la proprietà verifichi periodicamente che, per l'intero periodo suddetto:
- restino liberi ed inalterati i *giunti strutturali* (che, nel caso di isolamento sismico, permettono il libero spostamento di "corpo rigido" della sovrastruttura), e ciò anche rispetto a possibili crolli di strutture adiacenti (*Fig.* 3b);
- rimangano integre ed efficienti le *coperture e protezioni* di detti giunti;
- restino integri ed efficienti anche i cosiddetti *"elementi di interfaccia"*, cioè quegli elementi che "connettono" la sovrastruttura isolata (o la struttura protetta da altri sistemi antisismici) con il terreno, o con parti realizzate in modo convenzionale, o con edifici od impianti adiacenti (scale, ascensori, cavi ed allacciamenti delle tubazioni, specialmente di quelle *rilevanti ai fini della sicurezza*, come le linee anti-incendio o del *gas*, o contenenti altri fluidi pericolosi).

9. APPLICAZIONI DEI SISTEMI ANTISISMICI

Da diversi anni si constata una progressiva forte crescita delle applicazioni dei sistemi antisismici in tutti i paesi (in particolare, ma non solo, in Giappone e nella R.P. Cinese).

Inoltre, si dispone di sempre più numerose dimostrazioni dell'efficacia di tali sistemi durante recenti violenti terremoti (Par. 10).

Quanto alle attuali applicazioni dei sistemi antisismici (che riguardano ormai più di 30 paesi), dopo la 13ª conferenza mondiale *ASSISi* di Sendai (Giappone) del 2013, è ormai impossibile reperire dati dettagliati aggiornati sul loro numero. La *Tab.* 1 riporta, comunque, quelli che lo scrivente era riuscito a reperire a Sendai per quasi tutti i paesi principali e, poco dopo, per la Turchia (dove allora era già in corso la costruzione di molti ospedali isolati).

Come mostra la *Tab* 1 (per i grandi edifici, per quelli residenziali, per i ponti ed i viadotti e per le strutture industriali), già nel 2013 oltre 23.000 costruzioni erano protette da sistemi antisismici, a livello mondiale.

Il Giappone restava (e tuttora resta) il paese *leader*, a livello mondiale, per numero complessivo di applicazioni, con un perdurante consistente aumento di tale numero (a metà del 2012 gli edifici isolati giapponesi erano circa 6.600, incluse circa 4.000 case, e quelli protetti da sistemi dissipativi circa 3.000, incluse circa 2.000 case). Però, nella R.P. Cinese, almeno nel 2013, l'utilizzazione dei suddetti sistemi stava crescendo ancora più rapidamente che non in Giappone, soprattutto per quanto attiene all'isolamento sismico (a metà del 2012 gli edifici isolati cinesi erano circa 2.500 e quelli protetti da dissipatori od altri dispositivi circa 450).

Il Giappone e la R.P. Cinese distanziano fortemente gli altri paesi. Almeno nel 2013, seguivano loro, per numero totale di applicazioni dei sistemi antisismici (incluse quelle ai ponti ed ai viadotti), nell'ordine, gli USA, la Federazione Russia e l'Italia (primo paese dell'Europa Occidentale). Considerando le sole applicazioni dell'isolamento sismico agli edifici, invece, l'Italia superava, per numero (anche se non per importanza), gli USA, paese dove la normativa era particolarmente penalizzante per l'isolamento sismico di tali costruzioni, diversamente da quanto lì accadeva per la dissipazione di energia, ed era, quindi, utilizzato prevalentemente per le grandi costruzioni (la metà delle quali di *retrofit*, di edifici anche storici).

Quanto all'andamento negli anni dell'applicazione dell'isolamento sismico agli edifici italiani, si nota che, sebbene l'Italia avesse iniziato ad utilizzare l'isolamento sismico negli edifici prima del Giappone e degli USA (nel 1981), le nuove applicazioni furono pochissime per un decennio, quando era risultato necessario sottoporre i progetti all'approvazione del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (Par. 5).

BOZZA

10. DIMOSTRAZIONI DELL'EFFICACIA DEI SISTEMI ANTISISMICI

L'efficacia dei sistemi antisismici non è stata dimostrata solo mediante analisi numeriche e prove sperimentali di laboratorio, ma, soprattutto, grazie all'ottimo comportamento di un numero ormai considerevole di strutture protette da tali sistemi durante violenti terremoti, in vari paesi. Ciò ad iniziare, negli USA, dal terremoto di *Northridge* del 17 gennaio 1994 (magnitudo M = 6,7), dopo il quale, ad esempio, l'USC Hospital di Los Angeles (una struttura fortemente asimmetrica, sia in pianta che in alzato, isolata con LRB ed appena divenuta operativa) mostrò che l'isolamento sismico aveva ridotto l'accelerazione alla sommità di un fattore pari a 9: l'USC Hospital rimase integro e pienamente operativo, nonostante fosse a circa 30 km dall'epicentro, contrariamente ad altri ospedali vicini, fondati convenzionalmente (Martelli, 2017).

Alla suddetta prima dimostrazione di efficacia dell'isolamento sismico seguirono (per citarne solo alcune) quelle accertate in occasione dei seguenti eventi (Martelli, 2017):

- il terremoto di *Hyogo-Ken Nambu* (magnitudo momento $M_W = 6,8$), che devastò l'area di Kobe, in Giappone, il 17 gennaio 1995, cioè esattamente un anno dopo quello di *Northridge*, in occasione del quale, ad esempio, rimase totalmente integro (pure con una riduzione dell'accelerazione alla sommità, dovuta all'isolamento sismico, pari ad un fattore 9) il Ministero delle Telecomunicazioni di Sanda City, che era protetto da isolatori LDRB in serie a dissipatori ED e che, come l'USC Hospital di Los Angeles, era anch'esso fortemente asimmetrico sia in pianta che in alzato, nonché situato a circa 30 km dall'epicentro;
- numerosi ulteriori eventi che colpirono successivamente il Giappone, fino ai primi anni 2000 (da citare, ad esempio, è un edificio in c.a. costruito a Ojiya City, protetto da RB in serie a SD, che resistette indenne al terremoto di *Niigata-ken Chetsu* del 2004 (M = 6,6), con una riduzione dell'accelerazione orizzontale massima da 0,725 g alla base a 0,194 g alla sommità);
- il terremoto del *Sichuan*, detto anche di *Wenchuan* (M = 8,0), che colpì la R.P. Cinese il 12 maggio 2008 e, contrariamente a quanto accadde per edifici simili fondati convenzionalmente, lasciò integri i tre edifici isolati sismicamente allora presenti nell'area devastata, di cui due in c.a. ed uno in muratura, di ben 6 piani (che, almeno al tempo, era il più alto di tal tipo, a livello mondiale, a non essere stato danneggiato da un terremoto violento), dimostrando l'efficacia dell'isolamento sismico anche per edifici in muratura (Par. 2);
- il violentissimo terremoto di *Maule* del 27 febbraio 2010 (M = 8,8), che lasciò indenni, a Santiago (anche se, quindi, a notevole distanza dall'epicentro), sia l'edificio residenziale della *Comunidad Andalucia* (primo edificio isolato cileno, protetto da HDRB nel 1992), sia il *Nuevo Hospital Militar La Reina* (di 80.000 m^2, protetto nel 2005 da 114 HDRB e 50 LRB);
- i due violenti terremoti che colpirono la Nuova Zelanda, il primo il 3 settembre 2010, nei pressi di Christchurch (sisma di *Canterbury*, M = 7,1), che causò danni alla città, ma nessuna vittima, ed il secondo il 21 febbraio 2011 (M = 6,3 ed accelerazione orizzontale massima del terreno – *Peak Ground Acceleration* o PGA – all'epicentro = 2,2 g), che, invece, devastò Christchurch, causando 166 vittime, anche perché, nonostante fosse stato di magnitudo inferiore al primo, ebbe epicentro più prossimo alla città (al primo evento il *Christchurch Women's Hospital*, che era stato protetto nel 2005 da isolatori LRB ed SD ed aveva subito uno spostamento orizzontale di circa 10 cm, resistette indenne, assieme ad alcune strutture aeroportuali di Christchurch protette con dissipatori, e, anche dopo il secondo sisma, l'ospedale, che aveva subito uno spostamento di circa 20 cm, pari alla metà dello spostamento di progetto dei LRB, con un valore di PGA al sito pari a 0,5 g, restò immediatamente operativo, nonostante l'area residenziale circostante fosse stata praticamente distrutta);
- il notissimo terremoto di *Tohoku* dell'11 marzo 2011 (M ≈ 9,0), con epicentro nell'oceano al largo del Distretto di Sendai (seguito dall'altrettanto noto e ben più funesto maremoto), che, oltre a colpire tale distretto, fu risentito fino a grande distanza, ad esempio a Tokyo, ed i cui effetti furono misurati in numerosi dei 180 edifici e dei ponti e viadotti protetti da sistemi antisismici (in particolare di isolamento) presenti nell'area interessata e comportatisi tutti egregiamente dal punto di vista sismico (infatti, i successivi collassi di alcuni ponti o viadotti isolati furono dovuti non al sisma, bensì al sollevamento dell'impalcato causato dall'onda di maremoto, in mancanza di dispositivi antisollevamento, o *anti-uplift*, solo successivamente installati);
- il terremoto di *Lushan*, che colpì nuovamente una parte del Sichuan, nella R.P. Cinese, il 20 aprile 2013 (M = 7,0).

Tabella 1 – Applicazioni dei sistemi antisismici alla fine del 2013 (dati forniti alla conferenza ASSISi di Sendai e, per la Turchia, successivamente) [n.n.= non noto; ? = da verificare]

Sistema	Isolamento sismico				Dissipazione di energia ed altri			
Paese	Grandi edifici	Case	Ponti e viadotti	Strutture industriali	Grandi edifici	Case	Ponti e viadotti	Strutture industriali
Giappone	3.000	5.000	Oltre 1.000	Alcune	1.000	Oltre 5.000	n.n.	n.n.
R. P. Cinese	4.000 (grandi edifici e case)		400	50	500 (grandi edifici e case)		200	50
Federazione Russa	600	0	Oltre 100	0?	8	0	Oltre 100	0?
USA	≈250 (soprattutto grandi edifici)		Diverse centinaia	Alcune	Centinaia (soprattutto grandi edifici)		n.n.	n.n.
Italia	Oltre 400 (grandi edifici e case)		Decine?	3	Decine?		>300	0
Taiwan	n.n. (>29)	n.n.	n.n. (>20)	n.n.	n.n. (>85)	n.n.	n.n.	n.n.
Armenia	43	2	≈10	0	3	0	0	0
Nuova Zelanda	15 (?)	0 (?)	3 (?)	2 (?)	2 (?)	0 (?)	1 (?)	2 (?)
Turchia	18	0	11	2	2	0	0	0
Altri paesi	Decine (grandi edifici e case)		n.n.	Decine	Decine? (grandi edifici e case)		n.n.	n.n.
Totali	Oltre 14.000 (grandi edifici e case)		Ben oltre 1.500	≈80	Ben oltre 6.500		Ben oltre 600	Oltre 50

ANTEPRIMA



Figura 7 – (a) L'ospedale della contea di Lu Shan (R.P. Cinese), prima del terremoto del 2013; (b) danni agli interni di uno dei suoi due edifici che erano fondati convenzionalmente, a seguito del sisma; (c) integrità del terzo edificio, isolato sismicamente; (d) uno dei LRB che costituiscono il sistema d'isolamento alla base dell'ospedale

Quest'ultimo evento, oltre ad aver costituito un'ulteriore importante conferma dell'efficacia dell'isolamento sismico, permise anche alcune considerazioni di carattere sismologico. Infatti, l'evento (con profondità ipocentrale di 13 km ed epicentro a 150 km da quello del *Sichuan* del 2008) fu caratterizzato da valori dell'accelerazione orizzontale massima del terreno che raggiunsero 0,4 ÷ 0,6 g, contro il valore di progetto della PGA di 0,15 g. Quindi, pur tenendo conto delle amplificazioni locali, anche per questo terremoto, così come per altri precedenti (Martelli, 2017), il metodo probabilistico (*Probabilistic Seismic Hazard Assessment* o PSHA) utilizzato per definire il suddetto valore di progetto risultò del tutto inadeguato; inoltre, il fatto che il nuovo evento si sia verificato solo 5 anni dopo quello del *Sichuan* (mentre quest'ultimo era stato preceduto da un sisma di magnitudo comparabile quasi 80 anni prima) è una riprova dell'inaffidabilità del cosiddetto "periodo di ritorno", almeno per gli eventi "rari".

Il terremoto di *Lushan* causò oltre 200 morti ed il ferimento di 250.000 persone; crollarono o furono lesionati circa 40.000 edifici (cioè circa il 75% di quelli presenti nell'area interessata dall'evento).

A riprova della sottostima delle azioni sismiche di progetto, le costruzioni fortemente lesionate annoverarono numerosi edifici strategici e pubblici, anche costruiti o ricostruiti dopo l'evento del *Sichuan*, inclusi ospedali e scuole.

Però, ove era utilizzato, l'isolamento sismico risulta aver dato ottima prova di sé. Particolarmente interessanti sono, a Lushan, due casi: quello dell'ospedale della contea (una struttura in acciaio e c.a. di 6 piani fuori terra ed 1 interrato), costituito da due corpi di fabbrica laterali fondati convenzionalmente ed uno frontale isolato alla base con 83 LRB (*Fig.* 7), e quello di due scuole elementari in c.a., simili fra loro, ma l'una fondata convenzionalmente e l'altra isolata sismicamente, ambedue strumentate. I due edifici dell'ospedale fondati convenzionalmente non crollarono, ma subirono danni sia strutturali che ai tramezzi, al tetto ed alle apparecchiature contenute, risultando inutilizzabili dopo il terremoto, mentre quello isolato fu l'unico edificio ospedaliero della contea a restare totalmente integro ed operativo: ciò permise di curarvi migliaia di feriti.

Analogo fu l'effetto dell'isolamento sismico sulle due scuole elementari summenzionate. Mentre quella fondata convenzionalmente vide il valore della PGA di 0,2 g amplificato, al tetto, a 0,72 g, per quella isolata il valore della PGA diminuì, invece, da 0,2 g a 0,12 g. Per tali scuole, l'efficacia dell'isolamento sismico risultò, quindi, quantificabile in un fattore riduttivo dell'accelerazione massima alla sommità pari a 6.

Per concludere, circa il comportamento degli edifici isolati italiani durante la crisi sismica che ha iniziato ad interessare l'Italia Centrale il 24 agosto 2016, oltre a quanto già sottolineato nel Par. 5 circa l'ottimo comportamento della palazzina isolata di Fabriano durante l'evento di Norcia del 30 ottobre, si nota che il primo evento del 24 agosto fu avvertito anche a L'Aquila, dove numerosi sono ormai gli edifici, ricostruiti o soggetti ad interventi di *retrofit*, protetti da moderne tecnologie antisismiche. Lo scrivente verificò, durante una sua visita in settembre 2016, che il sisma suddetto aveva provocato uno spostamento orizzontale alla base di circa 10 cm in un edificio residenziale migliorato sismicamente con l'isolamento (42 HDRB e 62 SD) e da lui collaudato nel 2014 (*Fig.* 4b). Altri edifici, caratterizzati da terreni migliori di quello di tipo D su cui sorge l'edificio citato, risultano essersi spostati meno (circa 5 cm) (Martelli, 2017).

Circa il "metodo" che lo scrivente utilizzò per valutare lo spostamento dell'edificio succitato di *Fig.* 4b, occorre sottolineare che esso fu necessariamente assai rozzo: infatti, lo spostamento di 10 cm risultò dall'estensione della mancanza di polvere sulle piastre in acciaio dei dispositivi SD! D'altra parte, quell'edificio, così come la maggior parte di quelli italiani protetti da sistemi antisismici (contrariamente a quanto avviene in Giappone, negli USA, in Nuova Zelanda ed in altri paesi, e non solo per le strutture rilevanti), non è dotato di alcun sistema di monitoraggio sismico.

Infatti, solo pochi edifici strategici e pubblici italiani (come, ad esempio, quelli mostrati nelle *Figg.* 1 e 2) sono dotati di sistemi di monitoraggio sismico: il fatto che uno di questi sia l'edificio principale del Centro della Protezione Civile di Foligno (*Fig.* 2) è ovviamente risultato estremamente utile durante la crisi sismica che ha interessato l'Italia Centrale.

11. Conclusioni

È stato chiarito come anche in Italia siano da tempo disponibili efficaci tecnologie antisismiche, in particolare, ma non solo, di isolamento sismico e di dissipazione dell'energia. Di tali sistemi sono stati illustrati tipologie, ambiti applicativi, costi e problematiche. Infine, è stato fornito un quadro sintetico delle applicazioni dei suddetti sistemi e sono state sottolineate le prove della loro efficacia fornite dall'ottimo comportamento di numerosi edifici da essi protetti durante vari violenti terremoti, accaduti in diversi paesi.

BIBLIOGRAFIA

Clemente P., Martelli A. (2017), Anti-Seismic systems: worldwide application and conditions for their correct use. *Key-note lecture, Proc.16th World Conference on Earthquake Engineering (16WCEE)*, Santiago, Cile.

Martelli A., a cura di (2017), *Moderne tecnologie di protezione dal terremoto per edifici e impianti di nuova costruzione o esistenti e patrimonio culturale – Normativa, sperimentazione, progettazione, realizzazione, collaudo e monitoraggio sismico*, Dario Flaccovio Editore, Palermo.

Martelli A. (2017), Rischio sismico, prevenzione, moderne tecnologie antisismiche e loro applicazione. *Edifici e impianti di nuova costruzione ed esistenti e patrimonio culturale protetti dal terremoto grazie a moderne tecnologie – Normativa, sperimentazione, progettazione, realizzazione, collaudo e monitoraggio sismico,* a cura di A. Martelli, Dario Flaccovio Editore, Palermo, Capitolo 2, pp. 9-58.

Martelli A., Clemente P., Benzoni G. (2017), State-of-the-art of development and application of anti-seismic systems in Italy. Relazione su invito, *Proc. Joint NZSEE / 15WCSI ASSISi Conference*, Wellington, Nuova Zelanda.

UFFICIALE

Vulnerabilità sismica e meccanismi resistenti alla scala urbana

Seismic vulnerability and resistant mechanisms at the urban scale

Giovanni Cangi
Libero professionista
E-mail: ingcangi@tiscali.it

Parole chiave (*key words*): terremoto (*earthquake*), edilizia storica (*historic building*), borghi collinari (*hill-top villages*), archi (*arches*), volte (*vaults*), meccanismi (*mechanisms*)

Il 26 aprile 1917 i sismografi dei principali Osservatori Geodinamici dell'Italia Centrale registrarono un terremoto di eccezionale intensità nell'Alta Valle del Tevere, fra le province di Arezzo e Perugia. Il fenomeno è da inquadrare in una sequenza sismica iniziata con il disastroso terremoto di Avezzano del 1915, che colpì l'intera area della Marsica in Abruzzo e della valle del Liri, e conclusasi con quello del 1919 nel Mugello.

L'epicentro del sisma, classificato al X grado della scala Mercalli, fu individuato nella valle del Cerfone, fra gli abitati di Citerna e Monterchi, i centri che subirono i maggiori danni.

Questo evento, pur nella sua drammaticità, costituisce un interessante caso di studio per le indicazioni che offre sulla comprensione del fenomeno e degli effetti prodotti dal sisma sull'edilizia storica, attraverso il confronto dei danni riportati dalle costruzioni dei due piccoli borghi collinari, che si distinguono per la diversa conformazione orografica.

Monterchi, infatti, sorge su un piccolo colle, con batterie di case a schiera organizzate secondo lo sviluppo circolare disegnato dall'andamento naturale delle curve di livello. Il borgo di Citerna, invece, presenta uno sviluppo lineare, essendosi formato sul crinale della collina che si eleva sul lato opposto della valle (*Fig.* 1).

Si prende spunto da questa caratteristica morfologica per cogliere segni di un funzionamento meccanico che si esplica alla scala urbana, quando qualsiasi analisi sismica viene condotta comunemente alla scala edilizia o limitata a singole porzioni di fabbricati. Dimensioni, queste, che impediscono una lettura critica a larga scala, dalla quale tuttavia non si dovrebbe prescindere se si vuole apprezzare la visione d'insieme del problema prima ancora di scendere nei dettagli.

La chiave di lettura va ricercata nella meccanica degli archi e delle volte, la stessa che serve a spiegare come singole pareti rispondono alle azioni sismiche ortogonali o complanari, e come gli effetti si combinano per generare dei meccanismi resistenti semplici o complessi.

Si tenterà di dimostrare che lo stesso approccio trova evidenti riscontri alla dimensione degli aggregati edilizi e di sistemi ancora più articolati.

L'analisi del danno sismico manifestatosi nei due piccoli borghi collinari costituisce solo un esempio fra i tanti che si potrebbero prendere ad esempio per giungere alle stesse conclusioni. Casi particolarmente significativi se si considera la diversa conformazione

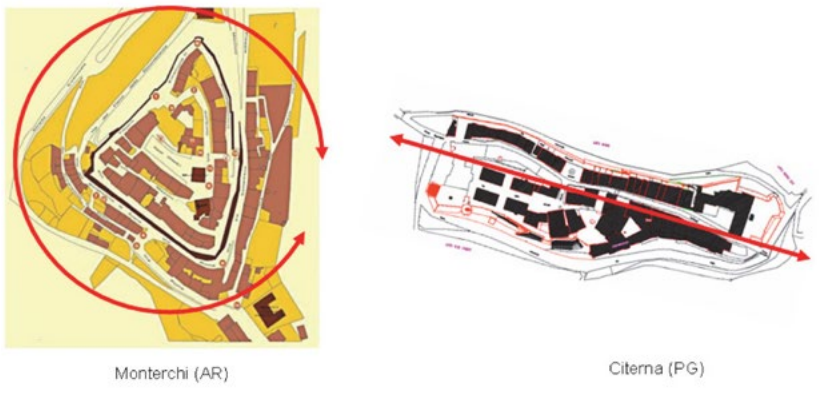


Figura 1 – Monterchi e Citerna: borghi collinari a sviluppo circolare e lineare colpiti dal terremoto d26 aprile 1917

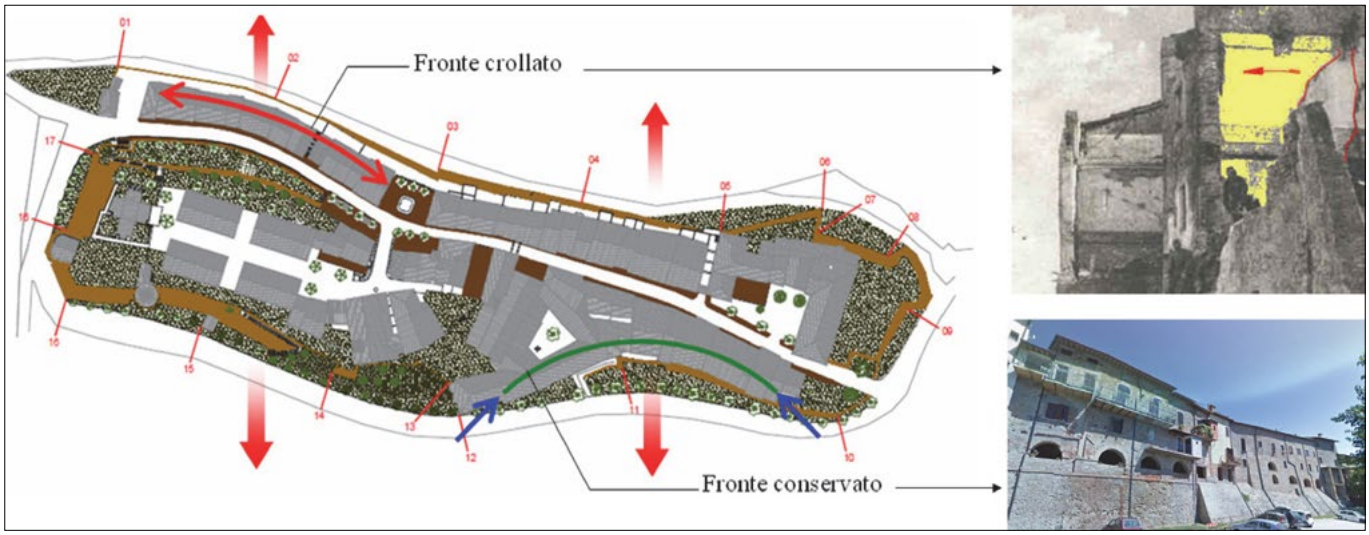


Figura 2 – Citerna, abitato di crinale, sollecitato da azioni sismiche trasversali, responsabili del collasso del fronte settentrionale (convesso), mentre si riscontra la tenuta del fronte meridionale (concavo)

planoaltimetrica dei siti su cui sorgono i due centri abitati.

A Monterchi si verificarono crolli e danni diffusi su tutte le abitazioni ubicate lungo il perimetro del centro storico, mentre a Citerna si registrarono effetti diversi sugli aggregati perimetrali del centro abitato, più accentuati sul fronte settentrionale e meno evidenti sul lato meridionale, che si è conservato in gran parte (*Fig.* 2).

Il fenomeno trova una spiegazione logica nella diversa forma degli aggregati edilizi. L'impianto planimetrico dell'abitato di Citerna permette di cogliere immediatamente il motivo per cui il fronte settentrionale è collassato sotto l'azione del sisma agente in senso trasversale, mentre quello meridionale si è sostanzialmente conservato, pur avendo caratteristiche simili. Evidentemente la convessità e la concavità dei fronti di valle hanno avuto un ruolo determinante sulla risposta d'insieme, con quello che si può definire tecnicamente "effetto diga".

L'azione sismica, infatti, determina in ogni aggregato edilizio l'innesco spontaneo di un meccanismo resistente che nel caso migliore, con concavità a valle, si esplica attraverso l'effetto stabilizzante generato dalla formazione di un arco di scarico compresso. Invece nel caso di aggregati con concavità a monte il meccanismo si innesca al contrario, determinando la formazione di un arco teso che non ha alcuna possibilità di funzionare in modo efficace, per cui tende a produrre il distacco delle cellule murarie, causando un generale allentamento delle murature e un elevato rischio di collasso.

Si può comprendere meglio l'effetto osservando l'impianto curvo di un aggregato edilizio nel quale le oscillazioni prodotte dal sisma determinano l'alternanza di stati tensionali di trazione e di compressione (*Figg.* 3 e 4) responsabili di effetti devastanti se la concavità è rivolta verso monte. Situazione che si presenta comunemente nei centri storici collinari con gli edifici distribuiti secondo l'andamento delle curve di livello, come è il caso dell'abitato di Monterchi.

È evidente come la risposta sismica d'insieme sia fortemente condizionata dalla forma dell'aggregato oltre che dalla configurazione del suolo e della natura stratigrafica dei terreni. Considerazione che non aggiunge nulla di nuovo rispetto ad un problema che la normativa tecnica affronta esattamente in questi termini.

L'aspetto nuovo, semmai, riguarda l'approccio analitico esteso ad una scala che generalmente non viene considerata, dato che nella maggior parte dei casi gli interventi si concentrano su singole unità strutturali, se non addirittura su porzioni limitate delle stesse, per le quali non si ritiene indispensabile indagare oltre l'ambito ristretto delle singole proprietà. Avere una visione più ampia aiuta invece a comprendere il funzionamento meccanico d'insieme, nonché a contestualizzare l'analisi locale, così da individuare eventuali criticità ed assumere provvedimenti adeguati, sebbene a livello qualitativo.

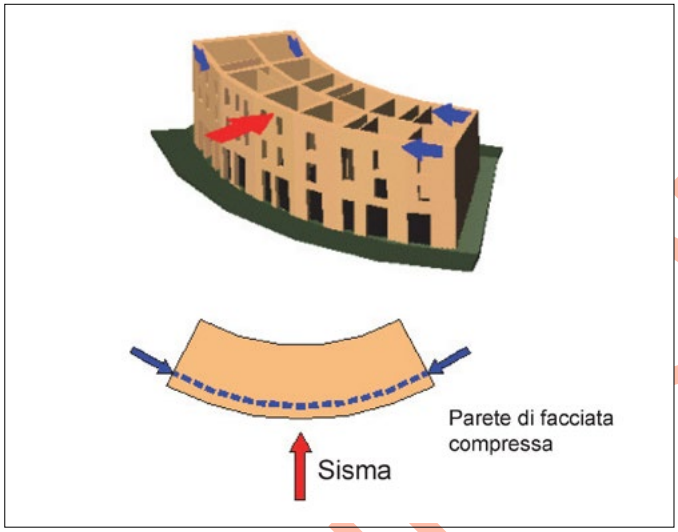


Figura 3 – Aggregato edilizio sollecitato da azioni ortogonali verso monte con innesco di sforzi di compressione

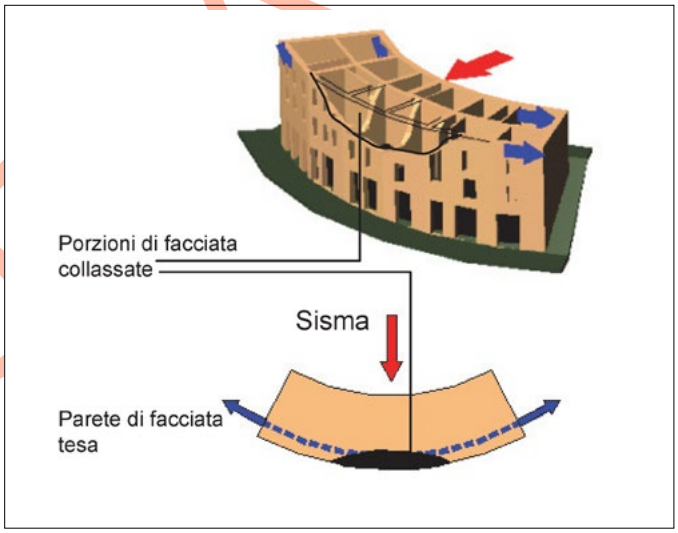


Figura 4 – Aggregato edilizio sollecitato da azioni ortogonali verso valle con innesco di sforzi di trazione

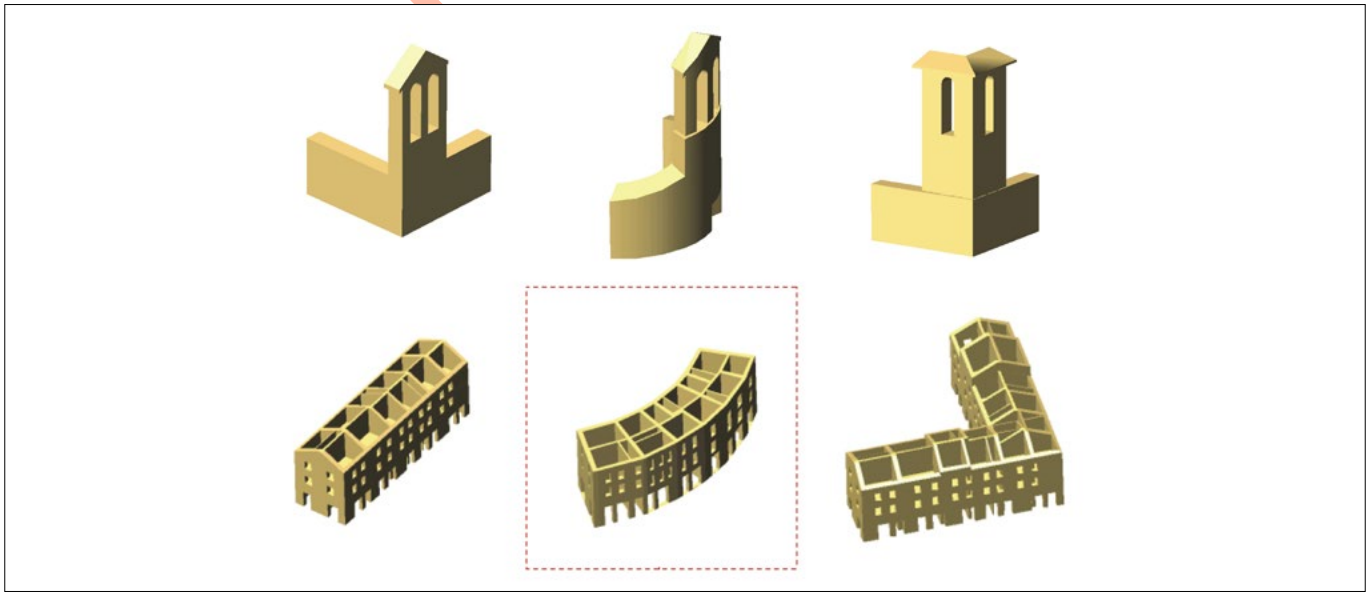


Figura 5 – Similitudini fra pareti isolate di campanili a vela piana, curva e d'angolo, con aggregati edilizi dall'impianto equivalente

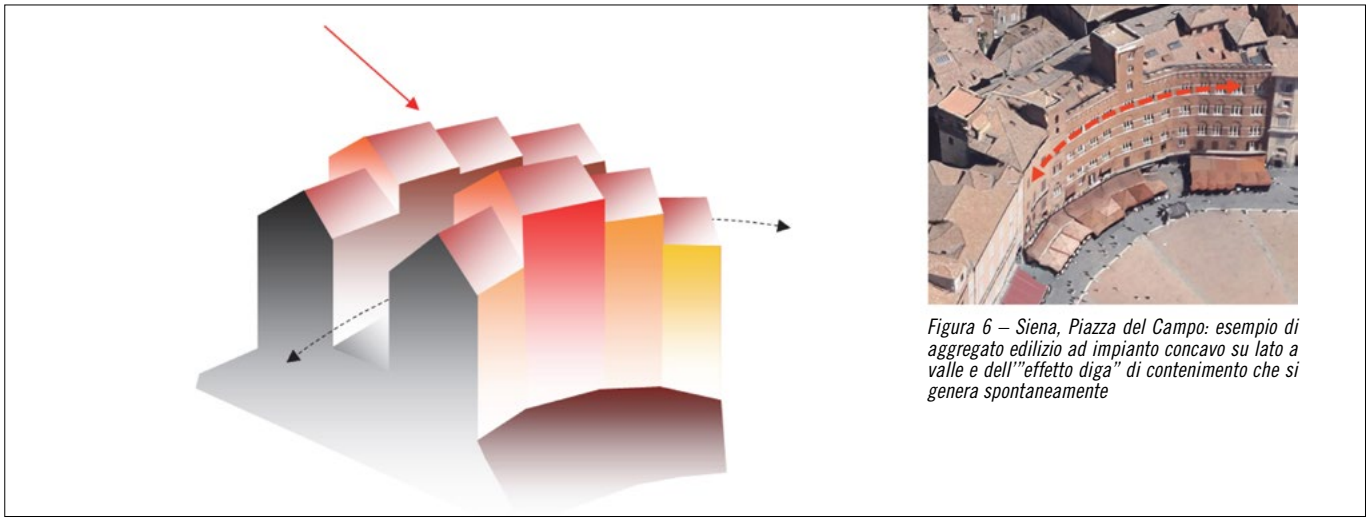


Figura 6 – Siena, Piazza del Campo: esempio di aggregato edilizio ad impianto concavo su lato a valle e dell'"effetto diga" di contenimento che si genera spontaneamente

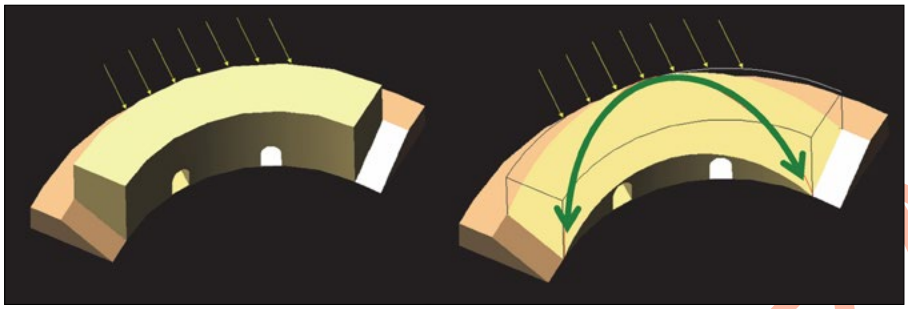


Figura 7 – Il meccanismo resistente innescato da azioni sismiche agenti verso valle viene esplicato sul fronte di valle e all'interno del corpo di fabbrica

L'esempio dei campanili a vela piana, curva o d'angolo offre degli spunti interessanti sotto questo tipo di considerazioni (*Fig.* 5).

Per approfondire il tema è utile portare l'esempio di realtà urbane più estese, oltre quelle da cui si è preso spunto per affrontare l'argomento.

Il caso di Siena, ad esempio, appare fra i più interessanti, per le diverse situazioni che presenta, in una dimensione superiore a quella ordinaria dei piccoli borghi collinari,

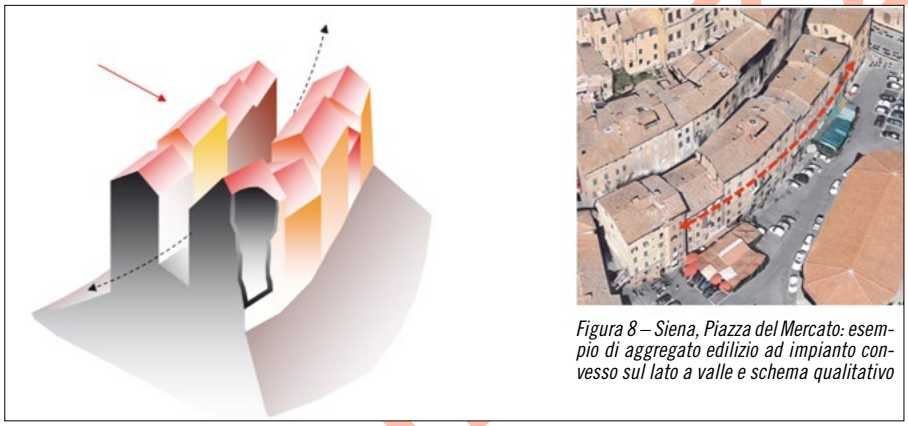


Figura 8 – Siena, Piazza del Mercato: esempio di aggregato edilizio ad impianto convesso sul lato a valle e schema qualitativo

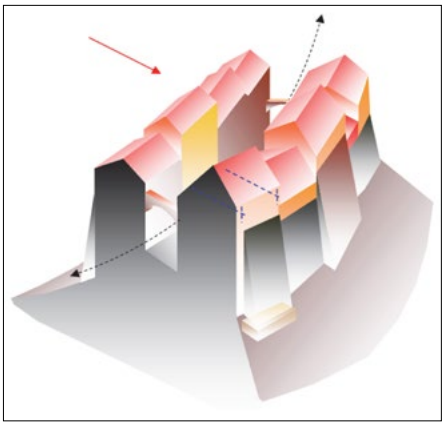


Figura 9 – Provvedimenti antisismici adottati in configurazioni simili, mediante l'inserimento di speroni e contrafforti, tiranti sbatacchi

L'obiettivo, infatti, non è quello di effettuare una verifica sismica globale, che non avrebbe alcun senso, ma piuttosto individuare le modalità di interazione fra ogni cellula con quelle contigue in una visione estesa, dalla quale non si dovrebbe mai prescindere.

La chiave di lettura per svolgere questo tipo di analisi sta pertanto nel ricondurre il tessuto edilizio di un abitato alla dimensione equivalente di un'unità strutturale, con tutte le valutazioni che ne conseguono. Si potranno cogliere in questo modo segni della sua formazione e delle trasformazioni che ne hanno caratterizzato l'evoluzione, anche in chiave antisismica.

Aggregati lineari o dall'impianto irregolare, adagiati sulle curve di livello dei rilievi naturali o disposti su profili ad essi ortogonali, appariranno con un aspetto simile a quello di muri isolati o di contenimento posti a contrasto di terrapieni o a sostegno di terrazzamenti.

L'organizzazione degli aggregati e delle vie cittadine apparirà così molto simile ad un apparecchio murario impostato secondo una precisa regola compositiva. Segno concreto di una concezione costruttiva tradizionale affidata a processi spontanei, ma razionali, che si traducono in un criterio di prevenzione sismica.

ma con caratteristiche simili, in un contesto edilizio e ambientale di indiscutibile pregio.

L'abbinamento di alcuni schemi qualitativi con situazioni reali permette di cogliere

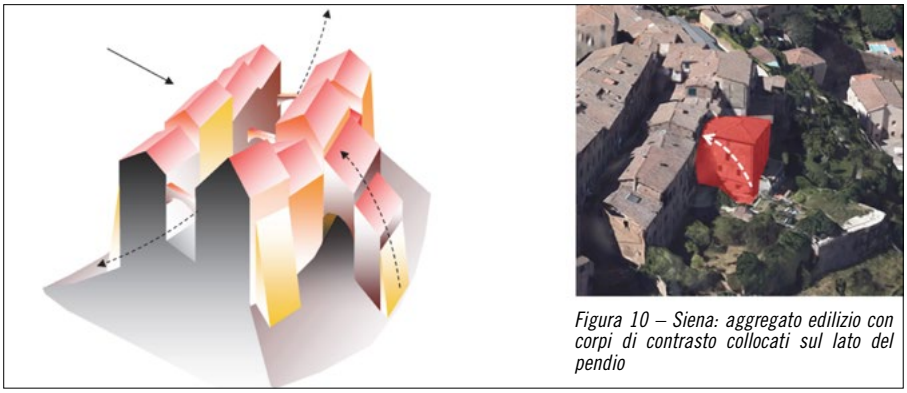


Figura 10 – Siena: aggregato edilizio con corpi di contrasto collocati sul lato del pendio

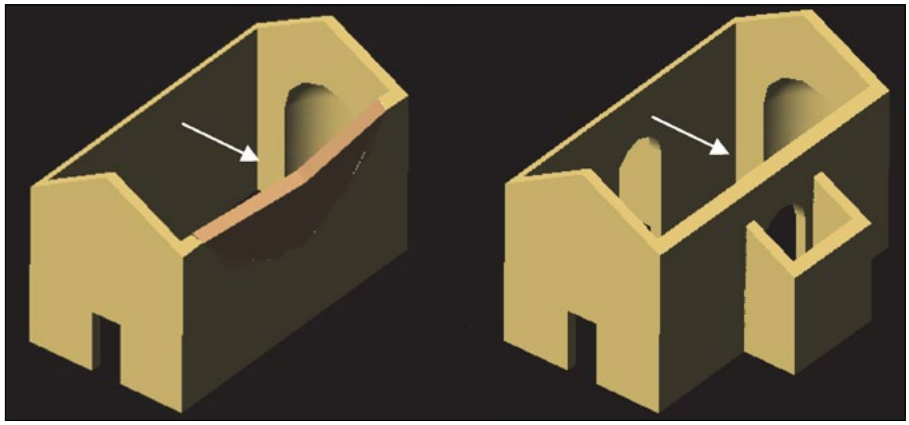


Figura 11 – Aggiunta di cappelle laterali nelle chiese a navata unica funzionale alla stabilità delle pareti perimetrali

degli aspetti costruttivi che in genere sfuggono all'osservazione.

Il primo è il caso di un aggregato curvo che prospetta sulla Piazza del Campo e che si estende in profondità fino alla via retrostante, collocata ad una quota superiore (*Fig.* 6).

Il meccanismo resistente che va a stringere le cellule l'una contro l'altra, come i conci di un arco, si esplica non solo a livello della parete di valle, ma sfruttando l'intero corpo di fabbrica, coinvolgendo i muri interni, gli stessi orizzontamenti intermedi e le coperture (*Fig.* 7).

di difesa tende a generarsi ugualmente, ma con qualche difficoltà che si può intuire dal confronto fra il funzionamento di un arco e di una piattabanda.

L'aggregato lineare o leggermente curvo è assimilabile alla "piattabanda", meno stabile rispetto ad un arco.

Nel momento in cui il fronte di valle si allenta e viene sottoposto a trazione le pareti esposte rischiano di distaccarsi e collassare. Naturalmente a soffrire maggiormente questa situazione sono le parti sommitali, dove

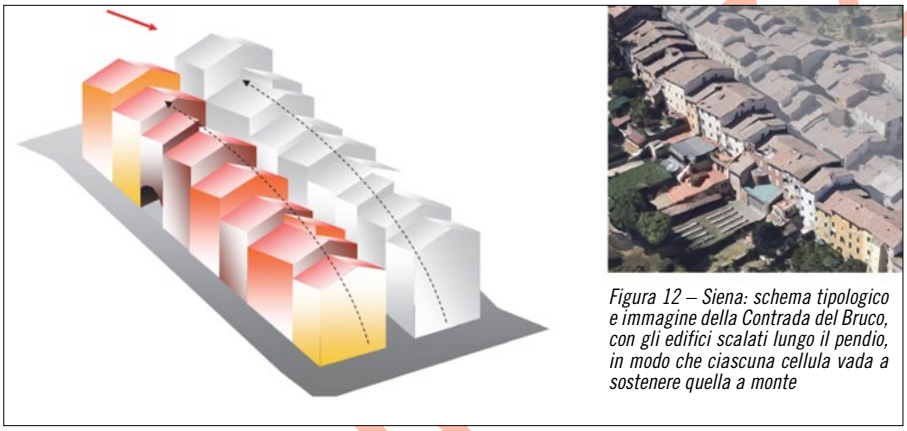


Figura 12 – Siena: schema tipologico e immagine della Contrada del Bruco, con gli edifici scalati lungo il pendio, in modo che ciascuna cellula vada a sostenere quella a monte

Appare interessante il confronto con un altro aggregato edilizio esposto sulla Piazza del Mercato, dove invece si rileva la situazione opposta, con il fronte convesso rivolto a valle (*Fig.* 8).

In queste situazioni, caratterizzate da una curvatura appena accennata, il meccanismo il distacco fra le cellule è più probabile e gli effetti risultano amplificati.

Può essere utile confrontare questo modello di analisi con il rilevamento dei danni prodotti dal terremoto che colpì la città nel 1798, per avere anche un riscontro concreto.

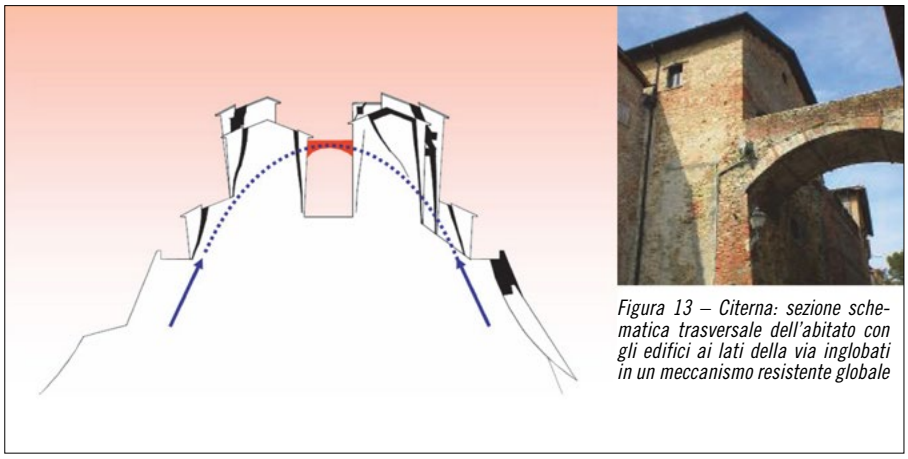


Figura 13 – Citerna: sezione schematica trasversale dell'abitato con gli edifici ai lati della via inglobati in un meccanismo resistente globale

In ogni caso è sufficiente vedere come furono eseguiti i consolidamenti, le ricostruzioni dei paramenti, di speroni e ripiombature, per avere conferma di quanto accaduto.

Situazioni più complesse sono riconducibili alla stessa visione ed ai criteri di prevenzione che prima di interessare la scala edilizia e costruttiva, si devono esplicare alla dimensione urbana o, quanto meno, di aggregato.

Quando l'azione di contenimento di speroni e contrafforti (*Fig.* 9) non è sufficiente a dare stabilità d'insieme si ricorre alla costruzione di vere e proprie strutture affiancate, in genere collocate sul lato a valle, dove contrastano meglio i fenomeni gravitativi e quindi destinate a funzionare come delle puntellature (*Fig.* 10).

Il criterio è lo stesso adottato in passato nell'edilizia di culto, in particolare nelle chiese a navata unica, dove la realizzazione di cappelle laterali, oltre a rispondere ad esigenze funzionali, serviva a dare stabilità alla costruzione (*Fig.* 11).

Alla scala superiore la tecnica equivale alla costruzione di edifici-sperone, costituiti da corpi che a loro volta sono soggetti agli stessi fenomeni di dissesto, ma che nel complesso conferiscono all'organismo strutturale una maggiore inerzia e stabilità d'insieme.

Con lo stesso criterio in passato venivano costruiti edifici contigui lungo i pendii, facendo in modo di sostenere l'uno con l'altro, fino a scaricare alla base gli sforzi trasmessi dalle costruzioni a monte (*Fig.* 12).

In realtà non si tratta mai di costruzioni appoggiate su piani inclinati, ma impostate su gradoni sfalsati ed è solo in fase sismica che si manifesta l'esigenza di un contrasto reciproco determinante per la stabilità d'insieme.

La conseguenza diretta di questi criteri costruttivi emerge nella composizione degli aggregati edilizi che di regola si sviluppano seguendo le curve di livello oppure in direzione ortogonale, secondo la massima pendenza, con problemi di stabilità molto diversi.

In pratica la regola costruttiva adottata in modo sistematico come punto di forza dell'edilizia storica è basata sul principio della mutua collaborazione fra edifici contigui, così da costituire un organismo unico, molto più stabile rispetto ad un equivalente sistema di edifici affiancati ma indipendenti.

Principio che viene perseguito anche con la creazione, ove possibile, di collegamenti strutturali fra aggregati allineati, mediante la costruzione di archi di sbatacchio, lanciati come ponti a cavallo delle vie (*Fig.* 13).

Un criterio che contrasta con le moderne tecniche costruttive che privilegiano la creazione di giunti tecnici e la separazione strutturale. Soluzione che negli edifici in c.a. è necessaria anche per evitare dissesti lega-

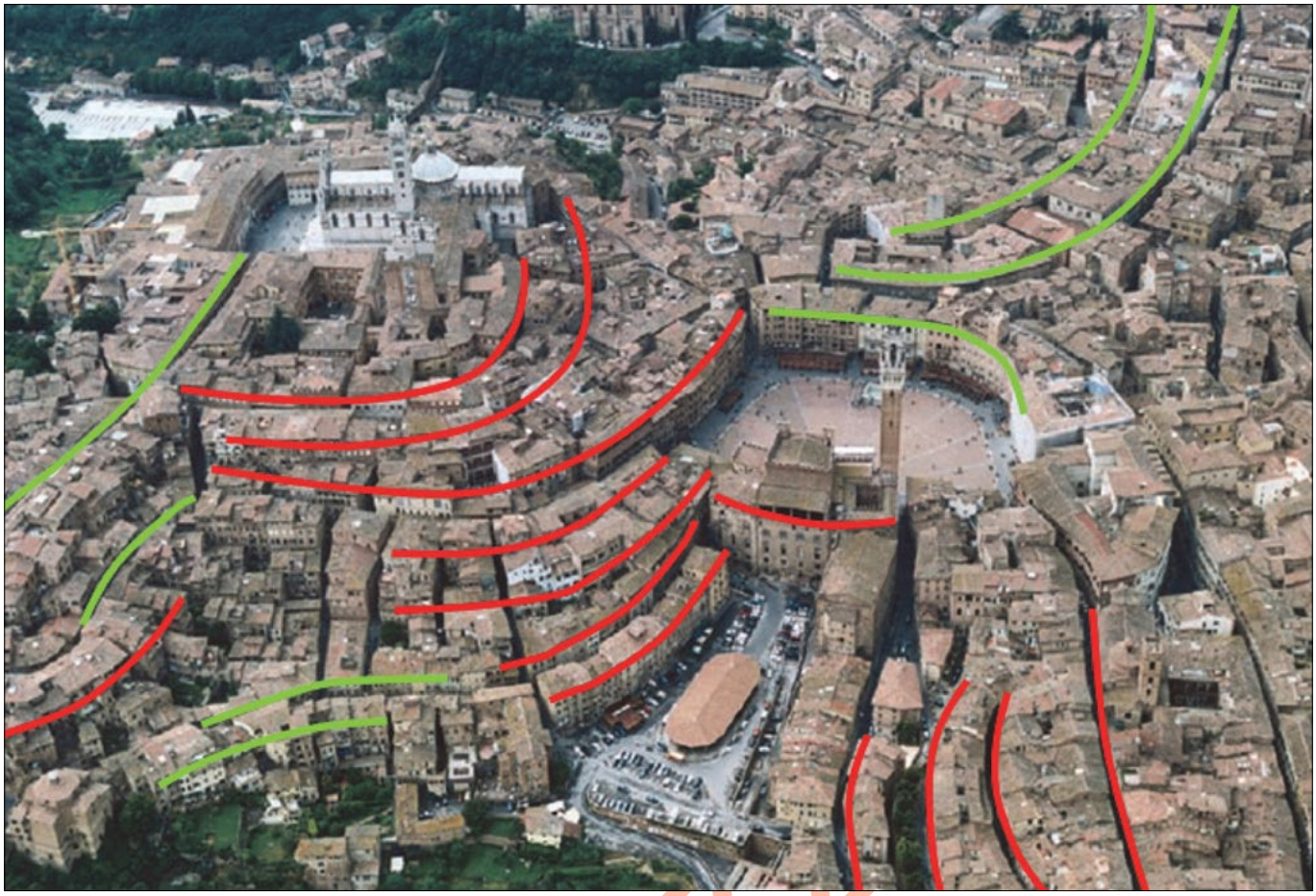


Figura 14 – Siena: criticità determinate dalla conformazione planimetrica degli aggregati edilizi in relazione alla configurazione di pendio (concavità e convessità del lato a valle)

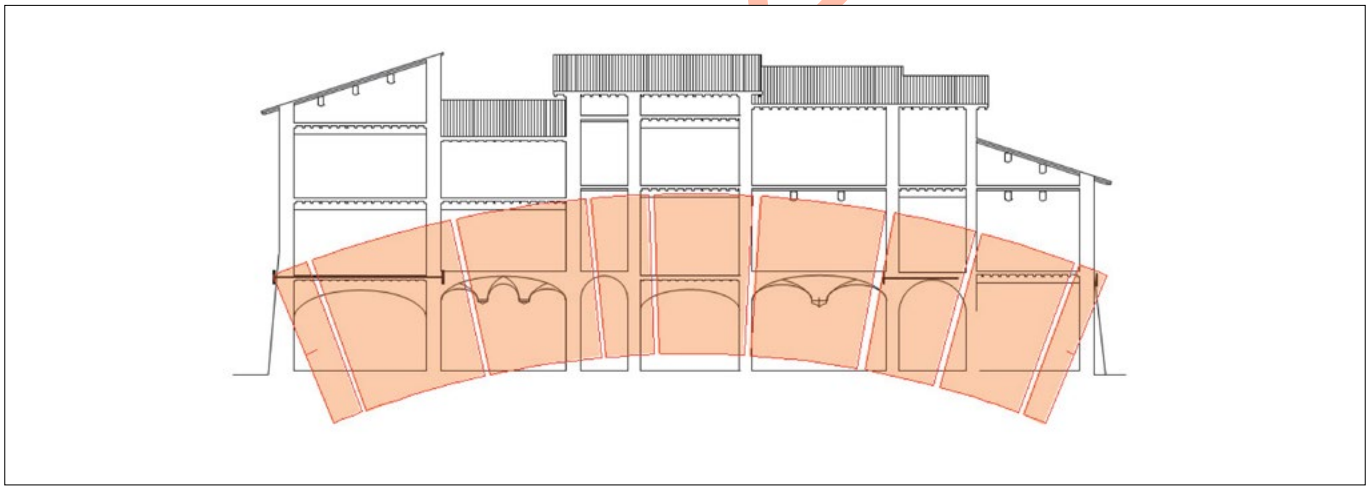


Figura 15 – Effetto arco generato spontaneamente un aggregato edilizio costituito da una successione di elementi spingenti a contrasto

ti alle deformazioni termiche, problema che non sussiste per le costruzioni in muratura tradizionale.

Sulla base di queste elementari considerazioni si possono individuare i fronti degli aggregati più vulnerabili e riconoscere al loro interno le unità strutturali che mostrano maggiore propensione al dissesto (*Fig.* 14).

Operazione che è possibile condurre per ogni borgo storico, a prescindere dalle dimensioni, potendo così ricavare indicazioni utili per intraprendere quel percorso di conoscenza che si concretizza di caso in caso attraverso indagini mirate e specifiche relative alle singole unità strutturali.

Come ultima considerazione va tenuto presente che i meccanismi resistenti illustrati si esplicano al meglio solo se l'organismo edilizio, singolo o aggregato, è costituito da un sistema strutturale di elementi verticali e orizzontali bene organizzato, in grado di assorbire e trasferire alla fondazione gli sforzi che gli derivano dai carichi statici e dall'azione sismica.

In sostanza ogni aggregato edilizio tende a funzionare come un organismo spaziale, dove i meccanismi resistenti orizzontali si combinano con quelli verticali (*Fig.* 15) per dare origine ad un meccanismo unico, come si intuisce dallo schema di *Fig.* 7.

BIBLIOGRAFIA

Giovanetti F. (1992), *Manuale del recupero di Città di Castello*, Edizioni DEI, Roma.

Cangi G. (2012), *Manuale del recupero strutturale e antisismico*, Edizioni DEI, Roma.

Cangi G., Caraboni M., De Maria A. (2010), *Analisi strutturale per il recupero antisismico*. Edizioni DEI, Roma.

Giuffrè A., Cangi G. Tocci C. (1999), *Guida al progetto di recupero antisismico, in: Codice di Pratica per la Sicurezza e la Conservazione del Centro Storico di Palermo*, a cura di Giuffrè A., Carocci C., Editori Laterza, Bari.

Cangi G. (2009), *Note sul recupero strutturale e antisismico dei centri storici, in: Centri Storici Minori – Progetti per il recupero della bellezza*, a cura di: Stabile F.R., Zampilli M., Cortesi C., Cangemi Editore, Roma.

La gestione emergenziale dei fenomeni sismoindotti: i casi dei terremoti avvenuti in Abruzzo (2009), in Emilia-Romagna (2012) e nel Centro Italia (2016-2017)

The emergency management of earthquake-induced phenomena: the cases of earthquakes occurred in Abruzzo (2009), in Emilia-Romagna (2012) and in Central Italy (2016-2017)

Paolo Marsan
Dipartimento della protezione civile
E-mail: paolo.marsan@protezionecivile.it

Angelo Corazza
Dipartimento della protezione civile
E-mail: angelo.corazza@protezionecivile.it

Parole chiave (*key words*): fenomeno sismoindotto (*earthquake-induced phenomena*), protezione civile (*civil protection*), attività tecnico-scientifiche (*technical-scientific activity*), mitigazione strutturale e non strutturale (*structural and non-structural mitigation*)

RIASSUNTO

Nel presente articolo vengono descritte le attività di protezione civile, di natura tecnico-scientifica, condotte per la mitigazione del rischio connesso con il verificarsi di fenomeni sismoindotti in grado di produrre significative deformazioni del suolo (fagliazioni, fratturazioni, frane, sprofondamenti, liquefazioni).

Verrà dapprima descritta l'organizzazione che il Servizio nazionale di protezione civile, così come definito dalla legge 225/92 e sue successive modifiche e integrazioni, prima, e dal D.lvo 1/2018 ("Codice della protezione civile"), oggi, mette in atto nel caso di emergenze sismiche nazionali ovvero nel caso di terremoti che hanno intensità ed estensione tali da non poter essere fronteggiati con mezzi e poteri ordinari.

Verrà poi fatta una descrizione per "*case history*" di alcuni degli interventi non strutturali (studi, indagini, monitoraggi) e strutturali (opere provvisionali) realizzati per fronteggiare alcuni fenomeni sismoindotti avvenuti a seguito degli ultimi tre importanti terremoti che hanno colpito il territorio italiano: Abruzzo (2009), Emilia Romagna (2012) e Centro Italia (2016-2017).

PREMESSA

I terremoti sono in grado di produrre significativi effetti, oltre che sulle strutture e infrastrutture antropiche, anche sull'ambiente naturale (fenomeni sismoindotti).

I fenomeni sismoindotti possono essere distinti in diretti e indiretti a seconda che siano collegati o meno al movimento della faglia che ha originato il sisma.

I fenomeni diretti comportano la deformazione del suolo in corrispondenza della faglia (fagliazioni e fratturazioni superficiali) mentre quelli indiretti (frane, liquefazioni, sprofondamenti e tsunami) sono collegati allo scuotimento provocato dalle onde sismiche anche a distanze di decine di km dall'epicentro.

Le modificazioni del suolo indotte dallo scuotimento sismico, oltre che alla magnitudo del terremoto, sono strettamente connesse alle condizioni geologiche e morfologiche locali (successione dei terreni e loro caratteristiche geotecniche e idrogeologiche, presenza di aree dissestate, pendenza dei versanti ecc).

I fenomeni sismoindotti, in particolare le frane, possono provocare, localmente, danni alle cose e alle persone che superano ampiamente quelli dovuti al solo scuotimento sismico. A testimonianza del rischio della perdita di vita umane connesso con tali fenomeni si stima che oltre il 50% delle vittime provocate da frane nel mondo sia dovuto a movimenti gravitativi cosismici (Petley, 2012).

Nei forti terremoti, come quelli avvenuti in Abruzzo nel 2009, in Emilia Romagna nel 2012 e nell'Italia Centrale nel 2016-2017, tali fenomeni hanno aggravato lo scenario di danno perché sono andati ad impattare principalmente sulle reti viarie, strategiche per la gestione delle prime fasi emergenziali (attività di soccorso e assistenza alla popolazione) e secondariamente su centri abitati.

Per valutare il rischio post-evento (rischio residuo) e realizzare i necessari interventi provvisionali di mitigazione e ripristino, soprattutto quelli finalizzati a recuperare nel più breve tempo possibile la funzionalità delle infrastrutture danneggiate, si rende necessario svolgere tempestivamente rilievi, indagini, studi e monitoraggi geologici e ingegneristici. Per i tre eventi sismici considerati tali azioni sono state svolte nell'ambito della **Funzione tecnica di valutazione e pianificazione** attivata presso la **Di.Coma.C** – Direzione di comando e di controllo, il Centro di coordinamento nazionale della gestione dell'emergenza che viene istituito dal Dipartimento della protezione civile presso i luoghi colpiti dalla calamità.

LE ATTIVITÀ TECNICO-SCIENTIFICHE NELLE EMERGENZE NAZIONALI

Nel caso di eventi sismici, quali quelli citati in premessa, ma anche di eventi di diversa origine, che abbiano caratteristiche e impatti sull'ambiente antropico e naturale tali da prefigurare una situazione emergenziale di rilievo nazionale, non fronteggiabile con mezzi e poteri ordinari (riferimento: art. 2, comma 1, lettera c) della legge 225/92 e ss.mm.ii., oggi sostituito dall'art. 7, comma 1, lettera c) del D.lvo 1/2018) il Capo del Dipartimento della protezione civile convoca il Comitato Operativo, da lui presieduto e composto da rappresentanti di Componenti e Strutture operative del Servizio nazionale della protezione civile.

Il Comitato Operativo si riunisce presso il Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e assicura la direzione unitaria e il coordinamento delle prime attività di emergenza con l'obiettivo di valutare le informazioni e le richieste provenienti dalle zone colpite dall'evento, definire le strategie di intervento e coordinare, in un quadro unitario, le azioni di tutte le amministrazioni ed enti interessati al soccorso.

Tra i componenti del Comitato Operativo vi sono anche enti tecnici e di ricerca quali l'Istituto superiore per la protezione e la ricerca ambientale, l'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia, il Consiglio nazionale delle ricerche e l'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, cui spetta il compito, congiuntamente all'Ufficio Attività tecnico-scientifiche di previsione e prevenzione dei rischi del DPC,

ANTEPRIMA

di fornire analisi e valutazioni circa l'evento avvenuto e le sue possibili evoluzioni.

Nel caso di emergenze che abbiano assunto un conclamato carattere nazionale il coordinamento delle attività si sposta suoi luoghi colpiti dalla calamità e il Capo del DPC, contestualmente alla chiusura del Comitato Operativo, istituisce, con propria Ordinanza la Di.Coma.C , la Direzione di comando e di controllo, cioè il Centro di coordinamento nazionale delle Componenti e Strutture Operative di protezione civile. Nel caso dei terremoti in Abruzzo del 2009, in Emilia Romagna del 2012 e del Centro Italia del 2016-2017 la Di.Coma.C ha avuto sede, rispettivamente, a L'Aquila, a Bologna e a Rieti (*Fig.* 1)



Figura 1 – Sede della Di.Coma.C a Rieti per la gestione emergenziale del terremoto del Centro-Italia del 2016-2017 (ex sede INPS). La Direzione è stata attiva per 223 giorni dal 28 agosto 2016 al 7 aprile 2017. La Di.Coma.C è stata sostituita da una Struttura di missione, composta da personale del DPC, al fine per garantire la continuità amministrativa e il raccordo con le componenti e strutture operative a supporto dei sistemi regionali di protezione civile

L'attività della Di.Coma.C è organizzata per **Funzioni di supporto**, ovvero per funzioni che rappresentano l'organizzazione delle risposte operative di protezione civile distinte per settori di attività e di intervento (coordinamento, assistenza alla popolazione, sanità e assistenza sociale, servizi essenziali, telecomunicazioni, valutazioni tecniche e pianificazione, censimento danni e agibilità etc). Ogni Funzione ha un proprio referente ed è formata da rappresentanti delle strutture che concorrono, con professionalità e risorse, per lo specifico settore. Nella Di.Coma.C , per le tre emergenze nazionali di cui trattasi, è stata sempre attivata la **Funzione tecnica di valutazione e pianificazione (FT)** il cui referente è stato un dirigente del DPC e/o della Regione colpita dall'evento.

Le componenti principali della FT sono strutture nazionali e regionali, enti tecnici e di ricerca e ordini professionali: DPC, Regione (ARPA/APPA, ASL), Province, Autorità di Distretto, Direzione Generale Dighe, Centri di Competenza del DPC (INGV, ReLUIS, EUCENTRE, CNR, ISPRA, ASI, Università), Consigli Nazionali degli Ordini Professionali.

Le attività che vengono svolte nell'ambito della FT sono molteplici: coordinamento dei Centri di Competenza per l'acquisizione e l'analisi di dati satellitari e per rilievi in area epicentrale, indagini macrosismiche per la definizione del quadro generale di danneggiamento sul territorio, monitoraggio sismico del terreno e delle strutture, rilievo degli effetti geologici indotti dal terremoto (faglie, fratture, frane, liquefazioni, sinkholes, ecc.), indagini di microzonazione sismica, valutazione delle condizioni di rischio residuo, monitoraggio e aggiornamento relativo ai dissesti idrogeologici, controlli sulle dighe, controlli sugli stabilimenti a rischio di incidente rilevante e rischio NATEC, previsioni meteo, supporto tecnico alle altre funzioni e agli enti locali.

Il rilievo macrosismico ha la finalità di identificare nel più breve tempo possibile e classificare in modo omogeneo le aree danneggiate. Il rilievo viene condotto utilizzando la scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS; Sieberg, 1930), seguendo la metodologia proposta da Molin (2003 e 2009), sviluppata per le finalità specifiche del Dipartimento della Protezione Civile.

Di particolare importanza risultano le valutazioni del rischio residuo, ovvero del rischio che permane dopo l'accadimento di un evento calamitoso. Tali valutazioni comportano l'analisi dello scenario di rischio post evento sulla base di rilievi in situ e di valutazioni sui possibili meccanismi evolutivi del dissesto, l'individuazione preliminare dell'area interessata dal rischio residuo e delle persone e beni esposti e l'individuazione degli interventi non strutturali (studi e monitoraggi) e strutturali (opere) per la mitigazione del rischio.

Laddove necessario, in particolare per il ritorno alle normali condizioni di vita e per la tutela dell'incolumità delle persone, vengono realizzati nella prima fase emergenziale (immediato post evento):

- sistemi di sorveglianza e di monitoraggio strumentale, a partire dal monitoraggio speditivo, e studi e indagini utili a definire con maggiore dettaglio la pericolosità del fenomeno;
- interventi strutturali di ripristino di strutture e infrastrutture (strade, acquedotti etc) e di mitigazione del rischio (interventi provvisionali/di somma urgenza) quali opere di protezione e/o di consolidamento nel caso di frane.

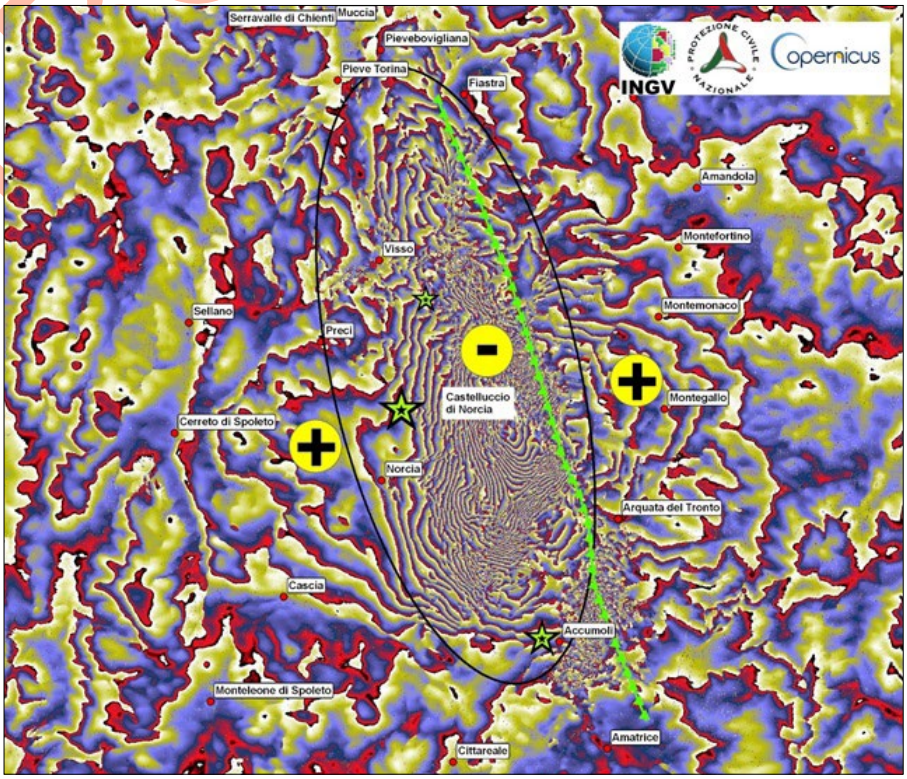


Figura 2 – Interferogramma ottenuto dalle immagini radar acquisite dal Satellite Sentinel 1 (ogni frangia = 2,8 centimetri). Mostra la deformazione del suolo legata agli eventi sia del 26/10 che del 30/10 (le stelle verdi sono gli epicentri delle scosse più forti). I simboli gialli mostrano il verso dello spostamento del suolo (lungo la linea di vista del satellite). L'ellisse nera mostra l'area di deformazione complessa, in abbassamento (da Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto in centro Italia - 2016)

PROVA

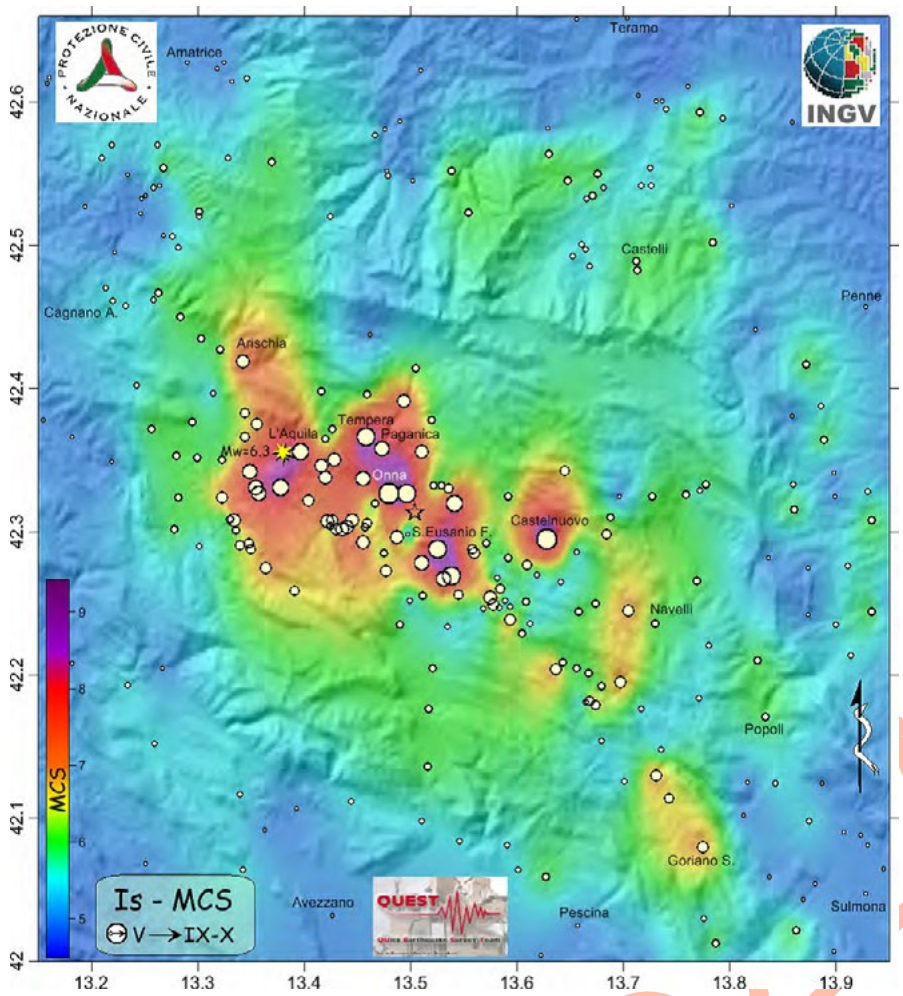


Figura 3 – Rilievo macrosismico delle località interessate dal terremoto del 6 aprile 2009 in Abruzzo (da Galli e Camassi, 2009). I cerchi sono proporzionali all'intensità locale Is. L'immagine a colori sottostante è un'interpolazione dei dati puntuali di intensità e suggerisce l'estensione generale del danneggiamento (vedi scala cromatica a sinistra). La stella indica l'epicentro macrosismico (in giallo l'ipocentro strumentale).

L'attività di monitoraggio si avvale anche dell'acquisizione e analisi di immagini satellitari con l'obiettivo di studiare le deformazioni del suolo e delle sorgenti sismiche legate alle scosse. In particolare nel caso del terremoto del Centro Italia 206-2017 è stato attivato il Servizio Copernicus nell'ambito del programma di osservazione della Terra guidato dall'Unione Europea in collaborazione con l'Agenzia Spaziale Europea (*Fig.* 2). Immagini delle zone terremotate sono state anche acquisite dai satelliti COSMO-SkyMed e Sentinel, attivati dall'Agenzia Spaziale Italiana.

TERREMOTO IN ABRUZZO DEL 2009

Caratteristiche del sisma

Il terremoto avvenuto alle ore 3.32 del 6 aprile 2009 ha avuto una Magnitudo Richter o locale M_L = 5.8; il sisma, il cui epicentro era situato vicino a L'Aquila, ha provocato 308 vittime la maggior parte delle quali nel centro storico dell'Aquila (200), ad Onna (40) ed a Villa Sant'Angelo (17). Il sisma fa parte



Figura 4 – Caduta di massi sulla strada provinciale per Ocre, sopra l'abitato di Fossa. Le aree di distacco dei massi sono situate sulle ripide pareti rocciose fratturate ed instabili lungo il perimetro dell'anfiteatro naturale, di origine carsica, sul cui fianco orientale sorge il paese

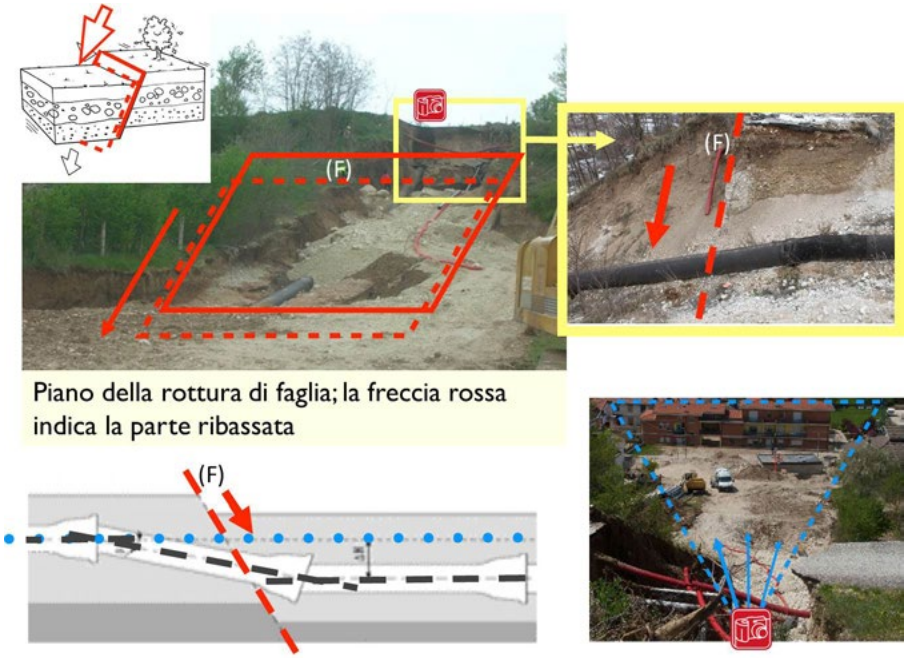


Figura 5 – Rottura dell'acquedotto del Gran Sasso a Paganica; i punti di scatto delle foto sono indicati dal simbolo rosso

di una sequenza sismica attiva tra il 2008 e il 2009. I danni provocati dal mainshock si sono concentrati nei centri storici di L'Aquila e di molti paesi situati nella zona circostante come evidenziato dai rilievi macrosismici effettuati (*Fig.* 3).

I fenomeni sismoindotti e la loro gestione

Numerosi sono stati gli effetti geologici del terremoto: chiare evidenze di fagliatura superficiale sono state infatti riscontrate lungo la faglia di Paganica (Guerrieri *et al.*. 2010; Vittori *et al.*. 2011) e sono stati rilevati effetti secondari su di un'area vasta circa 1000 km^2. Tali effetti sono consistiti prevalentemente in movimenti gravitativi e fessurazioni del terreno e secondariamente in crolli di cavità, liquefazioni e anomalie idrologiche (Blumetti *et al.*. 2009).

Sulla base dei sopralluoghi e dei dati raccolti dalla Funzione Tecnica della Di.Coma.C dell'Aquila le cadute di massi calcarei (45 %) e i dissesti di versante (41 %), in particolare lungo i tagli artificiali delle strade, sono stati il tipo più comune di effetto.

A causa di tali fenomeni numerose sono state le interruzioni stradali, tra le quali meritano menzione, per l'elevato grado di rischio residuo, quelle avvenute lungo la SS 17 bis, tra Paganica e Assergi, e la strada provinciale per Ocre, a monte dell'abitato di Fossa (*Fig.* 4).

Altri fenomeni rilevati in maniera significativa sono stati gli sfornellamenti e il crollo di cavità sotterranee (5 %); meno significativi sono stati tutta una serie di fenomeni di altro genere, compresi limitati casi di liquefazione rilevati solo nella valle dell'Aterno (8 %) e alcune criticità idrauliche (1%).

Dal punto di vista dell'impatto sul paesaggio effetti secondari particolari sono stati quelli relativi alle fessurazioni rilevate presso il Lago Sinizzo a San Demetrio De Vestini e alle valanghe di neve e detrito che hanno interrotto alcune strade utilizzate per attività zootecniche.

Esempi di interventi in emergenza

Acquedotto del Gran Sasso

A Paganica, frazione dell'Aquila, l'emersione in superficie della faglia (F), appartenente al sistema di faglie Paganica-San Demetrio, ha dislocato in altezza un versante per una decina di cm ed ha coinvolto la conduttura dell'acquedotto del Gran Sasso (∅ = 800 mm), con acqua in pressione a diversi bar, disassandone i giunti e facendoli sfilare, con conseguente allagamento dell'area sottostante dove erano posti degli edifici (*Fig.* 5).

Gli interventi realizzati nella prima fase emergenziali sono consistiti nel pronto ripristino della conduttura e nella realizzazione di un sottofondo con uno strato di ghiaia per assorbire eventuali riprese minime del movimento (*Fig.* 6). Dopo gli interventi la conduttura non ha subito danni a seguito delle scosse della sequenza sismica avvenute dopo l'aprile 2009.

BOZZA



Figura 6 – Rottura dell'acquedotto a Paganica: interventi di ripristino della conduttura posata su uno strato di ghiaia



Figura 7 – Cedimento, a causa del sisma, della strada di servizio al di sotto della quale corre la conduttura dell'Acquedotto del Chiarino, non visibile nella foto ed evidenziata in celeste (a); interventi di ricostruzione della sede stradale (b) e realizzazione delle opere di sostegno (c) e (d)

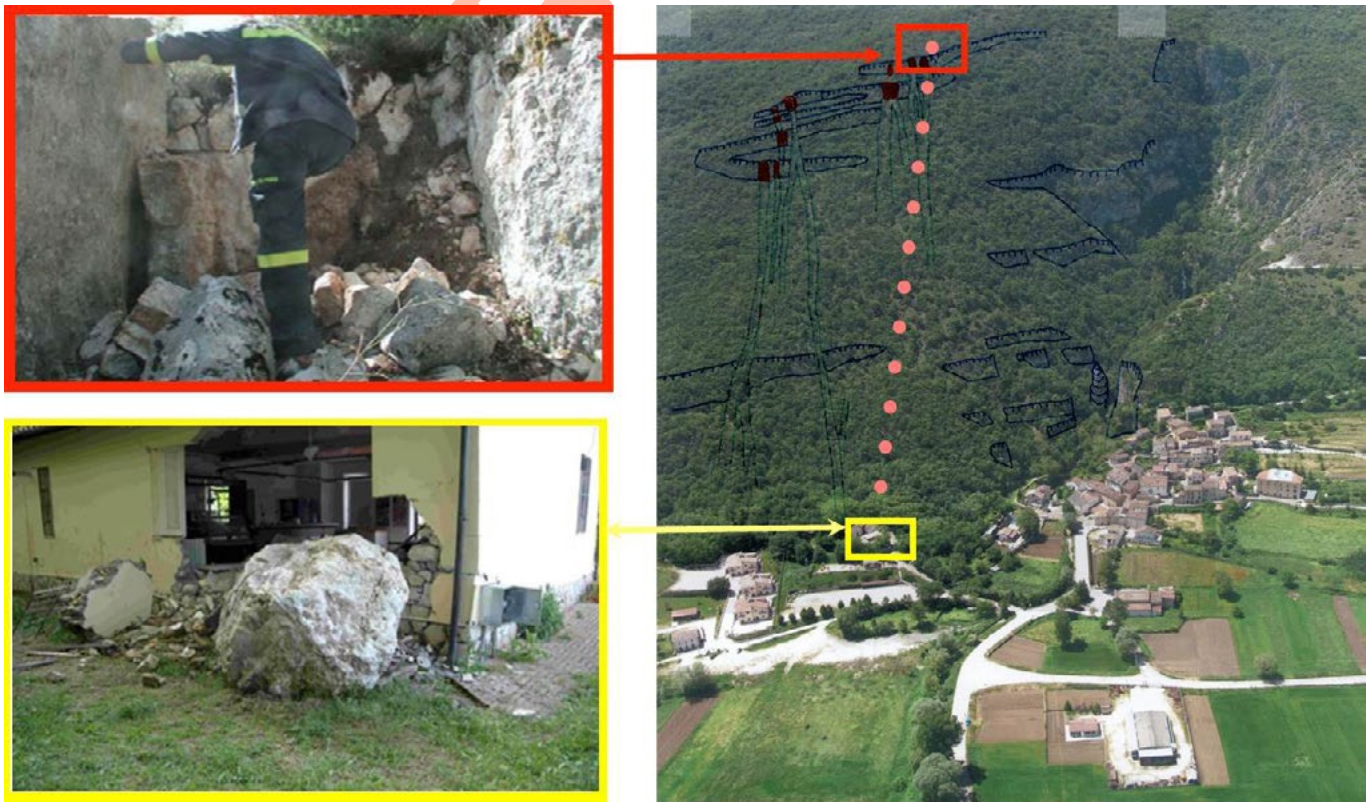


Figura 8 – Caduta di massi dal versante sovrastante l'ingresso delle Grotte di Stiffe nel Comune di San Demetrio Né Vestini (AQ): in rosso è individuata l'area di distacco; in giallo l'edificio di un ristorante distrutto da uno dei massi caduti

Acquedotto del Chiarino

Il movimento franoso provocato dal sisma ha determinato il cedimento di una strada di servizio per il passaggio della condotta interrata dell'Acquedotto del Chiarino (versante N del Gran Sasso) mettendone a rischio l'integrità. I lavori d'urgenza realizzati nella prima fase emergenziale sono consistiti nel ripristino della strada e nella realizzazione di opere di sostegno della stessa (*Fig.* 7).

Grotte di Stiffe nel Comune di San Demetrio Né Vestini (AQ)

A seguito del sisma del 6 aprile 2009 si è generato un fenomeno di caduta massi dal versante sovrastante la biglietteria delle Grotte di Stiffe. Uno dei massi ha investito l'edificio di un ristorante, provocandone la parziale distruzione. La nicchia di distacco del masso che ha colpito l'edificio era posizionata circa 400 m. a monte (*Fig.* 8).

L'analisi del rischio residuo e la definizione delle opere di protezione degli edifici posti a valle è stata effettuata dall'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del Consiglio Nazionale della Ricerca (IRPI - CNR) anche attraverso l'utilizzo di modelli per la simulazione della caduta massi (*Fig.* 9). Sulla base degli studi e simulazioni condotti si sono individuate come idonee opere di protezione costituite da barriere paramassi e da un tomovallo (*Fig.* 10). Tali opere sono state progettate e realizzate a cura della Provincia autonoma di Trento.

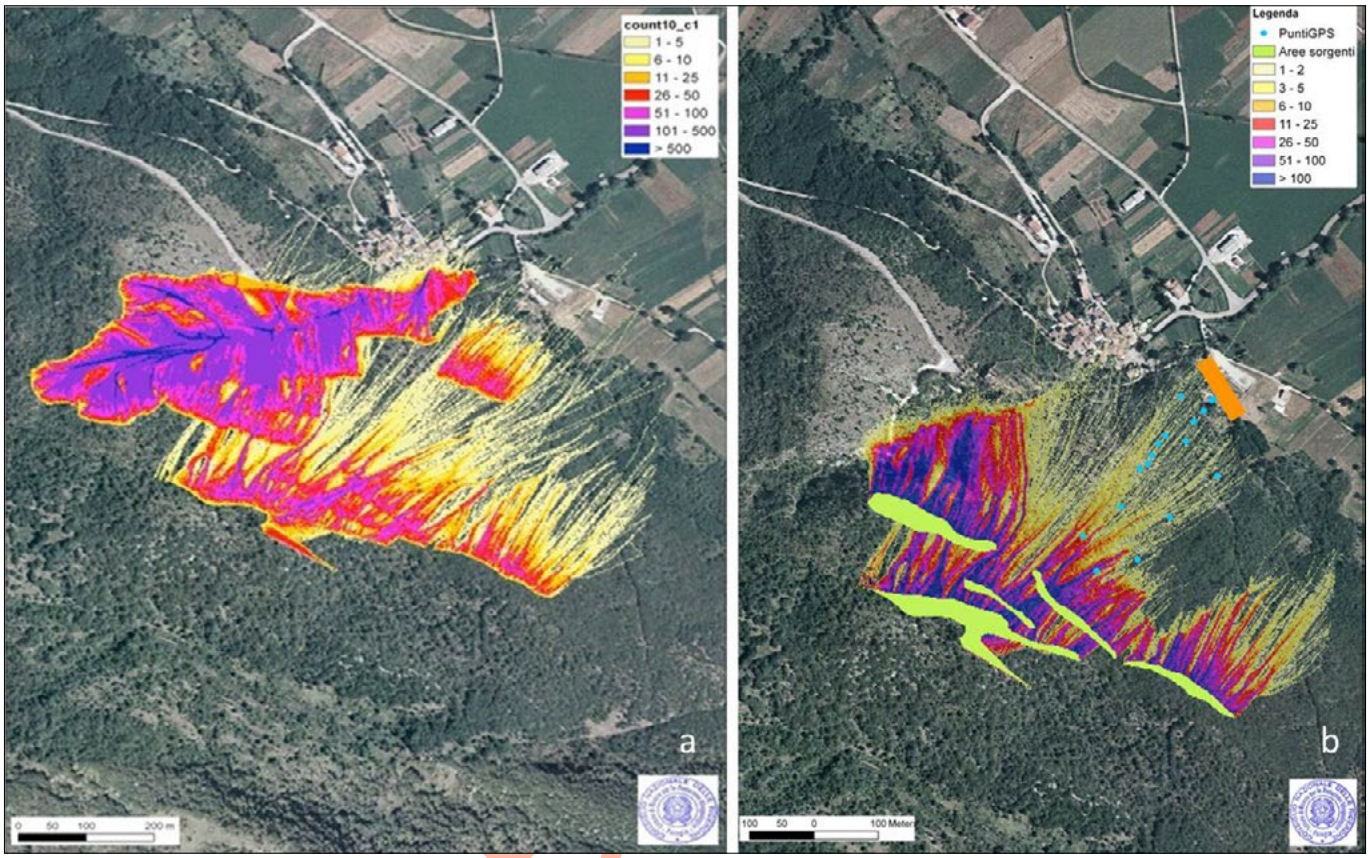


Figura 9 – Simulazioni della caduta di massi effettuate a cura dell'IRPI – CNR: restituzione grafica per l'intera area sovrastante l'abitato di Stiffe (a) e per la parte del versante incombente sull'ingresso alle grotte (b). In verde sono rappresentate le aree sorgenti più pericolose per il distacco; i pallini azzurri rappresentano i massi caduti e il rettangolo arancione indica la posizione del tomovallo a difesa degli edifici posti a valle della biglietteria delle grotte



Figura 10 – Fasi di realizzazione del tomovallo: a - scavi di fondazione con prove di caduta massi; b - realizzazione del 1° livello dell'opera ; c - completamento della sommità; d - impermeabilizzazione del tomovallo

TERREMOTO IN EMILIA ROMAGNA DEL 2012

Caratteristiche del sisma

Il terremoto avvenuto il 20 maggio 2012, alle 4:03 del mattino, ha avuto una $M_L = 5,9$ ed ha interessato la Pianura Padana nella provincia di Modena, tra Mirandola e Finale Emilia, provocando 7 vittime.

A distanza di 9 giorni, il 29 maggio 2012 alle 9:00, un'altra forte scossa con MI = 5,8 ha colpito nuovamente la piana di Modena. Il nuovo terremoto ha avuto l'epicentro nei pressi di Medolla, una decina di kilometri a ovest di quello precedente. Questo nuovo sisma ha provocato altri 19 morti.

L'analisi dei danni e degli effetti osservati effettuati dal Dipartimento di Protezione Civile-Sismico e Vulcanico (Galli *et al.*., 2012) e dell'Istituto Italiano di Geofisica e Vulcano-

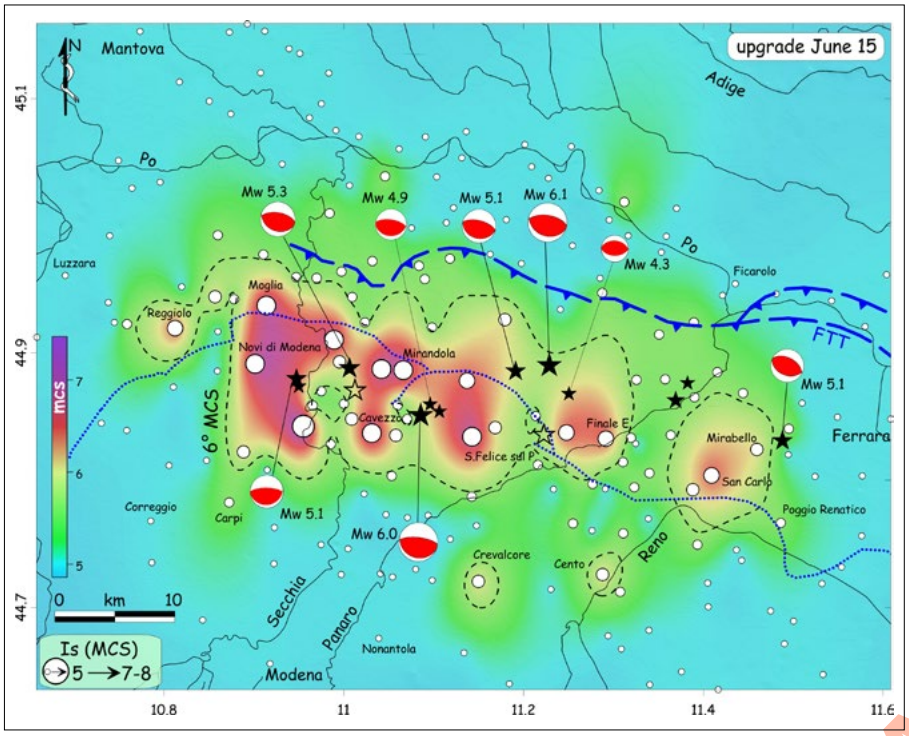


Figura 11 – Rilievo macrosismico delle località interessate dai terremoti del maggio 2012 in Emilia Romagna. La mappa è aggiornata al 15 giugno 2012. Cerchi bianchi, proporzionali al grado assegnato. La campitura a colori indica in modo qualitativo lo scuotimento areale in termini MCS. A tratteggio nero l'isosisma del VI grado MCS interpolata dai dati di intensità (da Galli et al.*, 2012)*

logia-gruppo QUEST ha identificato gli effetti di VII-VIII sulla scala di intensità (*Fig.* 11).

I fenomeni sismoindotti e la loro gestione

Gli eventi sismici succedutisi in Emilia-Romagna nel maggio del 2012 hanno causato vistosi effetti di liquefazione (vulcanelli, crateri, rigonfiamenti e rotture del terreno, cedimenti, sollevamenti, deformazioni laterali, ecc), rilevati in un'area, estesa tra il settore occidentale della Provincia di Ferrara e l'attuale corso del fiume Secchia, già nota per essere suscettibile alla liquefazione (*Fig.* 12). I fenomeni si sono localizzati, nella maggior parte dei casi, in corrispondenza di canali abbandonati dei fiumi Secchia, Panaro, Reno e Po, caratterizzati da depositi sabbiosi naturali o artificiali.

Particolarmente rilevanti sono stati i fenomeni di liquefazione avvenuti in corrispondenza del paleoalveo del fiume Reno nei centri abitati di San Carlo, frazione del Comune di Sant'Agostino, e di Mirabello (provincia di Ferrara) dove gli effetti di tali fenomeni hanno danneggiato alcuni edifici (rendendoli temporaneamente inagibili), tratti di strade e reti di servizi presenti (*Fig.* 13). I danni alle infrastrutture sono stati prontamente riparati e l'erogazione dei servizi è ripresa già nel mese di maggio 2012.

Gli effetti sono dovuti alla scossa del 20 maggio, mentre le scosse successive, sia pur intense come quella avvenuta il 29 maggio, non hanno causato conseguenze significative, tali da produrre aggravamenti rilevabili su strutture e infrastrutture.

Le forti scosse della sequenza sismica hanno inoltre causato fratture del terreno e locali fenomeni di instabilità in alcuni rilevati arginali, in particolare in località Scortichino (Comune di Bondeno, FE).

Nell'ambito delle attività coordinate dalla Funzione Tecnica della Di.Coma.C di Bologna sono stati effettuati numerosi sopralluoghi sugli effetti in superfice del sisma. Inoltre, in ragione dell'importanza e complessità dei fenomeni di liquefazione avvenuti, la Regione Emilia-Romagna e il Dipartimento della Protezione Civile hanno istituito un Gruppo di lavoro interdisciplinare costituito da geologi, geotecnici e ingegneri strutturisti con il compito di fare una valutazione approfondita degli effetti e facilitare il ripristino della funzionalità degli edifici e delle infrastrutture.

I risultati delle indagini e degli studi effettuati dal gruppo di lavoro sono pubblicati nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (Gruppo di lavoro, 2012).

Le osservazioni effettuate durante la fase emergenziale nell'ambito della Funzione Tecnica della Di.Coma.C di Bologna hanno permesso di escludere condizioni di rischio residuo per gli edifici che non avevamo subito danni strutturali gravi a seguito dei fenomeni di liquefazione e quindi consentito il rientro delle persone nelle loro abitazioni.

Sulla base delle risultanze del Gruppo di lavoro per la valutazione degli effetti dei fenomeni di liquefazione sono stati emanati dalla Regione Emilia Romagna atti amministrativi finalizzati alla gestione degli effetti della liquefazione nella fase post-emergenziale:

- con Determinazione n. 12418 del 02/10/2012 si è provveduto alla "Approvazione degli elaborati cartografici concernenti la delimitazione delle aree nelle quali si sono manifestati gravi effetti di liquefazione a seguito degli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 e degli indirizzi per interventi di consolidamento dei terreni";
- con Determinazione n. 1105 del 03/02/2014 si è provveduto approvazione di "Indicazioni sulla documentazione tecnica da produrre a supporto della richiesta di contributi per interventi di consolidamento del terreno di fondazione in caso di riparazione, ripristino con miglioramento sismico o demolizione e ricostruzione di edifici dichiarati inagibili che abbiano riportato danni da liquefazione, a seguito della sequenza sismica che ha interessato la pianura emiliana nel maggio-giugno 2012" .

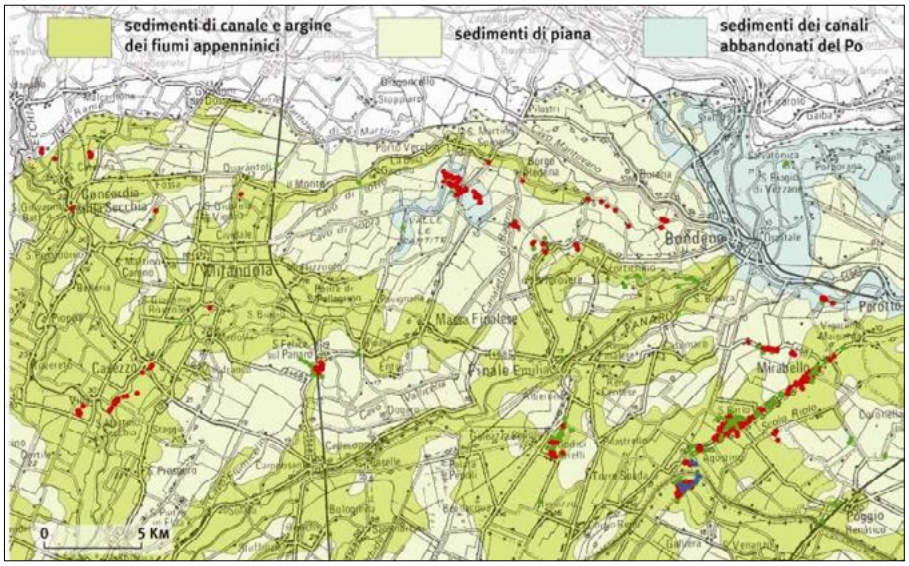


Figura 12 – Distribuzione dei fenomeni di liquefazione (punti in rosso e verde) e loro caratterizzazione geomorfologica. Da http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia-en/temi/sismica/earthquake-20-may-2012

IL BOZZA



Figura 13 – Effetti dei fenomeni di liquefazione: a – fratture con andamento ad enchelon in un campo coltivato; b – fuoriuscita di sabbia da un pozzo; c – fratturazione del terreno con lesioni strutturali ad un edificio; d – rialzamento del pavimento di un vano al piano terra; e – frattura in prossimità di un edificio senza danni per il medesimo; f – invasione di sabbia al piano terra di un appartamento

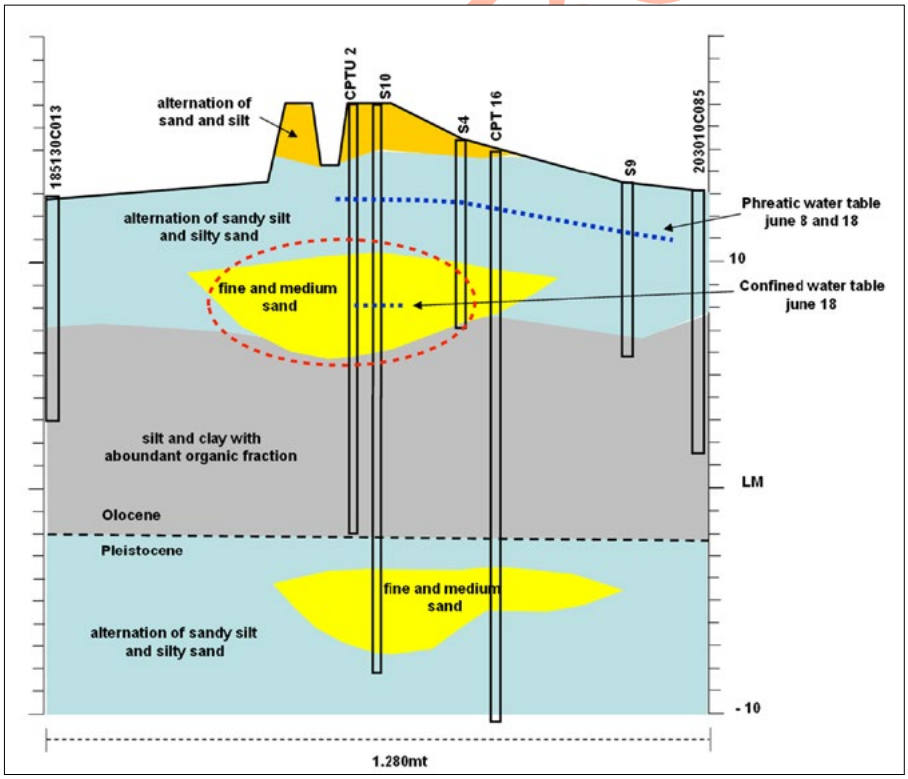


Figura 14 – Frazione San Carlo - Sezione litostratigrafica significativa per i fenomeni di liquefazione (da Gruppo di lavoro, 2012 - modificata). Con il puntinato rosso è indicato l'orizzonte di sabbie medie e fini che, in ragione delle caratteristiche granulometriche dei sedimenti e delle sovrappressioni indotte dal sisma sulla falda confinata da esso ospitata, ha dato luogo al fenomeno della liquefazione con risalita di sabbia lungo fratture fino in superficie

I fenomeni di liquefazione nella Frazione San Carlo del Comune di Sant'Agostino

Nella Frazione San Carlo i fenomeni di liquefazione avvenuti al di sotto degli edifici hanno provocato il loro danneggiamento, totale o parziale, a causa di perdite di portanza, cedimenti differenziali e/o basculamenti della fondazione Molto diffuse sono state anche le manifestazioni, in termini di fratture e fuoriuscite di sabbia, in aree coltivate, senza danni per gli edifici.

Relativamente ai fenomeni di liquefazione e alle condizioni predisponenti per gli stessi, è utile riprendere quanto riportato nelle "Linee Guida per la gestione del territorio interessato da liquefazione" (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2017):

- con il termine "liquefazione" si indicano vari fenomeni fisici (liquefazione in campo libero, mobilità ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante i terremoti forti (Mw ≥ 5), che hanno come elemento comune, per effetto dell'instaurarsi di condizioni non drenate, un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno.;
- i fenomeni di liquefazione si sviluppano in presenze di tre condizioni:
  1. presenza nella successione litologica di orizzonti con terreni non coesivi (limi sabbiosi, sabbie, sabbie limose, sabbie argillose, sabbie ghiaiose, ghiaie sabbiose), saturi, posti ad una profondità inferiore a 20 m dal p.c.
  2. presenza di una falda acquifera il cui livello piezometrico, nella media stagionale, è posto ad una profondità inferiore a 15 m dal p.c;
  3. eventi sismici con valori di Mw >= 5 e accelerazione in superficie di riferimento amax >=0,1 g

Dagli esiti delle attività del Gruppo di lavoro per la valutazione degli effetti dei fenomeni di liquefazione (Gruppo di lavoro, 2012) si evidenzia come il modello geologico di San Carlo e di Mirabello sia analogo, in quanto caratterizzato da facies sedimentarie molto simili e denoti la presenza delle di condizioni geologiche, geotecniche e idrogeologiche favorevoli per la liquefazione.

Il livello piezometrico della falda, prima del terremoto, era posto mediamente a una profondità di circa 3-4 m dal p.c. nelle aree di argine dei canali abbandonati e 1–2 m nella piana circostante ma durante le scosse principali tale livello ha mostrato una risalita di circa 3 metri.

Nella frazione di San Carlo, sulla base delle indagini geognostiche eseguite, è stato possibile ricostruire una sezione geologica significativa per la comprensione dei fenomeni di liquefazione (*Fig.* 14).



Figura 15 – Frazione San Carlo – trincea scavata dal Dipartimento della protezione civile a Via Rossini. La trincea è trasversale alle fratture dalle quali sono fuoriuscite le sabbie a seguito della liquefazione. In rosso e in azzurro l'andamento, rispettivamente, in superficie e in profondità delle fratture

Oltre a indagini geognostiche, per meglio comprendere i fenomeni, sono state scavate due trincee ad opera del Dipartimento della protezione civile (*Fig.* 15) e del Dipartimento Scienze della Terra dell'Università di Ferrara. Le trincee sono state realizzate trasversalmente alle fratture lungo le quali si è assistito alla risalita di sabbia ed hanno permesso di ricostruire la stratigrafia locale (paleoargine costituito prevalentemente da limi sabbiosi con intercalazioni di livelli centimetrici e decimetrici di sabbie fini), l'andamento delle fratture (subverticali che continuano al di sotto della base degli scavi), la granulometria delle sabbie di riempimento delle fratture (maggiore di quella dei livelli sabbiosi di paleoargine).

Grazie a tali informazioni è stato possibile individuare l'orizzonte che, con ogni probabilità, ha subito liquefazione, ovvero il deposito di facies di canale costituito da sabbie fini e medie posto a quote comprese tra 6 e 10 slm, individuato con un puntinato rosso nella figura 14.

TERREMOTO IN CENTRO ITALIA DEL 2016-2017

Caratteristiche del sisma

Il 24 agosto 2016 alle 3.36 un terremoto di $M_L = 6.1$, denominato terremoto di Amatrice, con epicentro presso il comune di Accumoli in provincia di Rieti, colpisce il Centro Italia, interessando anche i territori delle province di Perugia, Ascoli Piceno, L'Aquila e Teramo. Migliaia sono le persone coinvolte nell'evento che provoca 299 morti, numerosi feriti e gravi danni sul territorio. Il Comitato Operativo viene immediatamente convocato dal Capo del Dipartimento della Protezione Civile e dal 28 agosto viene istituita a Rieti la Dicomac - Direzione di comando e controllo.

Il 26 e il 30 ottobre 2016 il Centro Italia, nella zona al confine tra Umbria e Marche, viene nuovamente interessato da forti terremoti. La scossa del 30 ottobre – di magnitudo 6.5 (Mw) – è la più forte in Italia da oltre trent'anni e provoca un incremento notevole dei danni nelle zone già colpite dagli eventi precedenti ma per fortuna non provoca vittime.

Il 18 gennaio 2017, quattro scosse di magnitudo superiore a 5.0 (Mw), con epicentro prossimo alle località di Montereale, Capitigano e Campotosto (AQ) colpiscono ancora il

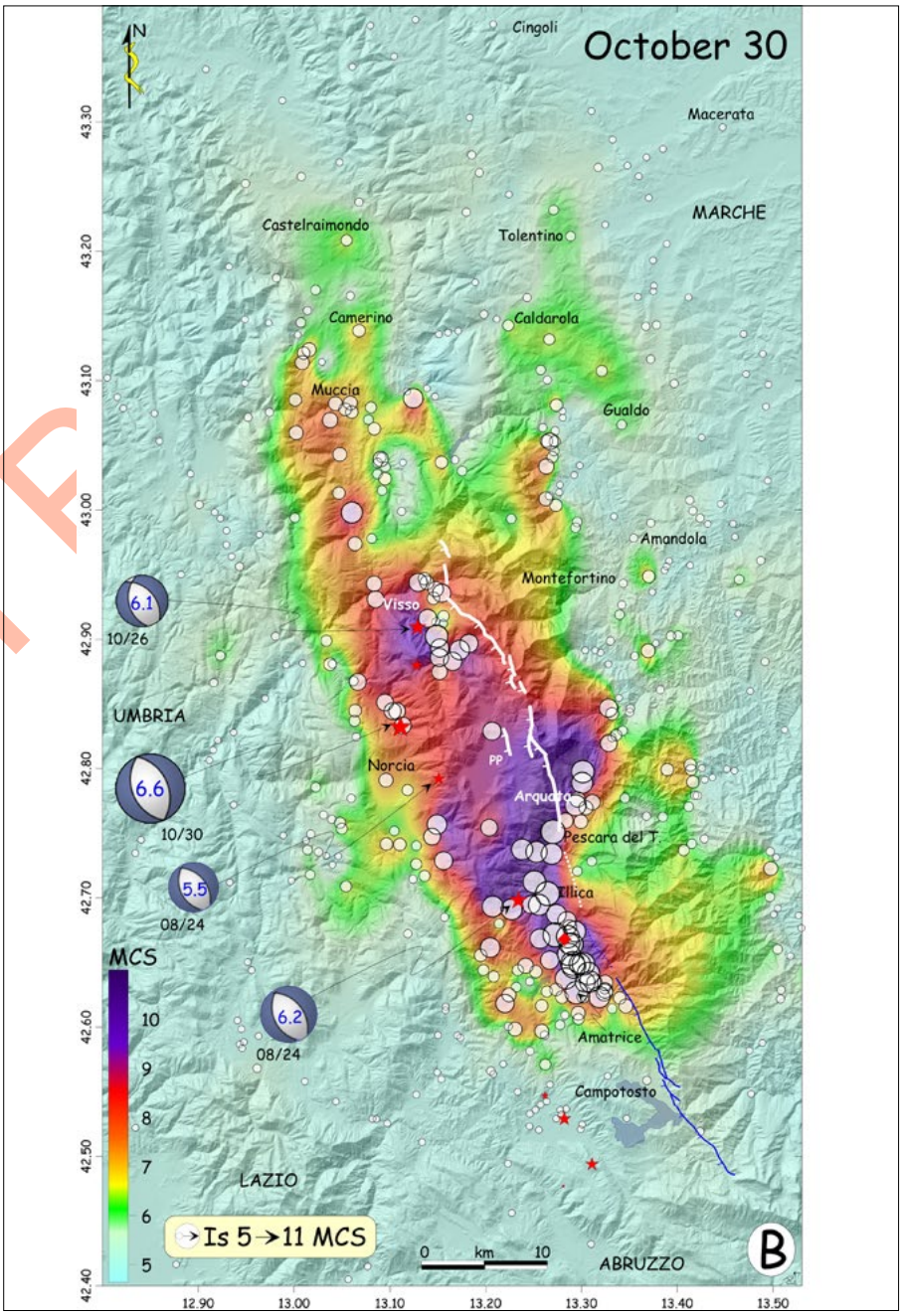


Figura 16 – Rilievo macrosismico delle località del Centro Italia interessate dalla sequenza sismica del 2016-2017. Distribuzione dei punti di intensità rilevati a seguito del terremoto del 30 Ottobre e da considerarsi come effetto cumulato dei tre eventi di Mw>6. I cerchi bianchi sono proporzionali all'intensità al sito (5≤Is<11 MCS). La campitura a colori suggerisce la distribuzione areale dell'intensità (vedi legenda). Le stelle rosse sono gli epicentri strumentali del 2016-2017 con Ml>5 (ISIDe WG, 2017). I meccanismi focali sono da Geofon Program (2016). Il rombo rosso è l'epicentro macrosismico del 24 Agosto. La linea blu è la faglia attiva dei Monti della Laga (a tratteggio dove incerta). La linea bianca è il sistema di faglie del Monte Vettore, responsabile della sequenza (da Galli et al., *2017).*



Figura 17 – Frana sulla SS 209 tra Visso e Saccovesio Il franamento di una massa di roccia fratturata e detriti (volume stimabile intorno a diverse migliaia di mc) ha ostruito il corso del Fiume Nera posizionato alcuni metri al di sotto del piano stradale e parte della strada stessa. Le acque del fiume, deviato dalla frana, hanno creato un laghetto a monte dell'accumulo invadendo la sede stradale

Centro Italia, in particolare le Regioni Lazio e Abruzzo. A distanza di poche ore dalle scosse una slavina travolge e distrugge l'Hotel Rigopiano, situato alle pendici del Gran Sasso nel Comune di Farindola (PE). Gli eventi sismici di gennaio causano purtroppo 34 morti, di cui 29 a Rigopiano.

Se si considerano gli effetti cumulati effetti dell'intera sequenza (*Fig.* 16), l'area di danneggiamento con intensità al sito Is>VI MCS è rappresentata da una fascia larga circa 20 Km che si estende in direzione NNW-SSE per oltre 70 Km, da Amatrice (provincia di Rieti), a sud, a Castelraimondo (provincia di Macerata) a nord (Galli *et al.*., 2017).

I fenomeni sismoindotti e la loro gestione

Le scosse della sequenza sismica che ha colpito il Centro Italia tra il 2016 e il 2017 hanno prodotto notevoli effetti primari (come le rotture/scarpate lungo la faglia del Monte Vettore) e, in termini di effetti secondari, un grande numero di frane, in particolare crolli, scorrimenti in roccia e flussi detritici. I fenomeni franosi sismoindotti, in quasi i ¾ dei casi, sono andati ad impattare sulla rete viaria, provocando seri disagi alla circolazione e all'espletamento delle attività emergenziali (Martino *et al.*, 2017; Colagiacomo e Manuel, 2017).

Particolarmente rilevanti da questo punto di vista sono state lae franea sulla SS4 - via Salaria in corrispondenza di Pescara del Tronto (in provincia di Ascoli Piceno), dove il crollo di massi ciclopici di travertino ha invaso la sede stradale e quella sulla strada statale 209, tra Visso e Saccovesio (in provincia di Macerata), dove i materiali franati hanno invaso l'alveo del fiume Nera, provocando la deviazione del corso fluviale e il conseguente allagamento della statale (*Fig.* 17).

La scossa del 30 ottobre 2016, oltre a provocare, rispetto agli eventi sismici precedenti, un numero maggiore di frane, ha prodotto anche altre tipologie di effetti geologici e idrogeologici quali emissioni di fango (vulcanelli) in alcune località della provincia di Fermo, l'aumento considerevole della portata del fiume Nera e la ricomparsa nella piana di Santa Scolastica, nei pressi di Norcia, dopo decenni di assenza, del torrente Torbidone (*Fig.* 18).

Nell'ambito della Funzione Tecnica della Dicomac di Rieti è stata immediatamente avviata una attività di verifica delle criticità geologiche ed idrogeologiche create dal terremoto del 24 agosto e da quelli successivi. Le condizioni, del territorio, reso già vulnerabile dagli eventi sismici, sono ulteriormente peggiorate alla fine di gennaio 2017 a causa del maltempo e in particolare delle abbondanti precipitazioni nevose che hanno creato ulteriori problemi, con esiti purtroppo anche tragici come nel caso della slavina che ha colpito l'Hotel Rigopiano.

La Funzione Tecnica ha svolto ininterrottamente, per gli 8 mesi in cui la Dicomac è stata operativa, una attività di puntuale di analisi e valutazione delle situazioni critiche di tipo geologico e idrogeologico. Le attività di sopralluogo, svolte in oltre 100 siti, hanno riguardato principalmente i dissesti di versante e secondariamente delle anomalie idrauliche e dei fenomeni valanghivi.

Sulla base degli esiti dei sopralluoghi sono state assunte, d'intesa con le Regioni e con i Comuni interessati, le misure necessarie per mitigare le condizioni di rischio rilevate e realizzare le attività di prevenzione e ripristino necessarie per una pronta risposta emergenziale sul territorio: dalla valutazione dei fenomeni fino alla evacuazione preventiva della popolazione e alla realizzazione degli interventi urgenti per il ripristino della viabilità.

Tra queste attività rientrano i sopralluoghi condotti sulle strade provinciali e comunali nei territori di Amatrice e Accumoli in provincia di Rieti condotte da geologi liberi professionisti nell'ambito dell'accordo esistente tra Consiglio Nazionale dei Geologi e DPC.

Inoltre, in ragione del grande numero di dissesti che interessavano le rete viarie nei territori delle quattro regione interessate dalla sequenza sismica, l'ingegner Fulvio M.



Figura 18 – allagamenti provocati dal riaffioramento del Torrente Torbidone di Norcia avvenuto a seguito del terremoto del 30 ottobre 2016

IL BOZZA



Figura 19 – Il rischio di crolli a seguito del sisma del 24 agosto 2016 sulla SS4 Salaria sotto l'abitato di Pescara del Tronto

Soccodato di Anas è stato nominato Soggetto Attuatore di Protezione Civile (con Ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 408 del 15 novembre 2016), è stato affidato all'ANAS con il compito di effettuare una puntuale ricognizione del danno e realizzare un Programma complessivo di interventi di ripristino di tutta la rete stradale all'interno del cratere sismico. In totale sono stati effettuati 622 sopralluoghi su 124 strade insieme ai tecnici dei rispettivi enti gestori della rete viabilistica interessata. L'ANAS è stata anche incaricata (Legge n. 229 del 15 dicembre 2016), di provvedere al ripristino ed alla messa in sicurezza della viabilità delle infrastrutture stradali di propria competenza nonché di coordinare e supportare gli interventi su quelle di competenza degli enti territoriali e locali.

Tra le attività coordinate dal FT della Dicomac di Rieti vi è stato inoltre il rafforzamento, in raccordo con i Centri di Competenza e con i Centri Funzionali Decentrati, del monitoraggio strumentale del territorio, attraverso l'installazione strumenti di misura degli spostamenti (stazioni totali, radar, estensimetri etc) e idrometri sui corsi d'acqua per il controllo delle anomalie dei livelli idrici determinate dalle scosse sismiche. Il monitoraggio si è avvalso anche dell'acquisizione e dello studio di immagini satellitari con l'obiettivo di studiare le deformazioni del suolo e delle sorgenti sismiche legate alle scosse.

Interventi sulla frana sulla SS 4 – Salaria ad Arquata del Tronto

A seguito del sisma del 24 agosto 2016 l'abitato di Pescara del Tronto ha subito gravissimi danni e dal versante che limita a sud il paese si è generata una frana che ha interessato la sottostante strada statale Salaria, determinandone la chiusura al traffico.

Nell'ambito della Funzione tecnica della Dicomac sono state avviate le attività necessarie alla microzonazione del sito, alla va-



Figura 20 – Sistema di monitoraggio del versante. Strumenti di monitoraggio (in rosso): C – Inclinometri; F – Estensimetro di superficie (Crackmeter)

lutazione delle condizioni di rischio residuo post evento e alla definizione degli interventi urgenti per il ripristino della funzionalità della struttura

Gli studi di microzonazione sismica eseguiti dall'ISPRA hanno permesso di rilevare che il sottosuolo dell'abitato di Pescara del Tronto è caratterizzato, dall'alto verso il basso, da travertino fitotermale a luoghi fortemente alterato, poggiante su depositi alluvionali di pochi metri di spessore, a loro volta sovrastanti le unità arenaceo- pelitiche della Formazione della Laga.

I sopralluoghi condotti dal CNR-IRPI e dall'ISPRA hanno consentito di identificare la presenza sul versante di un significativo rischio residuo, evidenziando anche la natura complessa del fenomeno franoso sismoindotto, caratterizzato da fenomeni di crollo, scivolamenti superficiali, e la diffusa fratturazione del substrato roccioso.

I fattori che portavano a giudicare elevato il rischio erano che:

- a seguito del movimento franoso era venuto allo scoperto una porzione delle fondazioni di una piastra in cemento armato (denominata tra gli operatori "solettone"), originariamente ancorata con micropali al substrato in travertino a sostegno della strada di accesso al paese;
- sul versante erano presenti larghe fratture beanti che isolavano volumi di travertino, dell'ordine delle decine di metri cubi;
- alcuni massi di travertino di dimensioni nell'ordine dei metri fino a decine di metri cubi risultavano praticamente isolati e incombenti sulla SS4;
- le reti paramassi installate in epoca precedente al sisma, risultavano riempite e parzialmente divelte dai crolli verificatisi durante la crisi sismica (*Fig.* 19).

Per monitorare l'evoluzione del versante è stato istallato a cura della Regione Marche un sistema di monitoraggio in real time costituito da inclinometri ed estensimetri (*Fig.* 20).

In caso di spostamenti al di sopra una soglia limite stabilita si sarebbe attivato un il sistema di prevedeva l'attivazione di un allarme collegato con apparati semaforici, presidiati H24, per bloccare il traffico stradale.

Oltre al sistema di monitoraggio, per garantire il transito in sicurezza lungo l'arteria stradale, è stata realizzata a cura dell'ANAS una barriera costituita da una triplice fila di container marittimi riempiti da brecciame (*Fig.* 21).

Tale barriera ha funzionato in maniera egregia contenendo il crollo di massi ciclopici di travertino e del solettone avvenuto a seguito del sisma del 30 ottobre 2016 (*Fig.* 22). La sede stradale non ha avuto ripercussioni e il traffico ha subito interruzioni solo per attività di controllo.



Figura 21 – Intervento di installazione in tempi rapidi di containers marittimi riempiti di pietrame a salvaguardia del traffico sulla SS 4 Salaria

CONCLUSIONI

Le esperienze acquisite a seguito dei forti terremoti che hanno colpito il territorio italiano nel 2009 (Abruzzo), 2012 (Emilia-Romagna) e 2016-2017 (Centro Italia) hanno evidenziato il notevole impatto che i fenomeni sismoindotti determinano sul territorio, in particolare sulle reti viarie, e di come tale impatto condizioni, anche in maniera severa, le attività emergenziali, dal soccorso e assistenza alla popolazione fino a quelle di avvio del ritorno alle normali condizioni di vita.

Nel caso dei tre sismi sopracitati si sono riscontrati fenomeni sismoindotti diversificati per tipologia, numerosità, intensità e complessità per la cui gestione in fase emergenziale sono state realizzate analisi e valutazioni tecnico-scientifiche finalizzate alla valutazione del rischio residuo, al monitoraggio e alla definizione degli interventi di mitigazioni e di ripristino.

Per l'espletamento delle attività tecnico-scientifiche in tempi compatibili con quelli emergenziali sono stati attivate, sotto il coordinamento della Funzione tecnica di valutazione e pianificazione attivata presso la Di.Coma.C., risorse tecniche e scientifiche provenienti da più soggetti (amministrazioni pubbliche, enti tecnici e di ricerca, consigli nazionali degli ordini professionali).

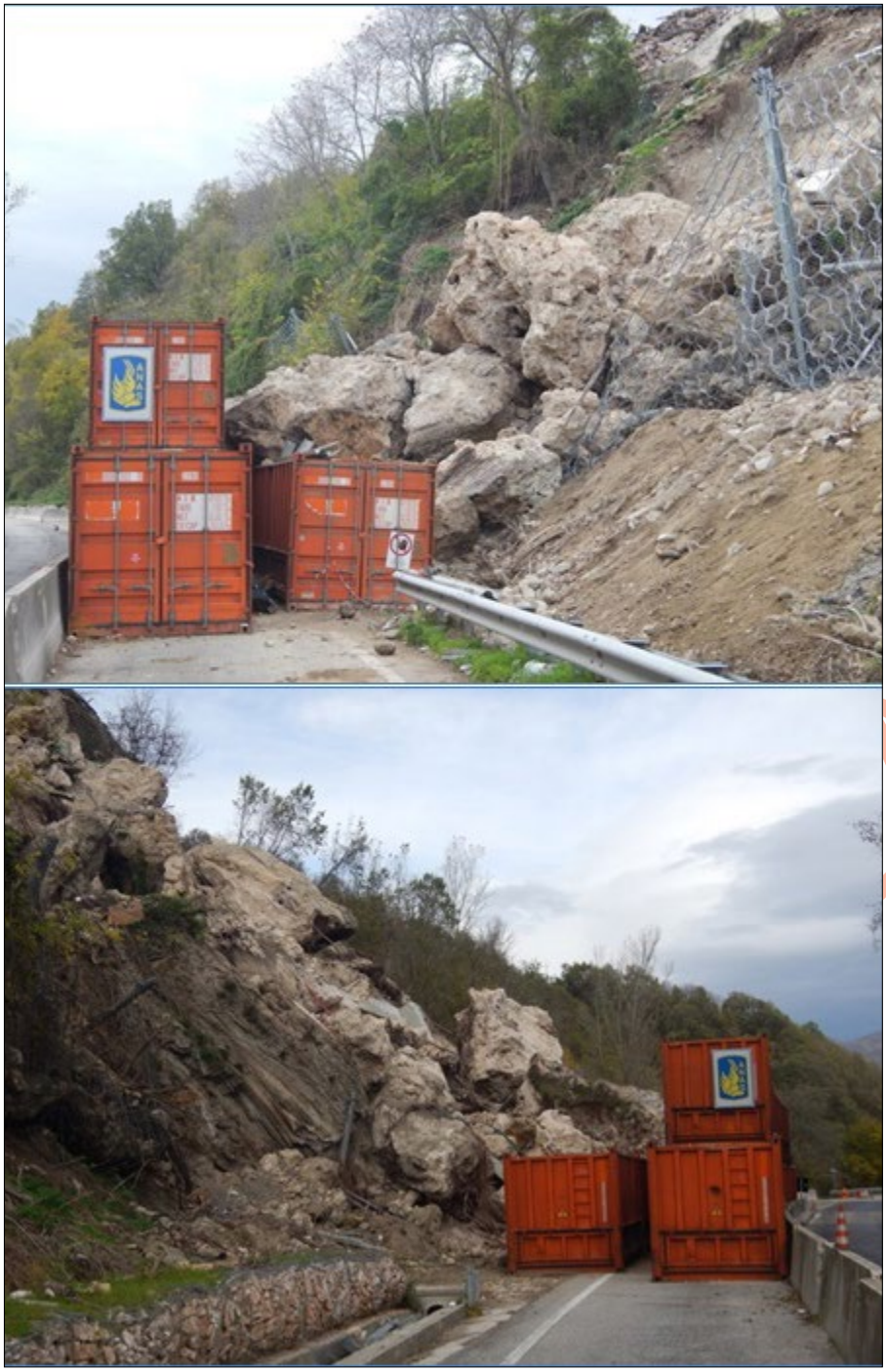


Figura 22 – Situazione dopo il terremoto M=6.5 del 30/10/2016. Si può notare l'ottimo comportamento della barriera provvisoria in container che ha resistito non solo al crollo del "solettone", ma anche a quello di enormi blocchi di travertino; grazie alla protezione della barriera il fenomeno franoso non ha comportato nessuna invasione della SS 4 Salaria né alcuna interruzione di traffico

L'utilizzo coordinato di tali risorse ha permesso, in tempi brevi, di analizzare e valutare i fenomeni attraverso tutti gli strumenti che la tecnologia e la scienza mettono a disposizione per le attività di protezione civile: dai dati satellitari e del monitoraggio in situ ai rilievi geologici e ingegneristici sui dissesti.

Le attività tecnico-scientifiche svolte hanno permesso di affrontare e mitigare, già durante la prima fase emergenziale, le situazioni più critiche causate dai fenomeni sismoindotti fornendo nel contempo un ampio quadro conoscitivo sulla base del quale programmare anche gli interventi di più lungo periodo.

BIBLIOGRAFIA

Blumetti A.M., Comerci V., Di Manna P., Guerrieri L., Vittori E. (2009), *Geological effects induced by the L'Aquila earthquake (6 April 2009; ML_5:8) on the natural environment*, Preliminary Report, 38p. http://www.apat.gov.it/site/_files/Inqua/2009_abruzzo_earth quake_report.pdf

Colagiacomo V., Manuel M.R. (2017), *Le frane sismoindotte innescate dai terremoti di Amatrice, Visso e Norcia del 2016*, Professione geologo, Notiziario Ordine dei geologi del Lazio, 50.

Commissione tecnica per la microzonazione sismica (2017), *Microzonazione sismica. Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate dalla liquefazione*. http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/LG_Liq_v1_0.pdf

Galli P. e Camassi R. (eds.) (2009), *Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009*, Rapporto congiunto DPC-INGV, 12 pp. http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Elenco_centri_abitati_danneggiati.pdf

Galli P., Castenetto S., Peronace E. (2012), *Terremoto dell'Emilia, Maggio 2012. Rilievo macrosismico speditivo*. Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, Roma. http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/TerremotoEmiliaMCS.pdf

Galli P., Castenetto S., Peronace E. (2017), *Rapporto sugli effetti macrosismici del terremoto del 30 Ottobre 2016 (Monti Sibillini) in scala MCS. Con aggiornamenti successivi agli eventi del 18 Gennaio 2017.* http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Rapporto_effetti_macrosismici_terremoto_30_Ottobre_2016_18_genn__.pdf

Gruppo di Lavoro per la Valutazione degli Effetti di Liquefazione a Seguito dei Terremoti del 20 e 29 Maggio 2012 (2012), *Primo rapporto sugli effetti della liquefazione osservati a S. Carlo, frazione di S. Agostino (Provincia di Ferrara)*, Regione Emilia-Romagna Dipartimento protezione civile. http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/liquefazione-gruppo-di-lavoro/rapporto_sancarlo.pdf/at_download/file/rapporto_sancarlo.pdf

Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto in centro Italia (2016), *Rapporto di sintesi sul Terremoto in centro Italia Mw 6.5 del 30 ottobre 2016*, doi: 10.5281/zenodo.166019

Martino S., Bozzano F., Caporossi P., D'angiò D., Della Seta M., Esposito C., Fantini A., Fiorucci M., Giannini L.M., Iannucci R., Marmoni G.M., Mazzanti P., Missori C., Moretto S., Rivellino S., Romeo R.W., Sarandrea P., Schilirò L., Troiani F., Varone C. (2017), *Ground effects triggered by the 24 th August 2016, Mw 6.0 Amatrice (Italy) earthquake: surveys and inventoring to update the CEDIT Catalogue, Geog. Fisi. Dinam. Quat., 40, 77-95*

Marsan P. (2010), *Le cavità di origine antropica nel sottosuolo aquilano*. In: " Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana", Gruppo di Lavoro MS-AQ (2010), Regione Abruzzo - Dipartimento della Protezione Civile, pp. 38-45.

Molin D. (2003), *Considerazioni sull'eventuale adozione in Italia della scala macrosismica europea (EMS-1998)* – Atti del 22° convegno nazionale GNGTS, 11 pp.

Molin D. (2009), *Rilievo macrosismico in emergenza*. Rapporto interno del Dipartimento della Protezione Civile, Ufficio Valutazione, prevenzione e mitigazione del rischio sismico, 13 pp.

Petley D. (2012), *Global patterns of loss of life from landslides*. Geology, 40, 927-930. QUEST WORKING GROUP (2012), *Sintesi degli effetti del terremoto del 20 maggio 2012 (ML=5.9; Mw=5.9) sulle località rilevate dalle squadre di QUEST INGV*, http://quest.ingv.it/images/quest/Rapporto%20Terremoto%20del%20%2020%20Maggio% 202012%20Pianura%20Padana%20Emiliana.pdf

Sieberg A. (1930), *Die Erdbeben, Handbuch der Geophysik* 4, tab.102, Berlin, pp. 527– 686.

Vittori E, Di Manna P., Blumetti A.M., Comerci V., Guerrieri L., Esposito E., Michetti A.M., Porfido S., Piccardi L., Roberts G.P., Berlusconi A, Livio F., Silea G, Wilkinson M., McCaffrey K., Phillips R.J., Cowie P.A. (2011), *Surface Faulting of the 6 April 2009 Mw 6.3 L'Aquila Earthquake in Central Italy*. Bull Seismol Soo Am 101(4). dodOI20100I40

Quando la scienza incontra il diritto: le responsabilità legate alla gestione del rischio tsunami

When science meets law: liability related to the tsunami risk management

Cecilia Valbonesi
Ph.D in Diritto Penale
Università degli Studi di Firenze
Dipartimento di Scienze Giuridiche
E-mail: cecilia.valbonesi@unifi.it

Parole chiave (*key words*): tsunami (*tsunami*), diritto penale (*criminal law*), gestione del rischio (*risk management*)

INTRODUZIONE

Il rischio tsunami rappresenta uno fra i terreni di maggiore interesse sul quale può e deve misurarsi la disciplina delle responsabilità penali.

Il diritto penale, infatti, è chiamato sempre più spesso a dare una risposta alle esigenze di tutela nei confronti delle nefaste conseguenze derivanti dai fenomeni naturali. Anche in questi casi, la salvaguardia di valori primari, come la vita e l'integrità dei beni, deve armonizzarsi con il rispetto dei principi di legalità e colpevolezza quali irrinunciabili baluardi di un moderno ordinamento che rifiuta criteri oggettivi di imputazione delle responsabilità.

Il richiamo ai principi costituzionali che presidiano il rimprovero penale potrebbe apparire quasi scontato se non si assistesse, ormai da più di un decennio, alla destrutturazione dei presupposti fondamentali di ascrizione della responsabilità per colpa.

La colpa, infatti, rappresenta il più comune criterio di imputazione soggettiva dell'evento dannoso che scaturisce dalla cattiva gestione di un rischio, soprattutto se di origine naturale. La diffusività delle conseguenze nefaste correlate a tali fenomeni ha spinto la giurisprudenza ad offrire una risposta sempre più severa nei confronti dei soggetti chiamati a gestire le fonti di pericolo. Ne è scaturita una vera e propria destrutturazione del rimprovero penale colposo che ha assunto sempre più i contorni di una imputazione precauzionistica di matrice oggettiva.

Appare quindi irrinunciabile offrire una risposta sistematica e preventiva volta a contrastare tali derive. Il lavoro è molto complesso ma è possibile ed opportuno dar conto in questa sede del percorso di regolamentazione iniziato presso il Centro Allerta Tsunami dell'INGV (Valbonesi, 2018).

IL CENTRO ALLERTA TSUNAMI DELL'INGV

Per affrontare, senza pretese di esaustività, il complesso problema delle responsabilità penali cui potenzialmente possano incorrere i turnisti, i funzionari e i membri del CAT, occorre inquadrare questo Servizio nell'attuale contesto ordinamentale evidenziando, in primo luogo, come l'inserimento nell'organigramma del SiAM, (Direttiva del Consiglio dei Ministri del 17 febbraio 2017, pubblicata in G.U. il 5 giugno 2017), ne sancisca il ruolo scientifico e la centralità nel sistema di allertamento.

In particolare, la Direttiva disegna l'area di competenza del CAT cui sono affidate le determinazioni tecnico scientifiche del primo segmento dell'allerta, che si concretizzano principalmente nella trasmissione dei messaggi al DPC e nella decisone in merito alla conclusione dello stato di potenziale pericolo. Il servizio si colloca, dunque, in un momento prodromico e strumentale all'avvio della complessa macchina di Protezione Civile.

Non minore importanza assume il contesto sovranazionale nel quale si inquadra il CAT, accreditato dall'Intergovernamental Coordination Group (ICG)/NEAMTWS che rappresenta non soltanto la sede deputata al confronto scientifico internazionale ma costituisce, altresì, il luogo di sintesi e di validazione delle scelte tecniche adottate dai diversi centri internazionali che vi afferiscono.

Quanto all'articolazione interna del Servizio, occorre ricordare in prima battuta come il Comitato Direttivo del CAT sia composto dalle seguenti figure: il Responsabile del Centro, il Direttore pro tempore del CNT (Centro Nazionale Terremoti); il Responsabile pro tempore dell'Unità Funzionale SSSI del CNT; il Coordinatore qualità dei dati; il Coordinatore sviluppi Allerta tsunami; il Coordinatore sviluppi Pericolosità tsunami; il Coordinatore Relazioni internazionali.

I rispettivi compiti sono definiti dalla delibera del CdA n. 322/2017 del 20.02.2017.

L'operatività del CAT è affidata ad una pluralità di soggetti ciascuno dei quali, come vedremo, risulta titolare di un'area di competenza cui corrispondono doveri e responsabilità. Distinguiamo pertanto fra turnisti CAT, funzionari CAT e CD del CAT.

La delibera affida la gestione del servizio CAT a dipendenti in organico all'INGV chiamati, su base volontaria, ad effettuare i turni di reperibilità presso la postazione collocata nella sala sismica della sede romana dell'Ente.

La postazione CAT è presidiata 7/7 H24 da soggetti i quali, debitamente formati e aggiornati, abbiano superato una prova selettiva di verifica del corretto apprendimento delle nozioni scientifiche ed operative, impartite durante i corsi organizzati dal CD del CAT.

I turnisti CAT costituiscono figure centrali nella gestione del rischio tsunami: a loro è demandato il compito di verificare l'esattezza delle localizzazioni automatiche del terremoto; di esaminare le elaborazioni provenienti dai sistemi di Early - Est e di Jet; di comunicare l'allerta tsunami al DPC con il messaggio iniziale; di curare l'evoluzione dell'allerta aggiornando o variando la tipologia dei messaggi. Dalla fase successiva al primo messaggio, il turnista è affiancato dal funzionario il quale rappresenta una figura apicale nella gestione del rischio. Infatti, come esplicitato anche nel suo mansionario "il funzionario CAT, durante il periodo di servizio di reperibilità è responsabile del corretto svolgimento del turno allerta tsunami".

Al funzionario, anch'egli debitamente formato e costantemente aggiornato, sono affidate le scelte che prevedono un maggiore tasso di discrezionalità e di complessità scientifica.

Durante il turno 7/7 H24 il funzionario è chiamato ad affiancare il turnista nella fase successiva alla comunicazione del primo messaggio e sino alla fine dell'allerta.

Infine, ai componenti del Comitato Direttivo sono affidati compiti dai quali discendono obblighi di impulso, gestione e sorveglianza particolarmente pregnanti. Tutti insieme sono chiamati ad esprimere un comune indirizzo durante le riunioni periodiche e la loro attività trova un profilo di coordinamento nella figura del Responsabile.

LA RESPONSABILITÀ DEI MEMBRI DEL CAT: IL CONTESTO PLURISOGGETTIVO DEL RISCHIO

La pur breve ricostruzione dei compiti riservati ai singoli attori della gestione del

LIBOZZA

rischio tsunami disegna una pluralità di competenze alle quale sono riservate responsabilità di diverso tenore.

Non vi è dubbio, infatti, che se ai membri del CD del CAT saranno ascrivibili eventi che affondano le proprie cause in scelte scientifiche errate, trasfuse nei documenti applicativi del servizio o in scelte strategiche insufficienti a fronteggiare il rischio, ai turnisti e funzionari potranno invece rimproverarsi comportamenti attivi o omissivi nella gestione della fase di emergenza dai quali possa scaturire la messa in pericolo o la lesione dei beni giuridici protetti.

Quando si voglia muovere un rimprovero penale nei confronti di un soggetto occorre che ricorrano in modo indefettibile una serie di elementi fondamentali. La mancanza anche di uno solo determina l'impossibilità di riconoscere la responsabilità. Questi elementi sono: la condotta – attiva od omissiva – dell'agente, l'"evento" (messa in pericolo o lesione del bene protetto), il nesso di causalità fra la condotta e l'evento e infine la colpevolezza, ovvero l'attribuibilità soggettiva del fatto all'agente a titolo di dolo, colpa o preterintenzione.

A quest'ultimo riguardo dobbiamo esplicitare sin da subito che la responsabilità penale per la cattiva gestione del rischio, come detto, trova il suo terreno privilegiato nel rimprovero colposo poiché la colpa identifica quell'atteggiamento di non volontà dell'evento nefasto il quale, però, si realizza per la violazione di regole cautelari impeditive .

Prima di addentrarci, pur sommariamente, nella breve disamina dei singoli elementi che compongono il rimprovero penale, occorre sottolineare come la gestione dei rischi naturali sia sovente frutto dell'interazione di più soggetti chiamati ad offrire un proprio contributo tecnico scientifico. La circostanza può determinare l'applicazione del paradigma della cooperazione colposa. Certamente può capitare e capita spesso che un evento debba attribuirsi alla condotta dannosa o pericolosa di una sola persona: mi sono addormentato e non ho visto che c'era l'allerta in corso. Non ho mandato il messaggio al DPC, la popolazione non è stata allertata e ne sono conseguiti morti e distruzione. In questo caso la responsabilità sarà solo di colui che non ha inviato il messaggio, ma *quid iuris* se l'evento è il prodotto di più condotte? In questo caso, i soggetti incaricati dello svolgimento della pubblica funzione possono essere chiamati a rispondere se la loro condotta, di matrice colposa, ha avuto una efficienza causale nel verficarsi dell'evento.

L'attribuzione a titolo plurisoggettivo dell'evento segue lo schema del concorso di persone nel reato che, nella sua fenomenologia colposa, trova l'ancoraggio normativo nell'art. 113 del Codice penale ai sensi del quale "nel delitto colposo, quando l'evento è stato cagionato dalla cooperazione di più persone, ciascuna di queste soggiace alle pene stabilite per il delitto stesso". [M. Gallo, 1957; Padovani, 1973; Insolera, 1986]. Ciò accade quando più soggetti cagionano non volontariamente un evento attraverso la violazione di una regola cautelare che mirava ad impedirlo ed alla cui osservanza ciascuno di essi era tenuto. Ciò è possibile, come detto, quando sulla gestione di uno stesso rischio insistano più professionalità, come più operatori CAT o un operatore ed il funzionario che lo affianchi. In particolare, la gestione dell'allerta può integrare una cooperazione colposa quando le condotte che danno luogo all'evento si realizzano in un contesto sincronico.

Supponiamo, ad es., che il turnista CAT non determini correttamente o non comunichi tempestivamente una stima a rialzo attraverso un messaggio di aggiornamento e correlativamente il funzionario non provveda a coadiuvarlo, correggerlo, sostituirlo. Supponiamo che siffatta condotta non consenta l'adozione di strumenti di allerta tempestivi ed adeguati che inducano la popolazione ad evacuare le coste sulle quali si abbatta poi un'onda di tsunami foriera di danni a cose e persone. La responsabilità ricadrà verosimilmente sul turnista e sul funzionario i quali, in concorso fra loro, hanno determinato una violazione della regola cautelare volta ad impedire che si realizzassero siffatti eventi dannosi.

Come ricorda autorevole dottrina, per aversi concorso colposo occorre la ricorrenza dei seguenti presupposti: "1. La non volontà del fatto criminoso; 2. La volontà di concorrere materialmente o psicologicamente alla realizzazione della condotta (comune o altrui) contraria a regole cautelari o rischiosa e causa dell'evento; 3. La previsione o la prevedibilità ed evitabilità dell'evento criminoso" [F. Mantovani, 2009].

La cooperazione colposa nella produzione dell'evento si può verificare anche quando esso deve attribuirsi a condotte ascrivibili a soggetti esterni all'INGV. Pensiamo all'articolazione del servizio SiAM, che nasce dalla sinergia fra ISPRA, CAT e DPC: essa determina la possibilità che uno stesso evento possa causalmente ricondursi a più condotte colpose, anche indipendenti fra di loro, realizzate in una dimensione diacronica.

Pensiamo al caso in cui uno tsunami si abbatta sulle coste italiane e cagioni delle vittime. È ben possibile che il decesso delle persone sia il prodotto di una sinergia causale fra fattori radicalmente diversi, come una errata comunicazione del rischio, associata ad una omessa predisposizione della segnaletica da parte dell'ente locale obbligato per legge (il Comune). La compresenza di queste condotte determina una responsabilità in capo a tutti i soggetti che vi abbiano dato luogo ove queste assumano un valore causalmente rilevante e nessuna si ponga quale fattore causale interruttivo idoneo, ai sensi dell'art. 41 secondo comma, ad elidere l'altrui rimprovero[1].

Non è detto però che la compresenza di più soggetti nella causazione dell'evento dia luogo di per sé ad una cooperazione colposa. Può infatti verificarsi un concorso di fatti colposi indipendenti. Si ricorda infatti come "la cooperazione nel delitto colposo si distingue dal concorso di cause colpose indipendenti per la necessaria reciproca consapevolezza dei cooperanti della divergenza dei rispettivi contributi all'incedere di una comune procedura in corso, senza che, peraltro, sia necessaria la consapevolezza del carattere colposo dell'altrui condotta in tutti quei casi in cui il coinvolgimento integrato di più soggetti sia imposto dalla legge o da esigenze organizzative connesse alla gestione del rischio o, quantomeno, sia contingenza oggettivamente definita dalla quale gli stessi soggetti risultino pienamente consapevoli"[2].

Dunque, il fattore discretivo che determina l'applicazione della cooperazione colposa risiede "nell'intreccio cooperativo fra tutti gli imputati" e/o "in una convergenza nei rispettivi contributi all'incedere di una comune procedura in corso " e dunque "in un comune coinvolgimento nella gestione del rischio"[3]. La fattispecie non sussiste invece quando l'evento finale sia frutto "della coincidenza di più azioni o omissioni" riconducibili a soggetti diversi "non collegate fra di loro da un vincolo soggettivo".[4]

I due diversi schemi di imputazione determinano notevoli conseguenze in termini di responsabilità. Quando sussistono i presupposti per la cooperazione colposa ex art. 113 c.p. possono essere attratte al rimprovero penale e sanzionate alla luce del medesimo titolo di reato tutte le condotte dei partecipanti che hanno dato un contributo causale e colpevole ancorché non del tutto tipico. Inoltre, la querela sporta nei confronti di uno dei soggetti si

1 Gli art. 41 comma 2 e 45 c.p. regolano il concorso di fattori causali preesistenti, concomitanti e sopravvenuti che escludono il rapporto di causalità in quanto hanno consentito il verificarsi di un evento il quale non era conseguenza neppure probabile della condotta.

2 Cass. pen. sez. IV, 18 settembre 2014, n. 14035 Rv. 263208. Nello stesso senso Cass. pen. sez. IV, 13 novembre 2014, n. 49735 Rv 261183 e Cass. pen. sez. IV, 19 marzo 2013, n. 26239 Rv. 255696

3 Cass. pen. sez. IV, 28 novembre 2016, n. 50138, cit.

4 Ibidem.

BOZZA

estende in automatico a tutti i compartecipi secondo quanto stabilito dall'art. 123 c.p.

Le conseguenze dell'attrazione della condotta allo schema concorsuale non hanno luogo quando le diverse azioni o omissioni rimangono fra di loro indipendenti. In questo caso ogni compartecipe sarà sanzionato alla luce della fattispecie incriminatrice violata dal proprio comportamento.

Non è possibile stabilire a priori se una condotta debba essere ricondotta in uno schema di cooperazione o in un quadro di reciproca indipendenza. È opportuno ribadire, pertanto, che il collegamento delle condotte dal punto di vista soggettivo rappresenta elemento fondante della cooperazione colposa nella quale i partecipanti sono "reciprocamente consapevoli", come ritiene la Cassazione, di "contribuire con l'azione o l'omissione altrui alla produzione dell'evento non voluto" o, come meglio espresso dalla dottrina, sono dotati della coscienza e volontà di concorrere "nella condotta violatrice delle regole cautelari di comportamento" [F. Mantovani, 2009; Severino Di Benedetto, 1988; Cornacchia, 2004].

I PROFILI OGGETTIVI DEL RIMPROVERO

La determinazione del rimprovero a titolo monosoggettivo o plurisoggettivo presuppone una valutazione in termini di responsabilità dei soggetti coinvolti nella messa in pericolo o nel danno al bene giuridico protetto (vita, beni e ambiente).

Come abbiamo visto, l'attribuzione di un fatto ad un soggetto deve superare un attento vaglio giudiziario che ne evidenzi, ogni oltre ragionevole dubbio, l'attribuibilità oggettiva e soggettiva all'indagato – imputato. Quanto al profilo oggettivo dell'ascrizione dell'evento di pericolo o di danno dobbiamo in prima battuta precisare che tale evento può scaturire da una azione o da una omissione del soggetto. Si ha azione quando con la condotta si cagiona direttamente l'evento (sparo a Tizio e lo uccido); si ha omissione quando, stante un dovere giuridico di impedire l'evento, l'agente non compie la condotta doverosa e possibile che lo avrebbe per l'appunto impedito (sono un medico e non pratico le cure necessarie per la sopravvivenza del paziente che ho in carico). L'omissione ha un fondamento normativo. Il combinato disposto della fattispecie incriminatrice d'evento con la clausola di cui all'art. 40 comma 2 c.p. determina la struttura del rimprovero omissivo improprio. Posizione di garanzia e potere di impedimento rappresentano i due pilastri cardine della responsabilità omissiva ai sensi dell'art. 40 comma 2 del c.p.: non impedire l'evento che si ha l'obbligo giuridico di impedire equivale a cagionarlo.

Peraltro, determinare se l'evento deve ascriversi ad una condotta attiva o omissiva dà luogo per lo meno a due conseguenze rilevanti: 1. Mentre la responsabilità per la condotta attiva può essere ascritta a chiunque (reato comune) o ai soggetti indicati dalla norma incriminatrice (reato proprio) la responsabilità omissiva può sussistere solo in capo al soggetto gravato da una posizione di garanzia; 2. Se la verifica dell'attribuibilità dell'evento alla condotta attiva avviene attraverso un modello di causalità attiva (sottraendo la condotta dall'insieme degli antecedenti causali verifico che il fatto non si sarebbe verificato: la condotta è *condicio sine qua non* dell'evento), l'attribuibilità dell'evento alla condotta omissiva presuppone un accertamento complesso basato un sistema di c.d. doppia ipoteticità (non solo devo sottrarre la condotta tenuta dall'agente dagli antecedenti causali ma per attribuire l'evento devo altresì verificare, in via di ipotesi, se la condotta corretta non adottata avrebbe in concreto impedito l'evento).

La bipartizione fra condotta attiva e condotta omissiva, apparentemente così netta, soffre quando viene calata nella realtà dei fatti ed in particolar modo quando si devono accertare le responsabilità legate alle conseguenze della scorretta gestione di un evento naturale.

I diversi ruoli dei soggetti chiamati a gestire il rischio tsunami non consentono una determinazione a priori della natura delle loro eventuali responsabilità. Un esempio può chiarire meglio la difficoltà. Supponiamo che a seguito del terremoto si sia verificato uno tsunami il quale abbia cagionato molti morti. Responsabile per una condotta di tipo attivo sarà ad esempio il turnista che ha comunicato un dato sbagliato cui è stata correlata un'allerta insufficiente. Responsabile per una condotta di tipo omissivo sarà il turnista che si è addormentato e non ha comunicato il messaggio d'allarme.

Peraltro, come detto la responsabilità omissiva si fonda sulla sussistenza di una posizione di garanzia quale obbligo di tutela del bene giuridico che si radica nella legge o nel contratto e presuppone la presa in carico del bene. Il turnista, come il funzionario del Centro Allerta Tsunami, è infatti contrattualmente responsabile della vigilanza della fonte di pericolo e quando entra in turno prende in carico la tutela della vita e dei beni.

Non vi è dubbio che le incertezze scientifiche legate ai fenomeni naturali abbiano sensibilmente incrementato la domanda di giustizia da parte della società innanzi a fenomeni i quali, pur tuttavia, potrebbero essere difficilmente ascrivibili al soggetto responsabile. La ricerca dell'attribuzione delle responsabilità penali ad un soggetto ritenuto garante del bene giuridico offeso conduce spesso la magistratura a dilatare in modo incontrollato l'area degli obblighi impeditivi dell'evento e correlativamente a forzare il paradigma scientifico sul quale si innesta la ricostruzione del nesso causale, specie se di natura omissiva.

Ne discende come nel settore complesso e variegato dei rischi naturali si assista spesso all'attribuzione di una responsabilità da posizione, non correlata alla sussistenza di reali obblighi o poteri impeditivi ed altresì non ascrivibile ad un modello causale scientificamente fondato e ripetibile.

In ogni caso, l'accertamento della sussistenza della condotta, dell'evento e del nesso di causalità fra gli stessi (reati di evento), o dell'ascrivibilità della condotta al soggetto agente (reati di mera condotta) consente al giudice di ritenere superato il vaglio di rimproverabilità oggettiva.

L'accertamento delle responsabilità però non si arresta qui: sussiste infatti un altro e fondamentale profilo che attiene alla rimproverabilità soggettiva, il quale presuppone la verifica, nel nostro caso, della responsabilità colposa.

Su questo terreno si concentra un ampio e annoso dibattito volto a contrastare la sostituzione del paradigma colposo con quello precauzionistico quale risposta maggiormente cogente alle conseguenze della cattiva gestione di un rischio naturale.

LINEE GUIDA E PROTOCOLLI PER LA GESTIONE DEL RISCHIO QUALE ANTIDOTO AL PRECAUZIONISMO

La complessa risposta dell'ordinamento alle conseguenze del rischio tsunami, come più in generale di tutti i rischi di eziologia naturale, conosce due momenti di fondamentale importanza che coincidono con le sentenze della Suprema Corte sul disastro di Sarno e sul terremoto di L'Aquila.

Entrambe hanno segnato uno spartiacque rispetto ai presupposti applicativi del rimprovero colposo.

La Suprema Corte, annullando l'assoluzione del sindaco della città di Sarno, affermava che " il giudizio di prevedibilità dell'evento dannoso … va compiuto, nel caso di eventi naturali o di calamità che si sviluppino progressivamente, tenendo conto della natura e della dimensione di eventi analoghi storicamente già verificatisi, ma valutando altresì se possa essere esclusa la possibilità che questi eventi possano aver dimensioni e caratteristiche più gravi o addirittura catastrofiche … La prevedibilità dell'evento dannoso, ai fini dell'accertamento dell'elemento soggettivo del reato, va compiuta anche utilizzando le leggi scientifiche pertinenti, se esistenti; in mancanza di leggi scientifiche che consentano di conoscere preventivamente lo sviluppo di eventi naturali calamitosi, l'accertamento

LIBERA

della prevedibilità dell'evento va compiuto in relazione alla verifica della concreta possibilità che un evento dannoso possa verificarsi, e non secondo criteri di elevata credibilità razionale (che riguardano esclusivamente l'accertamento della causalità), ferma restando la distinzione con il principio di precauzione, che prescinde dalla certezza del rischio"[5].

Contrariamente a quanto si afferma, la Corte consegna il rimprovero penale colposo al terreno del precauzionismo attraverso la destrutturazione del concetto di prevedibilità. Tutto diventa prevedibile per l'agente, anche se non erano mai stati registrati fenomeni di tale intensità su quel territorio. Il *sindaco modello* deve assumere la decisone di protezione civile avendo di mira lo scenario maggiormente catastrofico: ove ciò non accada, egli sarà responsabile per l'evento nefasto che la sua condotta non ha saputo evitare.

La motivazione dei giudici appare fortemente influenzata dalla giurisprudenza in tema di danni lungolatenti per l'uso industriale dell'amianto che aveva condotto ad una casistica epidemiologica di morti per mesotelioma pleurico.

Nelle pronunce in tema di omicidio colposo asbesto - correlato la Corte ha riconosciuto la responsabilità penale degli imputati anche se le regole cautelari non osservate al tempo della condotta (*rectius* dell'inalazione della fibra cancerogena) non erano destinate a scongiurare l'evento morte ma solo a salvaguardare la salute dei lavoratori[6]. Si è detto infatti che se era prevedibile l'insorgere di una malattia avrebbe dovuto prevedersi (e dunque evitarsi) anche l'insorgenza di un rischio qualitativamente diverso qual è quello al bene giuridico della vita.

In un panorama così difficile si è pronunciata la Suprema Corte ponendo fine alla drammatica vicenda della c.d. Commissione Grandi Rischi[7]. La sentenza, criticabile sotto molti profili, rappresenta tuttavia un concreto punto di partenza per il recupero, in via interpretativa dell'ortodossia del rimprovero colposo attraverso una rinnovata normatività della colpa, ovvero di una valutazione del rimprovero soggettivo legata alla violazione di regole cautelari per lo più scritte, conoscibili *ex ante* dall'operatore del rischio ed applicate *ex post* dal giudice.

La Corte, in risposta alla sentenza del giudice di prime cure che aveva assunto a rango di regola cautelare un complesso di prescrizioni idonee a fondare la sussistenza della sola posizione di garanzia, sottolinea che le cautele procedimentali prescrivono per lo più comportamenti che si pongono in relazione di non stretta prossimità con l'evento. Ricorda anche che, proprio l'attività di valutazione dei rischi, in quanto cautela procedurale ed indiretta, viene estromessa dal novero delle regole cautelari.

Attraverso il paragone con i frattali, i giudici evidenziano come talune "cautele procedurali" siano "sorvegliate" da regole tecniche[8]. Ecco, proprio la violazione di una di queste regole "è suscettibile di riverberarsi sulla cautela che tutte le contiene" e a questo punto "non si può qui dubitare della relazione con l'evento".

I giudici esortano a non creare cautele vuote ma a dare peso a regole dense di aspetti tecnici, che siano per l'appunto modali. Regole che individuino ed esplicitino quel comportamento dotato di efficacia impeditiva o contenitiva dell'evento[9].

La Cassazione ci indica anche il criterio ermeneutico in base al quale è possibile riconoscere la differenza di senso e di pregnanza fra "norme di dovere" e regole cautelari: il principio di colpevolezza. La "regola cautelare … è riconoscibile quando la prescrizione permette di identificare la misura avente efficienza preventiva … e soprattutto definisce almeno nel genere l'evento da prevenire"[10].

Si conferisce dunque un rilievo pregante a linee guida e protocolli quali regole procedimentali destinate ad integrare *ex ante* il rimprovero colposo e a costituire quindi quel terreno cognitivo comune all'operatore del rischio e al giudice.

Certo, la soluzione interpretativa non sottrae lo schema dell'imputazione colposa ai controversi profili legati alla sussistenza di una colpa generica, spesso utilizzata per individuare *ex post* ed in sede di giudizio una regola cautelare non osservata (perché non conoscibile dall'agente) ritenuta impeditiva dell'evento.

Pur tuttavia, linee guida e protocolli costituiscono uno sforzo di tipizzazione del rimprovero colposo il quale risulta integrato da cautele scritte e conoscibili, idonee ad impedire l'evento infausto. Non solo, ma le regole protocollari garantiscono una guida preziosa per l'operatore del rischio spesso chiamato ad assumente scelte delicatissime in una condizione di solitudine sistemica. Certo, per poter assurgere ad efficacia cautelare la regola deve essere veramente impeditiva dell'evento e deve costituire espressione della miglior scienza ed esperienza nel momento storico, anche alla luce delle acquisizioni maturate a livello internazionale.

UN PREZIOSO AIUTO: LA DISCIPLINA DELLA COLPA MEDICA

È di conforto e ispirazione a questa ricostruzione la recente disciplina della colpa medica introdotta dal legislatore con la legge n. 24 del 2017 c.d. legge Gelli Bianco (Caputo, 2017, p. 293; Brusco, 2017; Risicato, 2017; De Lia, 2017; Di Florio, 2017)

Per meglio comprendere l'ambito applicativo della legge e – di conseguenza - la sua potenziale trasposizione nel nostro ambito di disciplina, occorre però supplire ad un dato definitorio che è rimasto sin qui carente: occorre infatti stabilire cosa si intenda per linee guida e protocolli.

Se per linee guida si intende "un insieme di raccomandazioni sviluppate sistematicamente, sulla base di conoscenze continuamente aggiornate e valide, redatte allo scopo di rendere appropriato e con un elevato standard di qualità, un comportamento desiderato" (Bove, 2015), il termine protocollo indica la codificazione di un novero di adempimenti posti in sequenza sincronica o diacronica che diviene regola quando le parti coinvolte ne stabiliscono la cogenza.

Si è altresì notato che "le espressioni «linee guida e protocollo» indicano tanto le modalità esecutive di una certa attività, quanto il documento che formalizza dette procedure". Da ciò discende che, ai fini del giudizio di colpa, interesserà il profilo contenutistico dell' "agire procedimentalizzato" e non quello formale che rileverà solo sul piano probatorio" (Giunta, 2013).

L'art. 6 della legge Gelli Bianco così recita: *1. Dopo l'articolo 590-quinquies del codice penale è inserito il seguente: «Art. 590-sexies (Responsabilità colposa per morte o lesioni personali in ambito sanitario). - Se i fatti di cui agli articoli 589 e 590 sono commessi nell'esercizio della professione sanitaria, si applicano le pene ivi previste salvo quanto disposto dal secondo comma. Qualora l'evento si sia verificato a causa di imperizia, la punibilità e' esclusa quando sono rispettate le raccomandazioni previste dalle linee guida come definite e pubblicate ai sensi di legge ovvero, in mancanza di queste, le buone pratiche clinico-assistenziali, sempre che le raccomandazioni previste dalle predette linee guida risultino adeguate alle specificità del caso concreto». 2. All'articolo 3 del decreto-*

5 Cassazione pen. Sez. IV, 3 maggio 2010, n. 16761, in www.dejure.it ed *FI,* 2011, II, 482. La sentenza annulla con rinvio l'assoluzione del sindaco di Sarno.

6 Ricordiamo, *ex plurimis*, Cass. pen. sez. IV, 17/05/06 (dep. 6/02/07), n. 4675, Bartalini; Cass. pen. sez. IV, 24 maggio 2012, n. 33311 su *DeJure*.

7 Cass. pen. Sez. IV, 24 marzo 2016, n. 12478, in *DeJure*.

8 Ibidem.

9 Si dice "quando particolari elementi la propongano come misura direttamente incidente su uno specifico evento pregiudizievole". Cass. pen. Sez. IV, 24 marzo 2016, cit. p. 128.

10 Cass. pen. Sez. IV, 24 marzo 2016, cit. p.128.

BOZZA

legge 13 settembre 2012, n. 158, convertito, con modificazioni, dalla legge 8 novembre 2012, n. 189, il comma 1 è abrogato.

In questo processo ermeneutico dobbiamo muovere da un assunto chiaro: ad oggi le limitazioni al rimprovero colposo che la legge Gelli Bianco lega all'osservanza di linee guida e buone pratiche non si estendono ad altri ambiti di rischio consentito, come ad esempio la gestione delle emergenze naturali e dunque neppure alle attività del Centro Allerta Tsunami. Per vero, anche nel contesto della responsabilità medica sussiste un ampio dibattito sul ruolo riservato all'osservanza delle linee guida e protocolli.

La giurisprudenza chiamata a pronunciarsi sulla colpa medica ribadisce che, nonostante linee guida e protocolli costituiscano un complesso di cautele idonee ad orientare il comportamento dell'operatore e altresì a guidare il giudice, pur tuttavia essi "non sono in grado di offrire standard legali precostituiti; non divengono, cioè, regole cautelari secondo il classico modello della colpa specifica: da un lato la varietà e il diverso grado di qualificazione delle linee guida; dall'altro, soprattutto, la loro natura di strumenti di indirizzo ed orientamento, privi della prescrittività propria di una regola cautelare"[11]. La decisione è motivata sulla base di un assunto per vero condivisibile: l'eterogeneità di linee guida e protocolli elaborati con riferimento alle scienze mediche non consente né una uniformità di approccio, né la possibilità di verificare l'attendibilità tecnico scientifica di questi documenti i quali, talvolta, hanno come proprio obiettivo quello di un mero risparmio di spesa.

Per ovviare, seppur in parte, a tali incertezze (non ancora superate dalla giurisprudenza durante il primo anno di applicazione della novella) la legge Gelli Bianco ha codificato una metodologia di raccolta e selezione delle linee guida idonee a fondare quel giudizio di non colpevolezza di cui all'art. 6.

L'art. 5, rubricato, Buone pratiche clinico-assistenziali e raccomandazioni previste dalle linee guida prevede invece che: *1. Gli esercenti le professioni sanitarie, nell'esecuzione delle prestazioni sanitarie con finalità preventive, diagnostiche, terapeutiche, palliative, riabilitative e di medicina legale, si attengono, salve le specificità del caso concreto, alle raccomandazioni previste dalle linee guida pubblicate ai sensi del comma 3 ed elaborate da enti e istituzioni pubblici e privati nonché dalle società scientifiche e dalle associazioni tecnico-scientifiche delle professioni sanitarie iscritte in apposito elenco istituito e regolamentato con decreto del Ministro della salute, da emanare entro novanta giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge, e da aggiornare con cadenza biennale. In mancanza delle suddette raccomandazioni, gli esercenti le professioni sanitarie si attengono alle buone pratiche clinico-assistenziali.*

2. Nel regolamentare l'iscrizione in apposito elenco delle società scientifiche e delle associazioni tecnico-scientifiche di cui al comma 1, il decreto del Ministro della salute stabilisce:

a) i requisiti minimi di rappresentatività sul territorio nazionale;

b) la costituzione mediante atto pubblico e le garanzie da prevedere nello statuto in riferimento al libero accesso dei professionisti aventi titolo e alla loro partecipazione alle decisioni, all'autonomia e all'indipendenza, all'assenza di scopo di lucro, alla pubblicazione nel sito istituzionale dei bilanci preventivi, dei consuntivi e degli incarichi retribuiti, alla dichiarazione e regolazione dei conflitti di interesse e all'individuazione di sistemi di verifica e controllo della qualità della produzione tecnico-scientifica;

c) le procedure di iscrizione all'elenco nonché le verifiche sul mantenimento dei requisiti e le modalità di sospensione o cancellazione dallo stesso.

3. Le linee guida e gli aggiornamenti delle stesse elaborati dai soggetti di cui al comma 1 sono integrati nel Sistema nazionale per le linee guida (SNLG), il quale e' disciplinato nei compiti e nelle funzioni con decreto del Ministro della salute, da emanare, previa intesa in sede di Conferenza permanente per i rapporti tra lo Stato, le regioni e le province autonome di Trento e di Bolzano, con la procedura di cui all'articolo 1, comma 28, secondo periodo, della legge 23 dicembre 1996, n. 662, e successive modificazioni, entro centoventi giorni dalla data di entrata in vigore della presente legge. L'Istituto superiore di sanità pubblica nel proprio sito internet le linee guida e gli aggiornamenti delle stesse indicati dal SNLG, previa verifica della conformità della metodologia adottata a standard definiti e resi pubblici dallo stesso Istituto, nonché della rilevanza delle evidenze scientifiche dichiarate a supporto delle raccomandazioni.

4. Le attività di cui al comma 3 sono svolte nell'ambito delle risorse umane, finanziarie e strumentali già disponibili alla legislazione vigente e comunque senza nuovi o maggiori oneri per la finanza pubblica.

Ne discende come il medico che osserva le linee guida e le buone pratiche scelte e accreditate nell'osservanza delle prescrizioni dell'art. 5 non sarà oggetto di un rimprovero per colpa anche qualora l'evento nefasto derivi da un errore applicativo della cautela.

L'assenza di una norma *ad hoc* non ci consente, come detto, di trasporre nell'ambito dei rischi naturali le stesse limitazioni di responsabilità che la legge riserva al medico. Pur tuttavia, appare innegabile la centralità delle linee guida e dei protocolli nella determinazione dei contenuti e dei limiti del rimprovero colposo. Infatti, a parere di chi scrive, una volta riconosciuta a tali documenti una natura consustanziale al rimprovero colposo sarà possibile per il giudice utilizzarli quali parametro di verifica del comportamento del soggetto.

Con maggiore sforzo esplicativo, possiamo dire che sarà possibile per il giudice - una volta riconosciuta la natura cautelare della regola osservata, specie se espressione della miglior scienza ed esperienza, anche internazionale, del momento storico - formulare un giudizio di insussistenza della responsabilità penale dell'operatore del rischio.

L'operazione ermeneutica potrebbe essere incentivata da una più pregnante applicazione nel processo penale della regola civilistica di cui all'art. 2236 c.c. : *se la prestazione implica la soluzione di problemi tecnici di speciale difficoltà, il prestatore d'opera non risponde dei danni, se non in caso di dolo o di colpa grave.*

Lo schema normativo consente di dimostrare all'operatore del rischio che l'osservanza di linee guida e protocolli attenua o elide la rimproverabilità colposa giacchè la condotta, che ha dato luogo all'evento, si è uniformata alla miglior scienza ed esperienza del momento storico.

LINEE GUIDA E PROTOCOLLI NEL CAT

Per questo motivo, proprio con riferimento alla gestione di un rischio così complesso come è quello legato agli tsunami, il CAT dell' INGV sta predisponendo i seguenti documenti (Valbonesi, 2018):

1. Mansionario contenente le procedure applicative che guidino l'operatore nella fase di invio del primo messaggio al DPC, nelle procedure di aggiornamento e chiusura dell'allerta, nonché nella gestione dei malfunzionamenti che possano occorrere durante lo svolgimento del servizio.
2. Mansionario delle procedure riservate al funzionario quale soggetto titolare della responsabilità di decisioni assunte durante l'evolversi delle fasi dell'emergenza.
3. Protocollo del CAT il quale, anche sulla scorta dei documenti elaborati dai centri allerta tsunami europei ed internazionali maggiormente accreditati, definisca le procedure operative del servizio in ogni sua declinazione, dalla gestione e continua verifica degli strumenti tecnici alla formazione del personale, dalle scelte

11 Così Cass. pen. sez. IV, 29 gennaio 2013, n. 16237, Cantore, in *DeJure.*

BOZZA

procedurali e scientifiche sottese alla gestione dell'allerta agli strumenti idonei a fronteggiare i malfunzionamenti.

4. Protocollo CAT-ISPRA attraverso il quale si regolamenta la sinergia fra i due istituti in ambito SiAM.
5. Protocollo CAT – DPC attraverso il quale si regola, in via di prima istanza, il profilo della comunicazione dell'esistenza di un terremoto potenzialmente tsunamigenico e dei messaggi relativi allo sviluppo e chiusura dell'allerta.
6. Protocollo CAT – DPC - ISPRA attraverso il quale i tre enti definiscono le procedure di interazione tecnico - scientifica e di comunicazione nel caso abbia luogo un'allerta o si verifichino malfunzionamenti.
7. Le linee guida chiamate a descrivere, anche a livello internazionale: le scelte scientifiche e procedurali maggiormente idonee ad affrontare il rischio tsunamigenico; i limiti delle cognizioni scientifiche attualmente disponibili; il dibattito internazionale sviluppatosi attorno a scelte non ancora frutto di piena condivisione; gli obiettivi della ricerca.

Affinché tali documenti redatti dal CAT possano assurgere al rango di cautele, questi dovranno essere tradotti in lingua inglese e successivamente sottoposti all'approvazione di un comitato scientifico istituto a livello nazionale. Sarà altresì necessario un processo di validazione internazionale da parte del NEAM nonché alla validazione da parte del ICG-NEAMTWS.

CONCLUSIONI

Molti sono ancora gli sforzi che debbono essere compiuti affinché alle condivise esigenze di tutela delle potenziali vittime degli eventi naturali non si associ un atteggiamento di ingiustificato rigore sanzionatorio nei confronti degli operatori del rischio.

Nel cammino verso l'equilibrio fra esigenze di sicurezza ed esigenze di progresso non può perdersi di vista la regola dettata dall'art. 27 della nostra Costituzione che pone al centro del rimprovero penale il principio di colpevolezza il quale impedisce l'ingresso a quelle forme di responsabilità oggettiva tanto care al precauzionismo dilagante.

BIBLIOGRAFIA

Bove V. (2015), *Brevi riflessioni su protocolli e linee guida: è a rischio il principio di legalità?* In: *www.penalecontemporaneo.it*

Brusco C., *La nuova legge sulla responsabilità professionale degli esercenti le professioni sanitarie*. In: *www.ilpenalista.it*, 1 marzo 2017.

Brusco C., *La colpa penale e civile*, Milano, 2017, spec. p. 233.

Caputo M., *I nuovi limiti della sanzione penale*. In: Lovo M., Nocco L. (a cura di), *La nuova responsabilità sanitaria. Le novità introdotte dalla Legge Gelli*, Milano, 2017, p. 26.

Caputo M., *La responsabilità penale dell'esercente la professione sanitaria dopo la L. n. 24 del 2017 … "quo vadit"? Primi dubbi, primi risposte, secondi dubbi*. In: *Danno e responsabilità*, 2017, p. 293.

Cornacchia L., *Il problema della c.d. causalità psichica rispetto ai condizionamenti mentali*. In: Canestrari S., Fornasari G., *Nuove esigenze di tutela nell'ambito dei reati contro la persona*, Bologna, p. 199 e ss., 2001.

De Francesco G., *In tema di dovere terapeutico, colpa medica e recenti riforme*. In: *www.lalegislazionepenale.eu*, 2 maggio 2017.

De Lia A., *La "colpa medica": dal tramonto del modello "Balduzzi" all'alba di un nuovo sistema. Brevi note su di una riforma in stile "pulp"*. In: *www.archiviopenale.it*, 27 giugno 2017.

Di Florio M., *Riflessioni sulla nuova fattispecie della responsabilità colposa in ambito sanitario (ex art. 590 sexies c.p.) come introdotta dalla legge Gelli-Bianco*. In: *www.archiviopenale.it*, 30 maggio 2017.

Gallo M., *Lineamenti di una teoria sul concorso di persone nel reato*, Milano, 1957.

Giunta F., *Intervento*. In: *Protezione civile e responsabilità nella società del rischio*, Pisa, p. 144 e ss., 2013.

Insolera G., *Problemi di struttura del concorso di persone nel reato*, Milano, 1986.

Mantovani F., *Manuale di diritto penale. Parte generale*. Padova, 2017.

Padovani T., *Le ipotesi speciali di concorso nel reato*, Milano, 1973.

Risicato L., *Il nuovo statuto penale della colpa medica: un discutibile progresso nella valutazione della responsabilità del personale sanitario*. In: *www.lalegislazionepenale.eu*, 5 giugno 2017.

Valbonesi C., *Studio delle problematiche relative alle eventuali posizioni di garanzia e ai profili di responsabilità colposa, con riferimento alle attività del Centro Allerta Tsunami dell'INGV*, in corso di pubblicazione su *Miscellanea INGV*, 2018.

IN BOZZA

Il ruolo delle assicurazioni nella prevenzione dei rischi: il caso dei terremoti

The role of insurance in risk prevention: the case of earthquake

Donatella Porrini
Professore Associato di Politica Economica
Dipartimento di Scienze dell'Economia
Università del Salento, Lecce
Email: donatella.porrini@unisalento.it

Parole chiave (*key words*): assicurazioni (*insurance*), rischi (*risk*), prevenzione (*prevention*), terremoti (*earthquake*)

1. INTRODUZIONE

I fenomeni sismici, nella loro drammaticità e gravità, da una parte provocano ingenti danni economici con la conseguente necessità di trovare le risorse finanziarie per farne fronte, dall'altra, fanno emergere l'importanza di sviluppare adeguate politiche di prevenzione.

Purtroppo va rilevato che, anche se l'Italia è un paese molto vulnerabile alle calamità naturali (non solo terremoti, ma anche frane, valanghe, inondazioni, incendi, siccità ed eruzioni vulcaniche) solo quando si verifica un grave evento si accende il dibattito sulla possibilità di prevedere un sistema nazionale che consenta di avere le risorse per coprire i danni e investire in opere che possano mitigare gli effetti di eventi futuri.

Spesso il dibattito ha riguardato l'introduzione di un sistema di coperture assicurative che, in particolare nel nostro paese, potrebbe aiutare a superare l'impronta assistenzialista che è stata seguita finora, secondo la quale vengono erogati risarcimenti da parte dello stato, finanziati in molti casi da una tassazione straordinaria, senza che ci sia a priori un criterio per la distribuzione né un ammontare di spesa massimo (Porrini, 2010).

In verità un sistema assicurativo è in grado di svolgere anche una funzione di incentivazione e, in parte, anche di finanziamento, per le opere di prevenzione. Come evidenziato dalla Commissione Europea nel *Libro Verde sull'assicurazione contro le calamità naturali e antropogeniche* (2013, p.14) "Gli assicuratori possono offrire incentivi di mercato alla prevenzione del rischio: fissando il prezzo in funzione del rischio si possono motivare i contraenti ad intervenire personalmente per rendere meno vulnerabile il proprio bene".

Dunque, nella prospettiva di prevedere a livello nazionale un sistema di copertura ex post dei costi delle calamità naturali e di trovare risorse ex ante per sviluppare un adeguato sistema di prevenzioni, sembra ormai imprescindibile prevedere un ruolo del settore assicurativo.

Le assicurazioni si presentano come uno strumento attraverso cui attuare una sorta di privatizzazione di finanziarizzazione di funzioni nel passato attribuite allo stato (Zanini *et al.* 2015), sulla scorta dell'esperienza ormai consolidata di molti paesi e delle indicazioni provenienti da autorevoli studi di settore (Swiss Re, 2017).

In questo contributo verrà proposta nel prossimo paragrafo un'analisi delle caratteristiche di un sistema assicurativo sui disastri naturali; in seguito verranno confrontati i sistemi assicurativi di Francia, Stati Uniti e Giappone; si passerà poi all'esame della situazione Italiana e verranno infine tratte delle conclusioni sugli sviluppi futuri.

2. ANALISI DELLE CARATTERISTICHE DI UN SISTEMA ASSICURATIVO PER I DISASTRI NATURALI

Occorre prima di tutto sgombrare il campo dai dubbi sull'assicurabilità dei disastri naturali. Nonostante capacità previsionali (purtroppo) molto limitate, e nel caso dei terremoti praticamente nulle, le compagnie di assicurazione sono in grado di offrire polizze, sulla base della probabilità di accadimento di un evento sismico in un determinato contesto territoriale utilizzando le serie storiche disponibili, le stesse che permettono anche di definire le zone a rischio sismico (Coviello, 2013).

Al problema dell'ingente entità dei danni, che potrebbe comportare difetti di solvibilità per le compagnie di assicurazione, si può ovviare tramite il ricorso a un pool assicurativo che preveda che ogni compagnia partecipi al danno solo in misura della sua quota di mercato in premi. E può essere previsto un massimale per i rimborsi, oltre il quale le catastrofi richiederebbero l'intervento residuale dello Stato.

A ciò si aggiunge la capacità delle compagnie, in modo analogo all'offerta di altri prodotti assicurativi, di risolvere anche i problemi derivanti dalle imperfezioni informative che caratterizzano il mercato.

In primo luogo, a causa del problema dell'informazione nascosta, si potrebbe verificare una crescente concentrazione di individui ad alto rischio nel mercato, come conseguenza della decisione di quelli a basso rischio di non acquistare l'assicurazione che risulta per loro troppo cara (c.d. *adverse selection*); in secondo luogo, a causa dell'azione nascosta, cioè dell'impossibilità degli assicuratori di osservare il comportamento degli assicurati, questi potrebbero comportarsi in modo scorretto (c.d. *moral hazard*), per esempio con l'adozione di misure di prevenzione in misura minore rispetto a quelle che sarebbero state adottate in assenza della copertura assicurativa.

Per quanto riguarda il *moral hazard*, può essere seguito un modello contrattuale che scoraggi comportamenti scorretti. Proprio nel caso di polizze a copertura di eventi sismici, da una parte, può essere prevista una copertura parziale del rischio tramite franchigie e scoperti; dall'altra possono essere inserite nel contratto assicurativo delle clausole che premino i comportamenti corretti, per esempio una scontistica per chi abbia costruito seguendo dei criteri anti-sismici oppure escludere il risarcimento in caso di false dichiarazioni o comportamenti diversi da quelli dichiarati.

Per quanto riguarda *l'adverse selection*, un'ampia diffusione delle polizze, eventualmente collegata alla previsione dell'obbligatorietà, può evitare il problema che si assicurino solamente soggetti ad alto rischio; a ciò si aggiunge che l'offerta da parte di un pool di compagnie può limitare il fenomeno del *cream skimming* e dunque che vengano selezionati da parte delle compagnie solo i clienti a più basso rischio (Buzzacchi e Turati, 2010).

Si è appena visto come un sistema assicurativo obbligatorio a copertura delle calamità naturali possa essere d'aiuto alla soluzione dei problemi di funzionamento del mercato. Ma rendere obbligatorie le polizze sulle calamità naturali comporta sia vantaggi che svantaggi.

IN BOZZA

Un primo vantaggio consiste nella distribuzione uniforme del costo dei rischi con un effetto per così dire solidaristico; a ciò si aggiunge che le tecniche assicurative consentirebbero una stima equa dei danni e dei conseguenti risarcimenti; inoltre, i danni privati verrebbero coperti da compagnie che operano con meccanismi di mercato, lasciando all'intervento pubblico le spese di primo soccorso e di ripristino dei luoghi pubblici; infine, sarebbe nell'interesse delle compagnie di assicurazione ridurre i risarcimenti futuri attraverso un'opera di monitoraggio e di incentivo all'applicazione di misure preventive idonee, con un effetto di parziale privatizzazione dei controlli.

D'altro canto l'obbligatorietà può comportare degli svantaggi, come il fatto di spingere ad attuare una scelta non consapevole senza una presa d'atto della vulnerabilità che caratterizza certe aree geografiche e certe tipologie di edifici e un conseguente scarso impegno in termini di prevenzioni; si potrebbero poi creare delle distorsioni nei meccanismi di formazione dell'offerta, attenuabili solo con onerosi controlli da parte del regolatore pubblico; infine, si diffonderebbe l'idea che il pagamento del premio sia una sorta di tassa.

Un sistema assicurativo a copertura dei disastri naturali deve quindi essere disegnato in modo tale da limitare gli effetti negativi e far fronte ai problemi informativi. E' dunque utile analizzare in questo senso l'esperienza di altri paesi.

3. I MODELLI ASSICURATIVI: UN CONFRONTO TRA DIVERSI PAESI

A livello mondiale, i paesi hanno sviluppato sistemi assicurativi per la copertura dei disastri naturali che si differenziano sia per le caratteristiche delle polizze offerte, sia per il livello di coinvolgimento dello Stato.

Di seguito, nella Tabella 1, vengono analizzati i sistemi di Francia, Giappone e Stati Uniti sulla base della definizione dei beni assicurabili, la tipologia di polizza offerta, il metodo di determinazione del premio, la presenza di franchigie e/o di massimali, la previsione dell'obbligatorietà, la governance del sistema, il ruolo dello Stato e la funzione delle compagnie assicurative, la presenza di un sistema di riassicurazione e la diffusione delle coperture assicurative.

Dall'analisi dell'esperienza dei tre paesi considerati emergono alcune caratteristiche comuni.

Prima di tutto, è prevista una copertura per i danni all'edificio insieme al suo contenuto e tale copertura è accessoria a un'altra polizza (la polizza a copertura degli incendi oppure la generica polizza "casa").

In secondo luogo, in tutti i paesi il premio viene determinato sulla base del livello di rischiosità, differenziando le aree del paese a seconda della loro vulnerabilità sismica, a ciò si aggiunge la previsione di rilevanti franchigie. In terzo luogo, nessuno dei tre paesi prevede un'obbligatorietà della polizza a copertura dei terremoti, anche se in Francia ne è imposta la vendita insieme a quella a copertura degli incendi. Infine, tutti e tre i sistemi assicurativi si basano su un partenariato pubblico-privato, nel quale lo stato svolge in alcuni casi le funzioni di regolatore e in altre di riassicuratore (Paudel, 2012).

Tabella 1 – Confronto tra i sistemi assicurativi di Francia, Stati Uniti e Giappone

	FRANCIA	STATI UNITI	GIAPPONE
Beni assicurabili	Immobili e contenuto, locali commerciali/ industriali	Assicurato anche il contenuto per le coperture alluvione	Fabbricati residenziali e contenuto
Tipologia di polizza	Obbligatoriamente accessoria alla polizza incendio	Specifiche polizze previste per i rischi sismici, offerte sia come estensione della polizza sulla casa sia come polizza separata.	Garanzia non obbligatoria accessoria alla polizza incendio
Determinazione del premio	In % del premio base, con tariffa unica senza specifiche classi di rischio	Rischio sismico: tariffe *risk based* libere. Premi elevati per il rischio sismico	Tariffe *risk-based*. Sconti su tariffa base incentivano messa in sicurezza degli edifici
Franchigie/Massimali	Bassi livelli iniziali, aumentabili per: 1) rischi frequenti 2) incentivi a investimenti delle amministrazioni locali nelle opere di prevenzione	Previste franchigie per rischio sismico	Limite al capitale assicurabile: 30-50% di quello assicurato con la garanzia incendio, fino a un massimale di 435 mila euro per l'immobile
Livello di obbligatorietà del sistema	Sistema non obbligatorio, ma assicurazione collegata obbligatoriamente a copertura-base contro gli incendi molto diffusa	Terremoto: copertura non obbligatoria	Sistema non obbligatorio. Assicurazione collegata a copertura-base (contro incendi), molto diffusa
Governance del sistema e ruolo dello Stato	Forte ruolo regolatore dello Stato, garanzia statale illimitata per il riassicuratore	Terremoto: Partenariato in California Fondo CEA che gode di benefici fiscali e concede polizze agevolate	Forte ruolo dello Stato, che riassicura una parte del portafoglio premi, gestiti in un fondo separato per i risarcimenti a carico dello Stato. Deduzioni fiscali incentivanti
Ruolo delle compagnie	Offerta delle coperture, gestione dei risarcimenti, costituzione di riserve dedicate in bilancio	Offerta polizze in collaborazione con le varie forme di partenariato, ove previste	Offerta delle coperture, gestione dei risarcimenti, costituzione di riserve dedicate in bilancio
Riassicurazione	Previsto un riassicuratore garantito dallo Stato, con libertà di operare per altri soggetti	Libero mercato della riassicurazione, emessi anche *cat bonds* dal fondo CEA	Tutto il portafoglio è riassicurato presso un unico riassicuratore monopolista (JER). In caso di sisma, lo Stato paga i danni superiori a un dato ammontare
Diffusione delle coperture assicurative	La quasi totalità degli edifici sono assicurati	Rischi sismici: 900 mila polizze in California vendute dalla CEA	Attive nel 2015 16 milioni di polizze (2,1 miliardi di euro di premi nello stesso anno). 30% delle abitazioni giapponesi sono assicurate. Mercato in crescita

Fonte: Elaborazione propria sulla base di dati IVASS (2017, p. 148 e ss.)

Per quanto riguarda poi la diffusione delle polizze, il caso della Francia e quello del Giappone costituiscono un esempio di sistemi nei quali i contratti assicurativi a copertura di eventi sismici sono molto diffusi e costituiscono una rilevante fonte economica per i risarcimenti nel caso di accadimento di un terremoto. Il confronto con l'esperienza di questi paesi è dunque utile per il nostro paese, che risulta molto vulnerabile al rischio sismico, ma nel quale, come verrà analizzato nel prossimo paragrafo, tale tipo di polizze sono invece poco diffuse.

4. LA SITUAZIONE IN ITALIA

In questo contesto, l'Italia si distingue per una gestione dei danni da calamità naturali affidata tradizionalmente all'intervento statale, per quanto riguarda la fase di ricostruzione ex post, e una corrispondente scarsissima diffusione delle coperture assicurative per tali eventi.

Eppure il sistema italiano non è difforme da quelli degli altri paesi appena analizzati, in quanto le polizze offerte nel mercato assicurativo italiano risultano essere polizze a copertura degli edifici, accessorie rispetto a quelle a copertura degli incendi, differenziate a seconda della rischiosità, dell'ampiezza dell'immobile e dell'eventuale adozione di accorgimenti che limitino i danni, per esempio nel caso di costruzioni antisismiche (Gizzi *et al.*, 2016).

4.1 L'esperienza nazionale nel passato

Il nostro Paese purtroppo ha una lunga storia legata agli eventi sismici, come riportato nella Tabella 2, la quale riepiloga gli eventi più rilevanti in termini di perdite economiche e assicurative registrati in Italia negli ultimi 50 anni.

Già nel 1995 la Commissione tecnica per la spesa pubblica raccomandava che venisse sviluppato un sistema di copertura assicurativa. Poi la Finanziaria per il 2005, varata dall'allora ministro Domenico Siniscalco, aveva previsto una sorta di Rc casa per riparare i danni provocati da calamità naturali: in pratica, all'assicurazione contro l'incendio dell'abitazione avrebbe dovuto essere abbinata anche un'assicurazione contro terremoti, maremoti, frane, alluvioni e fenomeni vulcanici. Entrambe le proposte prevedevano un sistema su base sostanzialmente volontaria.

Nel corso degli anni, visto il mancato sviluppo del mercato privato, si è incominciato a parlare dell'introduzione di un sistema assicurativo di tipo obbligatorio. A questo proposito si sono levate molte critiche per il fatto che in questo modo verrebbe affidato il compito di gestire questo business proprio alle assicurazioni e sarebbe allora necessaria una corretta definizione della cornice regolamentare e del sistema di vigilanza per garantire un'offerta di polizze con caratteristiche tali da seguire criteri di equità (Baglioni e Grillo, 2009).

Dunque, da anni in Italia si discute dell'introduzione di un sistema obbligatorio di polizze a copertura dei terremoti. Proprio pochi giorni prima del terremoto in Emilia Romagna, nel maggio 2012, il governo Monti introdusse l'obbligo delle assicurazioni per gli edifici privati nella bozza del decreto legislativo 59 (la riforma della Protezione civile) convertito dalla legge 100 del 12 luglio 2012. Nessuna traccia della previsione, però, rimase nel testo definitivo della norma durante l'esame parlamentare. Ed anche sul fronte delle assicurazioni volontarie ci furono degli intoppi, in quanto nello stesso testo erano stati previsti alcuni criteri direttivi che dovevano far parte di un regolamento sulle coperture assicurative volontarie, ma il decreto attuativo che avrebbe dovuto contenere il regolamento non fu mai emanato. Quel provvedimento puntava a escludere, o anche ridimensionare, l'intervento statale e a introdurre incentivi fiscali, anche attraverso regimi agevolati per l'imposta sul premio di assicurazione.

Passati due anni, dopo le alluvioni che nel novembre del 2014 hanno colpito la Liguria e il Nord Italia, la questione è tornata d'attualità e Graziano Delrio, allora sottosegretario alla Presidenza del Consiglio, annunciò che si stava valutando di nuovo la possibilità di introdurre l'assicurazione obbligatoria, sia per soggetti pubblici sia per quelli privati. Per evitare che il costo della stipula dell'assicurazione volontaria gravasse interamente sui sottoscrittori e incentivarne dunque la diffusione, si discusse anche dell'ipotesi di scaricare il costo (totale o parziale) della polizza dalla dichiarazione dei redditi. Ma anche in questo caso non si arrivò a nessuna decisione operativa.

4.2 La situazione attuale

A seguito del drammatico evento sismico del Centro Italia dell'estate 2016 e della quasi totale distruzione delle cittadine di Amatrice, Accumuli e Arquata del Tronto, è ripreso il dibattito sul tema dell'opportunità di sviluppare un sistema di incentivi alla prevenzione nel quale possano essere previste anche forme di copertura assicurativa.

Il 15 settembre 2016 nell'audizione parlamentare del Ministro Graziano Delrio sul terremoto è stato annunciato il rafforzamento del sistema di "Incentivo fiscale antisismico".

Successivamente la legge di bilancio 2017 ha previsto il "sisma bonus" per includere tra le spese per gli interventi edilizi che danno la possibilità di detrazione Irpef anche quelle finalizzate all'adozione di misure antisismiche, potenziando il sistema di detrazioni che era già stato previsto nel Testo unico per le imposte sui redditi (articolo 16, comma 1, lettera i). La novità consiste nella previsione di un aumento della percentuale di detrazio-

BOZZA

Tabella 2 – Perdite economiche e coperture assicurative in Italia negli ultimi 50 anni in Italia

Anno	Regione	Danni economici (milioni di euro)	Danni assicurativi (milioni di euro)
1976	Friuli (2 eventi)	16.000	4
1980	Irpinia	25.000	86
1997	Umbria	2.500	130
2002	Molise	1.000	6
2009	L'Aquila	2.700	38
2012	Emilia	12.700	1.250
2016	Centro Italia	5.700	200

Fonte: Ania (2017, p. 231)

Come si può vedere, la quota di danni assicurati è sempre stata estremamente bassa e ciò ha dato origine ad un dibattito circa la possibilità di attribuire un ruolo alle compa-

ne qualora, in virtù delle misure antisismiche adottate, si ottenga una riduzione del rischio sismico. E' stato perciò proposto un nuovo sistema di classificazione delle abitazioni che non si basa solamente sulle caratteristiche di sismicità della zona dove è stato costruito l'immobile, ma anche sulla tipologia dell'abitazione.

dio individuali, quasi il 15% a polizze globale fabbricati, mentre lo 0,4% è relativo a polizze che coprono unicamente il rischio terremoto, senza la copertura del rischio incendio.

Nella Tabella 3 viene indicata la suddivisione tra le diverse tipologie di polizze in percentuale, indicando anche l'ammontare e la percentuale dei valori assicurati

Sud e Isole. Si può, inoltre, notare come le polizze incendio siano meno diffuse proprio dove sono più forti i rischi sismici.

I dati analizzati mostrano, dunque, una scarsa diffusione delle polizze a copertura di eventi sismici; a ciò si aggiunge che i livelli più bassi di diffusione corrispondono a quelli più alti di vulnerabilità.

Tabella 3 – Numero e caratteristiche delle polizze attive - Settembre 2016

Tipo di polizza	Numero polizze	Distr. % numero polizze	Valori assicurati (mln di euro)	Distr. % valori assicurati
Multirischio	4.267.070	52,3	954.959	30,4
Incendio (polizza individuale)	2.618.233	32,1	527.989	16,8
Globale fabbricati	1.200.603	14,7	1.640.177	52,2
Solo rischio terremoto	36.733	0,4	12.970	0,4
Non codificato	41.913	0,5	5.528	0,2
Totale	**8.164.552**	**100,0**	**3.141.624**	**100,0**

Fonte: Ania (2017, p. 231)

Lo sforzo di incentivare l'adozione di misure di prevenzione va di pari passo con quello di cercare di aumentare la diffusione delle polizze assicurative a copertura degli eventi sismici. Infatti, la presidente dell'Ania, Maria Bianca Farina, nel corso di un'audizione alla Camera sulla legge di Bilancio nel novembre 2016, ha affermato "Riteniamo che fin da subito possano essere previste coperture assicurative per gli immobili ricostruiti e per quelli messi in sicurezza nell'ambito del piano Casa Italia".

Di recente sono stati pubblicati i dati relativi ad un'indagine avviata a fine 2016 dall'IVASS per valutare la diffusione delle polizze a copertura delle calamità naturali in Italia. A questo fine è stato richiesto alle imprese di assicurazione di trasmettere il dato relativo alle coperture delle polizze incendio e/o terremoto attive al 30 settembre 2016 per i rischi localizzati nel territorio italiano. I rischi sono riferiti soltanto ad abitazioni o fabbricati a uso abitativo e a eventuali unità commerciali ancillari. Hanno aderito alla richiesta 49 imprese rappresentative di una quota di mercato di circa il 94% dei premi dell'esercizio 2016 del ramo incendio. Si evidenzia che l'ANIA ha poi utilizzato anche altri dati di fonte pubblica (in particolare il Censimento 2011 delle abitazioni di ISTAT) per arrivare a una stima ragionevole della diffusione di tale tipo di polizze.

Secondo questa indagine, a settembre 2016 il numero di polizze attive (relative al campione di imprese partecipanti) era pari a 8,2 milioni per un valore complessivo di somme assicurate pari a circa 3,142 miliardi di euro di queste polizze oltre il 52% è relativo a polizze multirischio, il 32% a polizze incen-

Dai dati riportati nella Tabella, in particolare dalla distribuzione percentuale delle somme assicurate, risulta che circa la metà del patrimonio abitativo assicurato è relativo a polizze globale fabbricati (che sono le più rilevanti in termini di valore), il 30% a polizze multirischio e solo il 17% a polizze incendio individuali.

Un altro aspetto interessante è quello relativo alla distribuzione geografica delle polizze e al rapporto tra la diffusione delle polizze e la vulnerabilità delle aree del nostro paese, che viene evidenziato nel Grafico 1.

Risulta evidente la presenza di forti divari geografici nella diffusione delle polizze, che interessano oltre il 40% delle abitazioni del Centro-Nord, ma soltanto il 15% di quelle del

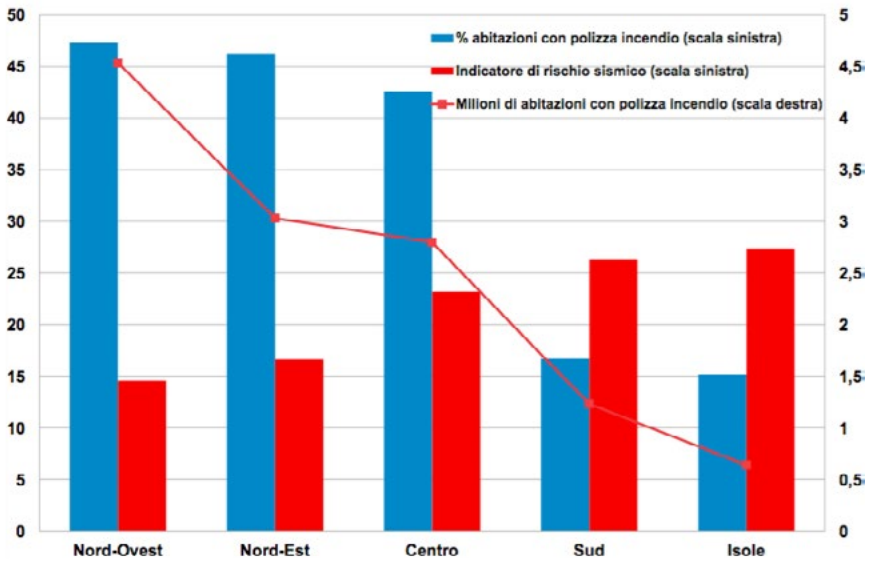
Può essere utile analizzare le cause di questa scarsa diffusione per poter prevedere interventi che incidano su questa situazione a livello nazionale.

5. LE CAUSE DELLA SCARSA DIFFUSIONE DELLE POLIZZE IN ITALIA

La scarsa diffusione delle polizze a copertura delle calamità naturali, specie nelle zone ad alto rischio, può essere attribuita a diverse cause e costituisce un tema di ricerca fin dagli anni '70.

Kunreuther (1978), relativamente all'acquisto di polizze assicurative a copertura di inondazioni e terremoti in California, ha dimostrato che le persone in aree caratterizzate

Grafico 1 – Diffusione delle polizze incendio per le unità abitative – Milioni di unità abitative e valori percentuali (Fonte: IVASS (2017, p. 156)



UFFICIALE

da un alto livello di vulnerabilità spesso non conoscono il rischio a cui sono esposte e proprio per questo decidono di non acquistare l'assicurazione anche in presenza di sussidi.

Al problema che le persone spesso non conoscono i rischi a cui sono sottoposte, si aggiunge un'altra motivazione collegata alla comprensione delle informazioni disponibili sulla probabilità di accadimento delle catastrofi. Slovic *et al*. (2000) hanno dimostrato che l'acquisto di una polizza si basa tradizionalmente sull'assegnazione di una certa probabilità al verificarsi di eventi naturali, ma il giudizio sulla probabilità è spesso influenzato dalla conoscenza di casi concreti e recenti in cui si sono verificati tali eventi e il fatto di basarsi sulla percezione del verificarsi dell'evento porta ad errori sistematici sull'assegnazione della probabilità.

Altri fattori determinano la conoscenza di un particolare rischio, primo fra tutti il modo in cui l'evento è presentato dai media, da gruppi di interesse organizzati e dai politici: dunque, se un particolare rischio si è materializzato di recente ed è stato pubblicizzato in modo esteso, le persone sono spinte a credere in una più alta probabilità di accadimento nel futuro.

Esistono altre ragioni della erronea percezione della probabilità dei rischi: in particolare, secondo la prospect theory di Kahneman e Tversky (1979), la scelta di assicurarsi dipenderebbe anche da aspetti emotivi e psicologici. Nel caso considerato, se la polizza assicurativa che copre gli incendi ma non i terremoti viene presentata come una polizza a copertura completa contro lo specifico rischio di incendio oppure come una polizza limitata rispetto al rischio globale di danni alla proprietà, la prospect theory prevede che la polizza apparirà molto più attraente nella prima formulazione, nella quale si offre una protezione incondizionata contro un ristretto gruppo di eventi. I due autori ne derivano che le basse probabilità generalmente sono sottovalutate e le alte sopravalutate per cui si può parlare di una "soglia di probabilità", al di sotto della quale le vittime potenziali ignorano gli eventi perchè non li considerano una minaccia.

Un altro elemento importante è il livello di percezione della vulnerabilità su cui si basa la scelta di acquistare una copertura per i terremoti. Le vittime potenziali non sentono la necessità di una copertura perchè considerano il rischio troppo basso per preoccuparsi delle conseguenze, seguendo il principio del "non capiterà a me" (*it will not happen to me attitude*).

Questo è particolarmente evidente in tutti i casi di eventi caratterizzati da bassa probabilità ma rilevanti conseguenze, come per i disastri naturali (Slovic, 2001).

Un'ulteriore motivazione per spiegare la scarsa domanda di polizze sulle calamità naturali è il fatto che è previsto in ogni caso un sistema di aiuti economici dopo il disastro. Infatti, se le vittime possono sempre contare su un risarcimento pubblico ex post, ciò riduce l'incentivo ad acquistare la copertura assicurativa. Si tratta del il c.d. *charity hazard*, una sorta di *moral hazard* individuale, che esprime la tendenza degli individui a non assicurarsi contro i disastri naturali nella convinzione che aiuti o programmi di emergenza saranno resi disponibili dalla società o dallo Stato (Raschky e Weck-Hannemann, 20017).

Infatti, l'analisi comparata tra i diversi sistemi di risarcimento nei paesi europei dimostra che nei paesi dove i risarcimenti pubblici sono generosi e automatici (per esempio, in Italia e in Germania) la penetrazione delle coperture assicurative è molto più bassa, mentre in paesi, come il Regno Unito, dove non c'è praticamente risarcimento pubblico la penetrazione è molto più alta (Porrini e Schwarze, 2014).

Dunque, proprio nel nostro paese si può rilevare una scarsa conoscenza dei rischi ai quali siamo soggetti, che porta a sottovalutare il valore economico delle prevenzioni, sebbene ci sia una predisposizione a eventi di natura non solo sismica ma anche idrogeologica e vulcanica. È quindi auspicabile che si avviino iniziative per informare i privati cittadini e i (pubblici) decisori sui dati circa le caratteristiche degli edifici e del territorio nazionale in modo tale che da ciò possa derivarne una maggiore disponibilità alla diffusione delle polizze a copertura delle calamità naturali.

CONCLUSIONI

Da quanto analizzato in questo contributo, il problema principale rimane come incentivare l'adozione di misure preventive. Nel caso delle polizze a copertura dei danni da disastri naturali, per effettuare un'offerta differenziata, le compagnie di assicurazione calcolano il profilo di rischio degli edifici da assicurare considerando anche le misure preventive adottate. Dunque, sono in grado di mettere in atto una forma di incentivazione di tipo contrattuale (assicuro un immobile solo se è a norma e prevedo degli sconti in presenza di determinate misure preventive), alla quale si aggiunge un'azione di monitoraggio (le misure preventive devono essere mantenute nel tempo a pena di esclusione dai risarcimenti).

E', dunque, nell'interesse delle compagnie di assicurazione ridurre i risarcimenti futuri attraverso un'opera di monitoraggio e di incentivo all'applicazione di misure preventive idonee con un effetto di parziale privatizzazione dei controlli. Ciò, infine, determinerebbe il passaggio da un regime di provvidenze generiche, distribuite a pioggia su aree anche interessate solo marginalmente da eventi catastrofali, gestite localmente e con criteri difformi, ad un regime di tipo assicurativo caratterizzato da una valutazione puntuale ed oggettiva dei danni subiti, con un servizio organizzato di accertamento dell'entità dei sinistri e di risarcimento.

BIBLIOGRAFIA

ANIA (2017), *L'assicurazione Italiana 2016-2017*, Rapporto Annuale.

Baglioni A., Grillo M. (2009), *Calamità naturali e assicurazione: elementi di analisi per una riforma*, IEF0089 – September.

Buzzacchi L., Turati G. (2010), *Rischi catastrofali e intervento pubblico*. Consumatori, Diritti e Mercato, numero 2/2010, pp. 111-122.

Commissione Europea (2013), *LIBRO VERDE sull'assicurazione contro le calamità naturali e antropogeniche*, Strasburgo, 16.4.2013 COM(2013) 213 final.

Coviello, A. (2013), *Calamità naturali e coperture assicurative. Il risk management nel governo dei rischi catastrofali*, Sigea, Dario Flaccovio Editore.

Gizzi F. T., Potenza M. R., Zotta, C. (2016), *The insurance market of natural hazards for residential properties in Italy*, Open Journal of Earthquake Research, 5, pp. 35-61.

IVASS (2017), *Relazione sull'attività svolta dall'Istituto nell'anno 2016*, Roma, 23 giugno.

Kahneman, D. e Tversky, A. (1979), Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk, in Econometrica, vol. 47 (2), pp. 263-292.

Kunreuther H. (1978), *Disaster Insurance Protection: Public Policy Lessons*, New York, John Wiley & Sons Inc.

Paudel Y. (2012), A Comparative Study of Public-Private Catastrophe Insurance Systems: Lessons from Current Practices, Geneva Papers on Risk & Insurance, 37, pp. 257-285.

Porrini D. (2010), *L'assicurazione sui disastri naturali: motivi della scarsa diffusione e soluzioni di politica economica*, Politica Economica, n.1, aprile, pp. 123-145.

Porrini D., Schwarze, R. (2014), *Insurance models and European climate change policies: An assessment*, European Journal of Law and Economics, 38(1), pp. 7-28.

Raschky P. A., Weck-Hannemann H. (2007), *Charity hazard—A real hazard to natural disaster insurance?*, Environmental Hazards, Volume 7, Issue 4, 2007, pp. 321-329

Slovic P., Monahan J., Mac Gregor D. G. (2000), *Violence Risk Assessment and Risk Communication: the Effects of Using Actual Cases, Providing Instructions, and Employing Probability vs. Frequency Formats*, Law and Human Behavior, vol. 24 (3), pp. 271-296.

Slovic, P. (2001), *The Perception of Risk*, London, Earthscan Pub.

Swiss Re (2017), *Natural Catastrophes and Man-made Disasters in 2016: a Year of Widespread Damages*. Sigma, 2.

Zanini M.A., Hofer L., Pellegrino C. (2015), *Le polizze assicurative come strumento finanziario per il trasferimento del rischio sismico: stato dell'arte*, Conference Paper, Andis, L'Aquila.

IN BOZZA

Strumenti didattici per l'analisi dei fenomeni sismici

Educational tools for the analysis of seismic phenomena

Francesca Cifelli
Dipartimento di Scienze, Università degli Studi di Roma TRE
E-mail: francesca.cifelli@uniroma3.it

Parole chiave (*key words*): Terremoto (*Earthquake*), rischio sismico (*seismic risk*), prevenzione (*seismic prevention*), laboratori didattici (*didactic laboratories*)

INTRODUZIONE

Nella sua lunga storia, il territorio italiano è stato profondamente influenzato da numerose vicende culturali, storiche, politiche e sociali che hanno dato origine ad un paesaggio testimone di un profondo legame tra uomo e natura. Tuttavia, nella sua visione troppo spesso antropocentrica l'uomo mostra una particolare attitudine a considerarsi "altro dalla natura" spesso dimenticando che ne fa parte e che è in grado di influenzare, come tanti altri fattori ambientali, le modalità con cui un fenomeno naturale si manifesta e i suoi effetti, a volte anche accentuandone la gravità.

I gravissimi problemi di rischio sismico, di rischio vulcanico o di dissesto idrogeologico che affliggono atavicamente il nostro paese sono emblematici dell'incapacità dell'uomo di mettere in atto in modo sistemico una pianificazione territoriale ed urbanistica, unica soluzione efficace per la prevenzione dalle catastrofi. In Italia, si possono elencare numerosi disastri naturali che si sarebbero potuti evitare se l'uomo avesse prestato maggiore attenzione alla 'lettura consapevole' del territorio.

Ciò che rende il popolo italiano meno capace di altri di tutelarsi rispetto ai danni prodotti dai fenomeni naturali è una carenza culturale. Questa si manifesta ogni qual volta pensiamo al bene immediato (sfruttando senza criterio le risorse naturali e il territorio) invece di progettare e pianificare a lungo termine le nostre attività e la nostra interazione con l'ambiente che ci circonda. Quest'ultimo aspetto è di fondamentale importanza, perché spesso i fenomeni naturali, soprattutto quelli di maggiore intensità, come per esempio i terremoti, si manifestano con tempi di ricorrenza piuttosto lunghi, certamente più lunghi della vita di ogni singolo individuo. Per comprendere l'importanza di quanto detto, ricordiamo brevemente come si definisce il rischio naturale. Esso è il prodotto di tre fattori: la pericolosità, la vulnerabilità e il valore esposto. La "*pericolosità*" definisce la probabilità che in un'area si verifichi, in un certo intervallo di tempo, un evento naturale di una certa intensità. Nella definizione di rischio è molto importante anche la densità antropica di un'area. Un evento naturale può colpire aree completamente disabitate oppure aree a elevata densità abitativa ed infrastrutturale. La '*vulnerabilità*' indica la propensione a subire un danneggiamento da parte di cose e persone nel caso si verifichi un evento naturale. La vulnerabilità è tanto più alta quanto più gli edifici e le infrastrutture sono costruire in modo inadeguato ad affrontare il potenziale verificarsi di un evento atteso per quell'area. Infine, i danni (in termini di perdita di vite umane, di danneggiamento di beni economici e patrimonio culturale) vengono quantificati dal '*valore esposto*'.

L'Italia, come è noto, è ubicata in una regione della Terra dove la dinamica del pianeta si manifesta attraverso una enorme varietà di fenomeni (geodiversità) come terremoti, eruzioni vulcaniche e frane su un territorio poco vasto ma densamente popolato. Attraverso lo studio dei fenomeni naturali, gli scienziati possono definire qual è la probabilità che un'area sia interessata da un certo fenomeno naturale e quindi ne definiscono la *pericolosità*. Poiché i fenomeni naturali non possono essere evitati, l'unica strada possibile è intervenire per mitigarne gli effetti.

LA PERCEZIONE DEL RISCHIO SISMICO IN ITALIA

Il terremoto che si è verificato il 21 agosto del 2017 ad Ischia può essere utilizzato come esempio emblematico per comprendere la diffusa carenza culturale rispetto alla consapevolezza del rischio sismico che contraddistingue gli italiani. Un terremoto che ha rilasciato un'energia di modesta entità (M = 4.0) ha provocato 2 morti, 40 feriti e ingenti danni ad alcuni fabbricati. Il numero di morti, stante l'entità dei danni, avrebbe potuto essere più elevato, se non fosse stato per l'instancabile e impagabile lavoro delle squadre di soccorso e dei volontari, a testimonianza del forte senso di solidarietà e della generosità del popolo italiano. Tra le ragioni di tante conseguenze per un evento così piccolo, oltre alla superficialità crostale dell'ipocentro, c'è la scarsa resistenza degli edifici (quindi l'elevata vulnerabilità), anche in relazione alle caratteristiche dei terreni sui quali questi sono stati costruiti (che verosimilmente hanno amplificato lo scuotimento sismico). La vulnerabilità è il fattore del rischio sismico che ad Ischia, come in altre aree italiane colpite nel tempo da terremoti, pesa moltissimo ed è il principale responsabile di morte e distruzione. Sono anni che si parla di edilizia fuori controllo, di abusivismo e di condoni a pioggia che hanno contribuito a rendere il nostro patrimonio edilizio ancora più fragile e quindi più soggetto a subire danni in caso di eventi naturali. La storia sismica di Ischia, come del resto quella di tutta Italia, è nota dai cataloghi storici e dallo studio della sismicità recente. Seppure quella di Ischia sia una sismicità 'rara' (o meglio, poco frequente), questo non significa che, in caso di terremoto i danni attesi debbano necessariamente essere lievi. Il terremoto di magnitudo stimata 5.0 (ovvero con un energia rilasciata circa 30 volte superiore a quella dell'evento del 21 agosto 2017) che nel 1883 aveva già distrutto Casamicciola, e il detto popolare 'qui succede Casamicciola', diventato famoso anche fuori dall'isola, avrebbero dovuto insegnare ai cittadini e a chi è preposto alla pianificazione territoriale di quell'area che, anche se raramente, i terremoti si verificano e possono causare la morte delle persone (2313 vittime nel 1883) e ingenti danni.

Se il significato di pericolosità, vulnerabilità e valore esposto fosse profondamente radicato nella nostra cultura, leggere sui quotidiani che la casa crollata era in attesa di condono dovrebbe destare indignazione. Il condono in sé implica che la casa in oggetto sia stata costruita in modo abusivo, quindi violando le norme costruttive previste per quell'area; un condono, quindi, non rende affatto una casa più sicura. Piuttosto che concedere condoni, le istituzioni dello Stato dovrebbero impegnarsi concretamente per permettere di costruire solo in modo idoneo. Infine, ma non da ultimo, se ogni singolo cittadino fosse individualmente consapevole e dunque sensibile ai rischi che corre, si

BOZZA

preoccuperebbe di verificare la solidità della propria abitazione.

IL RUOLO DELLA SCUOLA

Terremoti come quello di Ischia, che in altri paesi dove la prevenzione è un concetto profondamente radicato nella vita culturale, sociale e politica dei cittadini farebbero "il solletico" ai fabbricati, in Italia continuano a mietere vittime e a distruggere il patrimonio culturale e storico delle aree colpite. Questo ci insegna che l'unica via percorribile sia educare nuove generazioni alla consapevolezza del rischio. Non è facilmente immaginabile di poter "mettere in sicurezza" l'intero paese ma è necessario aumentare la consapevolezza di tutta la popolazione, soprattutto quella dell'età scolare, che è preferibile e più conveniente intervenire prima piuttosto che dopo, cioè prevenire piuttosto che intervenire in emergenza, evitando in ogni caso di costruire in zone pericolose.

La scuola rappresenta il fulcro della formazione dei giovani che in età adulta occuperanno diverse posizioni, tra cui anche quelle di responsabilità nella società. La scuola deve assumere un ruolo fondamentale in questa educazione alla consapevolezza del territorio e alla prevenzione, partendo dalla sensibilizzazione alle realtà territoriali locali al fine di trasformare i giovani in parte di quella cittadinanza consapevole che opera per il bene della comunità attraverso una tutela attiva del territorio.

L'IMPORTANZA DEI LABORATORI DIDATTICI ED ESEMPI DI ESPERIENZE LABORATORIALI

'Se ascolto, dimentico. Se vedo, ricordo. Se faccio, capisco' diceva Confucio più di duemila anni fa. Le attività di laboratorio didattico hanno un ruolo chiave nell'apprendimento. Nelle Indicazioni Nazionali del MIUR per le scuole secondarie di secondo grado, il laboratorio è considerato '*uno dei momenti più significativi in cui la dimensione speri-*

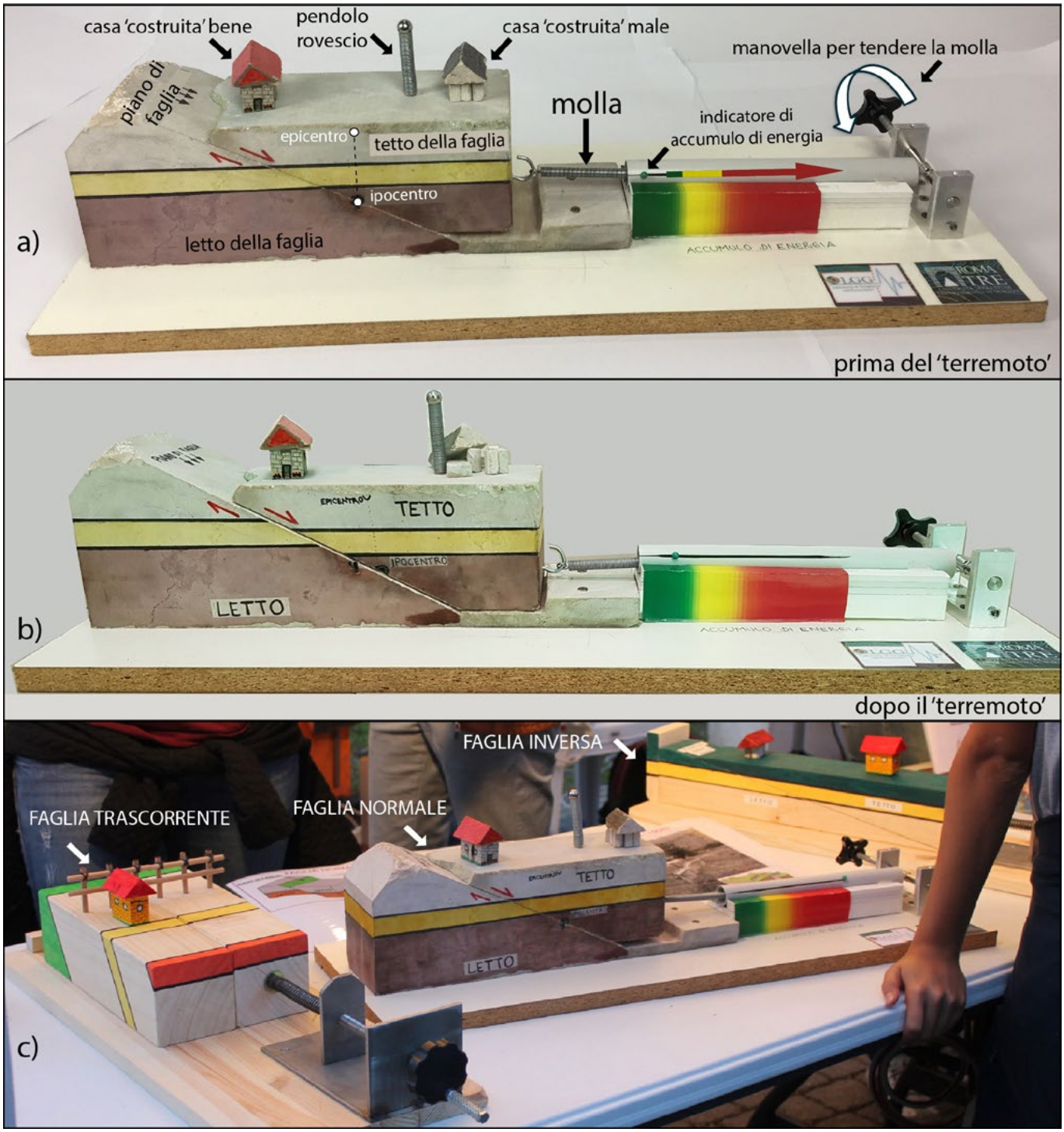


Figura 1 – Modelli meccanici di faglie. a) e b) Faglia normale prima e dopo 'il terremoto'; c) modelli dei tre tipi faglie (normale, trascorrente e inversa) esposti durante una manifestazione di diffusione della cultura scientifica

mentale si esprime, in quanto circostanza privilegiata del "fare scienza" attraverso l'organizzazione e l'esecuzione sistematica di attività sperimentali, che possono svolgersi anche sul campo, in cui in ogni caso gli studenti siano direttamente e attivamente impegnati'.

Per le Scienze della Terra, i laboratori rappresentano un fondamentale strumento di trasmissione delle conoscenze scientifiche, poiché le attività pratiche permettono la 'visualizzazione' dei fenomeni naturali senza dover ricorrere all'astrazione. Le attività laboratoriali permettono di conoscere i fenomeni naturali, comprenderne i meccanismi e acquisire la consapevolezza che alcuni fenomeni naturali, come terremoti ed eruzioni vulcaniche, sono inevitabili ma si può lavorare per minimizzare i danni e non trasformare ogni volta un evento naturale in un disastro. Per esempio, le esperienze laboratoriali sui fenomeni sismici permettono di stimolare gli studenti (i cittadini di domani) alla conoscenza del fenomeno naturale 'terremoto'; inoltre, tendono a sensibilizzarli alle conseguenze che un terremoto può avere in relazione alla tipologia dei terreni sui quali si costruisce e alla tipologia di costruzioni edificate nelle zone colpite da un terremoto. Quindi, attraverso la realizzazione di alcune esperienze pratiche, gli studenti vengono stimolati a conoscere maggiormente il territorio nel quale vivono, acquisendo una maggiore consapevolezza del rischio sismico e del significato profondo della parola prevenzione.

Uno dei vantaggi delle attività che riproducono alla scala di laboratorio i fenomeni naturali, è che sono esperienze facilmente riproducibili nelle aule scolastiche o presso strutture analoghe e quindi non servono laboratori attrezzati per l'allestimento di tali esperienze. Questo tipo di laboratorio **è definito 'povero' perché è realizzabile con materiali semplici, di facile reperibilità** e non richiede strumentazioni sofisticate.

Di seguito si riportano alcuni esempi di esperienze laboratoriali che possono essere utilizzate come strumenti didattici per familiarizzare con i fenomeni sismici.

Come si originano i terremoti?

Un modello di faglia è uno strumento didattico molto efficace che permette di comprendere, in modo semplice, come si originano i terremoti. In *Fig.* 1 è riportato un modello meccanico di una faglia normale (estensionale) attiva. Nel modello, gli sforzi in atto all'interno della Terra sono riprodotti dalla manopola che viene fatta ruotare durante la realizzazione dell'esperienza. Questi sforzi provocano la deformazione elastica dei corpi rocciosi; tale deformazione nel modello è rappresentata dalla molla. Durante la rotazione della manopola, c'è il tempo per illustrare la geometria di una faglia, il comportamento elastico delle rocce attraverso la molla che si estende gradualmente man mano che il filo collegato alla manopola viene tirato. Durante questa fase dell'esperienza (deformazione elastica delle rocce), si può far notare che, anche se le rocce stanno accumulando energia potenziale, in superficie non si hanno evidenze di tale deformazione. Se tali sforzi superano il limite di rottura (il filo è tirato fino a superare l'attrito che esiste tra il blocco di letto e il blocco di tetto della faglia), le rocce si fratturano e si genera (o si riattiva nel caso del modello) una faglia. In questa fase di rapida e brusca liberazione di energia (che spesso produce sorpresa e sobbalzi da parte degli 'spettatori') è possibile visualizzare cosa succede quando avviene un terremoto. Una volta che si è verificato il terremoto, si può osservare la nuova condizione di equilibrio al quale il sistema faglia è tornato. Con l'esperienza illustrata nel paragrafo successivo, si introduce invece al concetto di ciclo sismico.

Perché i terremoti non si possono prevedere?

Una delle domande che più spesso vengono poste ai sismologi è 'perché i terremoti non si possono prevedere?'. La risposta per gli scienziati è ovvia ma il fatto che ancora oggi venga fatta con insistenza ogni volta che il Paese si trovi in emergenza sismica, fa capire quanto nel nostro Paese manchi un'appropriata cultura scientifica. Per illustrare in modo semplice ma efficace perché i terremoti non sono prevedibili si può utilizzare un'esperienza di laboratorio che permette anche di capire anche come funziona il ciclo sismico (*Fig.* 3). Il modello rappresenta la sezione di una faglia attiva, quindi l'analogo del continuo e incessante movimento delle placche litosferiche. La carta vetrata rappresenta il contatto tra i due lati della faglia (ovviamente questa è una semplificazione perché sono rare

BOZZA

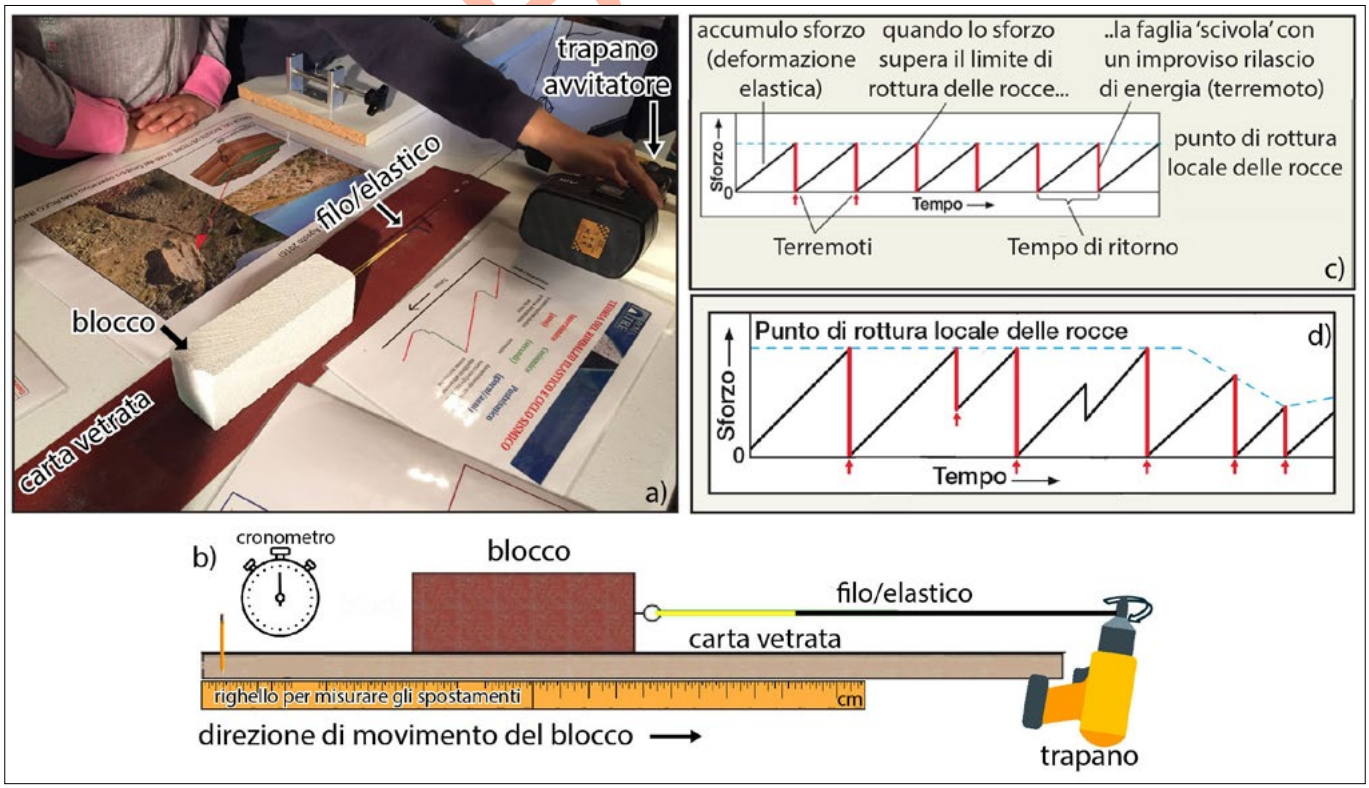


Figura 2 – a) Modello meccanico per spiegare il ciclo sismico; b) schema del materiale occorrente per l'esperienza; c) teoria del rimbalzo elastico; d) comportamento della maggior parte delle faglie attive

in natura piani di faglia orizzontali!) mentre il blocco rappresenta uno dei due lati della faglia (un blocco di crosta). Il blocco è collegato a un sistema corda/elastico; come nel modello meccanico della faglia, l'elastico modella le proprietà elastiche delle rocce che sono in grado di accumulare energia potenziale mentre mi deformano. La corda è collegata a un trapano che viene azionato a velocità costante e che rappresenta la forza che causa il movimento tra le placche litosferiche (*Fig.* 2b).

Quando si avvia il trapano (si applica cioè una forza nel modello) il blocco inizialmente rimane 'incollato' alla carta vetrata e l'elastico si estende. Quando è superata una certa soglia (attrito statico), il blocco si muove repentinamente nella direzione verso cui è tirato (attrito dinamico); questo succede perché l'energia potenziale immagazzinata nell'elastico si trasforma in energia cinetica, calore e onde sismiche. Il momento nel quale le forze frizionali tra il blocco e la carta vetrata vengono superate e il blocco scorre velocemente rappresenta il movimento della Terra durante un terremoto. Se la forza continua ad essere applicata (se il trapano continua a girare), come succede in natura, il processo ricomincia. Il processo di deformazione elastica delle rocce, fino alla rottura, e il successivo rimbalzo elastico costituiscono nell'insieme il ciclo sismico. Se durante l'esperimento si prende nota del tempo che intercorre tra ogni singolo scorrimento (ogni 'terremoto) e l'entità dello scorrimento del blocco (che può essere correlata con l'energia rilasciata durante un terremoto) si noterà che non c'è correlazione tra intensità dello scorrimento e il tempo trascorso tra due scorrimenti successivi. A volte può succedere che il ritardo tra due terremoti sia grande ma il terremoto è di bassa energia. Oppure, può succedere il contrario, cioè anche se il ritardo tra due eventi è piccolo, il terremoto è di grande entità. L'esperienza quindi mette in luce come le faglie non mostrano periodici accumuli e rilasci di energia elastica e che il tempo che trascorre tra due rotture successive, detto tempo di ritorno, non è costante, come previsto dalla teoria del rimbalzo elastico (*Fig.* 2c). Può succedere, infatti, che tutta la deformazione accumulata dall'ultimo terremoto non venga rilasciata completamente in quello successivo (rilascio parziale sforzo in figura) oppure lo sforzo su una faglia cambi a causa di terremoti generati da faglie poste nelle vicinanze (*Fig.* 2d). L'irregolarità del ciclo

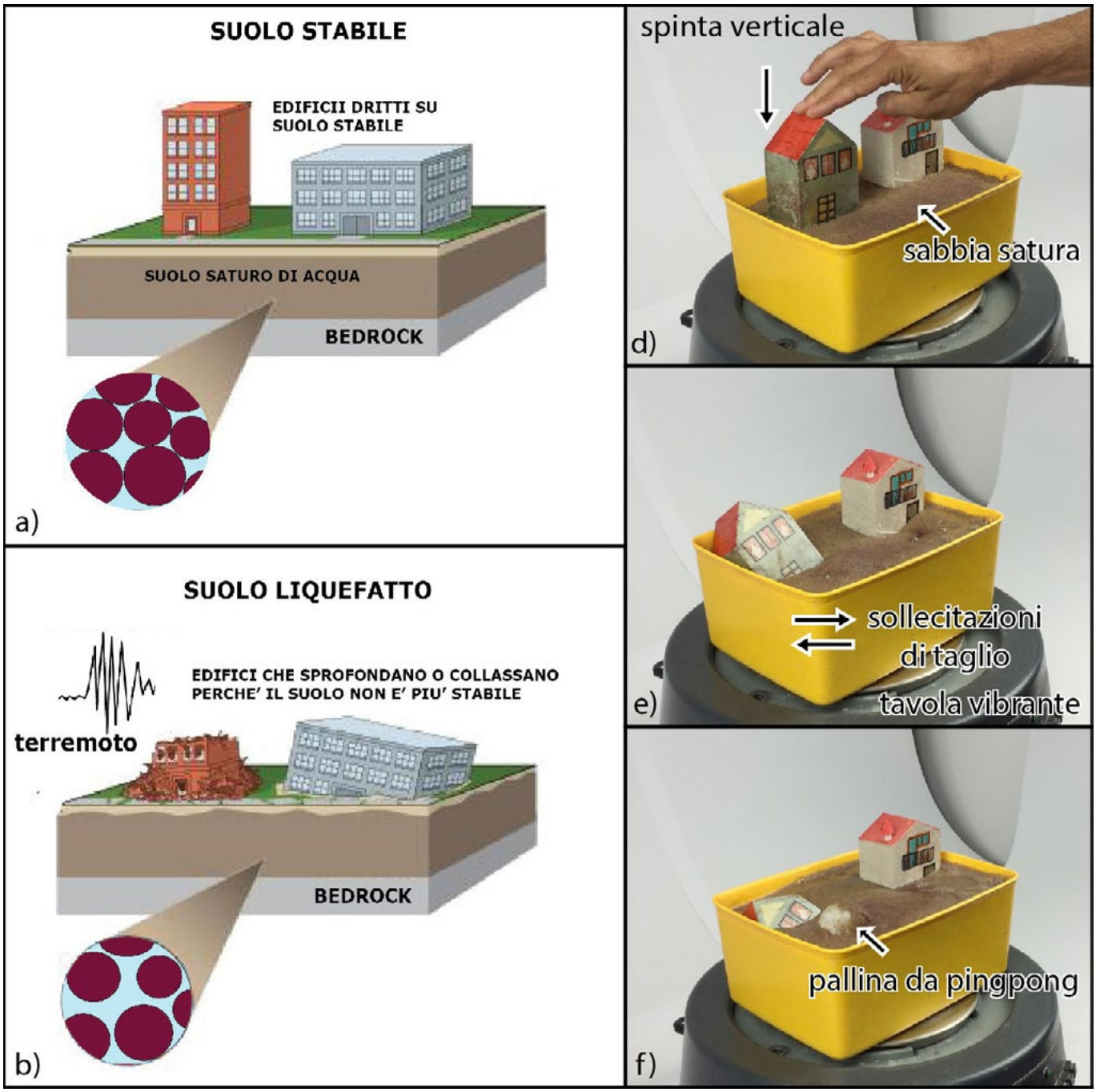


Figura 3 – Il fenomeno della liquefazione. a) l'acqua riempie gli spazi tra i granuli, l'attrito tra granelli rende compatto e resistente il sedimento; b) durante il terremoto, l'acqua circonda completamente tutti i granelli eliminando i contatti reciproci, il sedimento perde resistenza e si comporta come un fluido. c-e) riproduzione in laboratorio del fenomeno della liquefazione

sismico è il motivo principale per cui i terremoti sono così difficili da prevedere. Questo significa che non è possibile sapere né quando né con quanta energia si verificherà il prossimo terremoto; sappiamo però dove si potrà verificare con maggiore probabilità (in aree pericolose, con faglie sismogeniche), e quindi ci si può preparare al prossimo terremoto (importanza della prevenzione).

Gli effetti dei terremoti sugli edifici

Quando si genera un terremoto lungo un piano di faglia, le onde che si propagano dall'ipocentro raggiungono la superficie terrestre, producendo lo scuotimento del suolo che attraversano. Se lo scuotimento avviene in aree edificate (e se lo scuotimento è forte abbastanza), questo si trasferirà agli edifici. Alcuni effetti indotti del terremoto (legati cioè alla propagazione delle onde sismiche) sono fortemente influenzati dalle condizioni geologiche e dalla natura dei terreni superficiali, e anche dalla presenza di acqua nel suolo. Per spiegare la risposta sismica dei terreni di fondazione, si può ricorrere ad alcune semplici esperienze di laboratorio che aiuteranno a visualizzare come gli effetti di un terremoto sulle costruzioni dipendano sia dalla tipologia di costruzioni che dai terreni sui quali le costruzioni si fondano (geologia del sottosuolo).

1. *Il fenomeno della liquefazione*

Gli effetti primari dei terremoti (legati all'attivazione delle faglie e allo scuotimento del terreno nella zona epicentrale), generano una serie di effetti secondari legati alla propagazione delle onde sismiche nello spazio. Tra questi effetti il fenomeno della liquefazione è intimamente legato alla natura geologica di superficie; in particolare questo fenomeno può essere innescato da un terremoto in zone i cui terreni sono costituiti da depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi (come ad esempio le pianure alluvionali o le aree costiere), generalmente non consolidati e saturi di acqua (che è incomprimibile). Lo scuotimento legato al verificarsi di un terremoto può causare la perdita parziale o completa di resistenza del terreno, con gravi conseguenze in caso di presenza di fabbricati al di sopra di esso (*Fig.* 3a). La liquefazione di un deposito è il risultato dell'effetto combinato di due fattori: le condizioni del terreno, cioè terreno sabbioso saturo di acqua (fattore predisponente) e il terremoto (fattore scatenante).

Attraverso un semplice modello meccanico è possibile visualizzare il processo di liquefazione, di non immediata comprensione. Si usa un contenitore pieno d'acqua, lo si riempie con della sabbia finché l'insieme appare come un terreno solido (ma saturo di acqua). Si pone al di sopra di esso una 'casa' (o due come nel caso dell'esempio in Figura 3) ed eventualmente una pallina da ping pong all'interno della sabbia (che simula un serbatoio sotterrato).

Inizialmente si prova a premere verticalmente con le mani sulla casa, simulando la pressione di un edificio sul terreno e si osserva cosa succede. La casa resiste alla pressione verticale grazie all'attrito esistente tra i granelli di sabbia che conferiscono resistenza alla sabbia (*Fig.* 3a). Successivamente si impongono ripetute sollecitazioni orizzontali (nell'esempio riportato in figura si usa una tavola vibrante elettronica ma si può imporre una sollecitazione anche a mano) che riproducono un evento sismico e si osserva il fenomeno. L'edificio sprofonda parzialmente. È successo che si è azzerata la resistenza al taglio, per il crescente aumento della pressione esercitata dall'acqua sulle particelle solide che porta alla loro separazione e quindi alla completa perdita di resistenza che prima aveva (legata appunto all'attrito tra i grani di sabbia). Il terreno non è più in grado di sorreggere il peso dell'edificio sovrastante che 'affonda'. Al tempo stesso la pallina da *ping pong* (serbatoio) non è più tenuta dal carico della sabbia sovrastante e può risalire attraverso la sabbia 'liquefatta'.

Questa esperienza permette di capire quanto la geologia del sottosuolo sia importante per la pianificazione urbanistica.

2. *La risonanza degli edifici*

Ogni edificio, come ogni struttura (e gli stessi terreni su cui poggiano le fondazioni degli edifici), è caratterizzato da una frequenza specifica di oscillazione (o da un periodo di oscillazione) che dipende dalla sua forma e dalle sue dimensioni, in particolare dalla sua altezza L. In particolare, il fenomeno della risonanza avviene se la lunghezza d'onda della perturbazione approssima la lunghezza dell'edificio. Vista la relazione inversa tra lunghezza d'onda e frequenza se ne deduce che alte frequenze, e quindi basse lunghezze d'onda, sono potenzialmente dannose per edifici bassi, mentre basse frequenze, e quindi grandi lunghezze d'onda, sono potenzialmente dannose per edifici più alti (*Fig.* 4a). La risposta dinamica di un edificio quando viene sollecitato dallo scuotimento del suolo generato da un terremoto è uno dei fattori più importanti che controlla i danni che gli edifici subiscono durante il verificarsi di un terremoto.

Attraverso una semplice esperienza, è possibile visualizzare in modo efficace il fenomeno della risonanza degli edifici associando la variazione di frequenza con la differente risposta sismica di edifici di altezza differente (*Fig.* 4b). L'esperienza consiste nell'azionare il trapano avvitatore a differenti velocità (via via crescenti) e osservare qual è il comportamento dei singoli edifici. La variazione di velocità corrisponde alla variazione della frequenza dello scuotimento. Durante l'esperimento sarà possibile osservare come l'edificio alto (a 4 piani) vibri maggiormente a basse velocità (basse frequenze), l'edificio intermedio (a 3 piani) maggiormente a velocità intermedie (medie frequenze) mentre

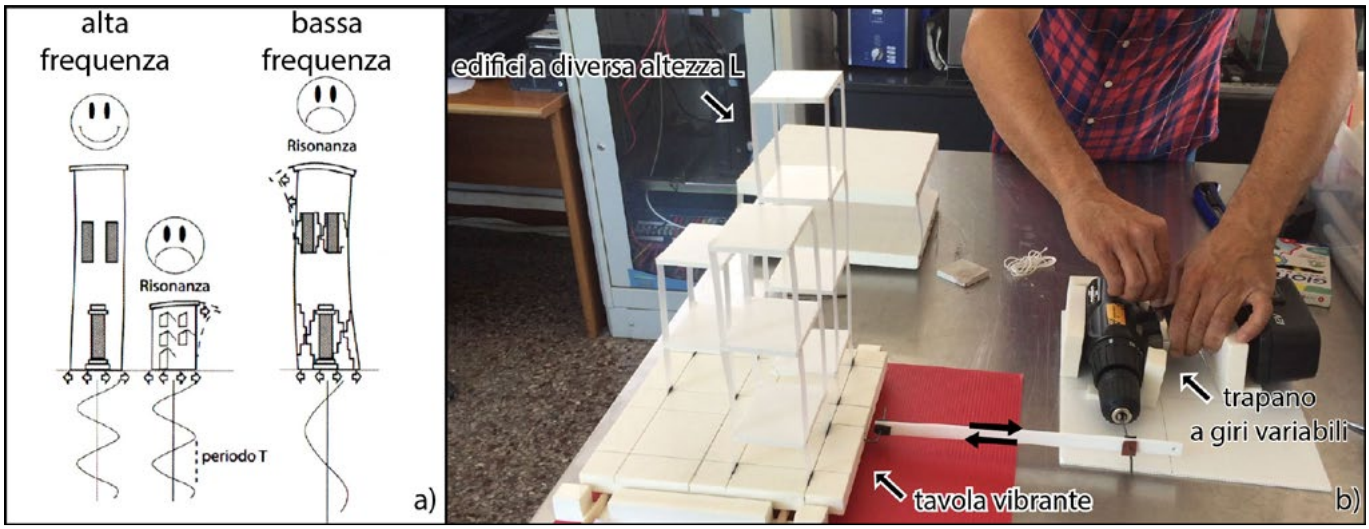


Figura 4 – Il fenomeno della risonanza. A sinistra, il comportamento degli edifici durante una sollecitazione sismica in relazione alla loro altezza (da Ciaccio e Cultrera, 2014). A destra, l'esperienza che permette di visualizzare tale fenomeno

BOZZA

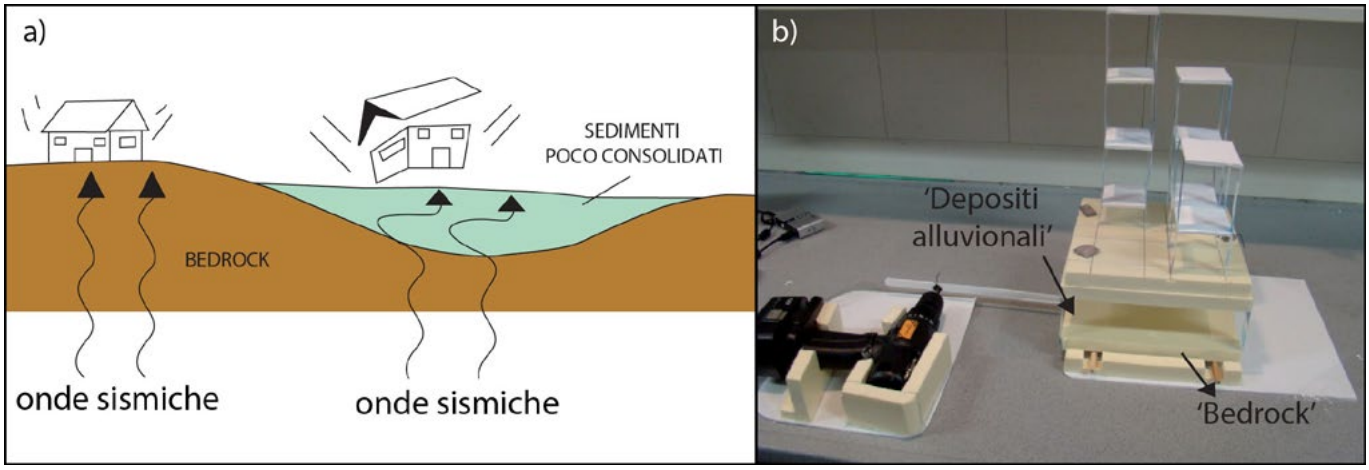


Figura 4 – Il fenomeno della risonanza. A sinistra, il comportamento degli edifici durante una sollecitazione sismica in relazione alla loro altezza (da Ciaccio e Cultrera, 2014). A destra, l'esperienza che permette di visualizzare tale fenomeno

l'edificio più basso (a 2 piani) maggiormente ad alte velocità (alte frequenze). Un esempio reale e particolarmente impressionante di questo fenomeno è quanto avvenuto a Città del Messico in occasione del terremoto del 19 settembre 1985. Nonostante l'epicentro del terremoto fosse a centinaia di km dalla città, questa subì danni enormi. In particolare la maggior parte degli edifici che collassarono durante questo terremoto furono gli edifici con 10 piani. Edifici più alti (o più bassi), quindi con frequenze caratteristiche differenti, non furono distrutti, anche se ubicati vicino agli edifici distrutti. Gli edifici collassarono proprio perché entrarono in risonanza con la distribuzione di frequenze propria del terremoto ed è per questo che furono distrutti.

3. L'amplificazione sismica locale

L'esempio appena citato del terremoto che colpì Città del Messico nel 1985, oltre ad essere molto didattico per spiegare la risonanza degli edifici, descrive molto bene anche il fenomeno dell'amplificazione sismica. Come detto, in questa città, nonostante la notevole distanza epicentrale, crollarono moltissimi palazzi. Studi geologici evidenziarono che buona parte di Città del Messico è costruita su di un bacino fatto di depositi poco consolidati (depositi di un antico lago). Quando le onde sismiche, durante il loro percorso passano da rocce più dure (bedrock) a depositi non consolidati (come per esempio i depositi lacustri sui quali è costruita parte di Città del Messico) succede che queste onde diminuiscano bruscamente la velocità di propagazione ma al tempo stesso, per conservare l'energia trasmessa, aumentino fortemente l'ampiezza delle loro oscillazioni, causando un forte scuotimento del terreno attraversato (*Fig.* 5a). Quando la frequenza di risonanza del terreno e quella dell'edificio che si trova su di esso sono uguali, si produce un'oscillazione risonante accoppiata, che accresce enormemente le sollecitazioni sull'edificio. A Città del Messico, la frequenza di oscillazione (risonanza) dei depositi lacustri poco consolidati era molto simile a quella dei palazzi di 10 piani ed è per questo che tali edifici risultarono essere i più danneggiati dal terremoto.

Una semplice esperienza per vedere come i depositi inconsolidati abbiano una loro frequenza naturale di risonanza e come questo si rifletta sulla stabilità degli edifici è illustrato in figura 5. Si avvia il trapano avvitatore partendo dalla massima velocità (alte frequenze). La variazione di velocità corrisponde alla variazione della frequenza dello scuotimento. Durante l'esperimento sarà possibile osservare come, per alte frequenze l'elemento che simula i depositi incoerenti non oscilla, diminuendo via via la velocità (frequenza) inizia ad oscillare indicando che la frequenza di risonanza del terreno è esattamente quella raggiunta con la velocità del trapano avvitatore. A questo punto le oscillazioni sono molto forti a causa del forte scuotimento del terreno che è in risonanza. Se uno degli edifici al di sopra avesse la stessa frequenza di risonanza, oscillerebbe in maniera più vistosa rispetto agli altri.

Questa esperienza dimostra come gli effetti di un terremoto non dipendano solo dall'energia liberata (magnitudo) e dalla distanza dall'epicentro ma anche dal tipo e dalla configurazione dei materiali geologici attraversati. L'effetto di sito rappresenta uno dei fattori di rischio più temibili in aree caratterizzate da questo tipo di depositi in quanto tali effetti possono ripercuotersi sulle costruzioni, danneggiandole gravemente.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

In un Paese come l'Italia la Scuola, fulcro dell'educazione e della formazione delle nuove generazioni, dovrebbe dare il giusto spazio al rischio naturale nella programmazione didattica, al fine di fornire agli studenti gli strumenti per sviluppare una consapevolezza geo-ambientale. Tuttavia, se si dà uno sguardo alle Indicazioni Nazionali per quel che riguarda le Scienze della Terra, si osserva, con rammarico, l'assenza dei temi relativi ai rischi naturali (ma anche alle risorse naturali) tra i contenuti irrinunciabili da affrontare durante il percorso curriculare. Questa deficienza di temi così importanti nel percorso formativo delle scuole è paradossale in un Paese come l'Italia, caratterizzato da un'elevata attività sismica e vulcanica e con un'estrema fragilità di fronte ai numerosi dissesti che lo colpiscono, spesso legata alla cattiva gestione del territorio, che aumenta in modo considerevole il rischio connesso ai fenomeni naturali. Dare il giusto spazio alla cultura della consapevolezza nei percorsi formativi delle scuole rappresenta una sfida importante per garantire alle generazioni future una sana gestione e il rispetto del territorio, del quale sono parte integrante. È poi altrettanto fondamentale fornire agli studenti gli strumenti per sviluppare una consapevolezza delle risorse naturali del nostro Pianeta e su come queste possano essere tutelate e gestite per uno sviluppo sostenibile della società.

Le attività di laboratorio sono quindi delle risorse per l'insegnamento delle Scienze della Terra e si rivolgono a studenti per i quali lo studio di tali discipline è fondamentale per poter diventare cittadini responsabili, che un giorno potranno eventualmente prendere parte in modo attivo e critico a decisioni politiche che riguardino problematiche di carattere ambientale.

LETTURE E RISORSE WEB CONSIGLIATI

Amato A. (2016), *Sotto i nostri piedi. Storie di terremoti, scienziati e ciarlatani*, Codice Edizioni, 238 p.

Ciaccio M.G. & Cultrera G. (2014), *Terremoto e rischio sismico*. Ediesse Edizioni, 212 p.

Guida kit didattico sismo-box https://drive.google.com/open?id=0B4zwxG3qCVK-RDFScUE-3ci11UXc

Video amplificazione sismica https://drive.google.com/open?id=0B4zwxG3qCVK-NTYyMTV5YmdNdUE

Video ciclo sismico https://drive.google.com/open?id=0B4zwxG3qCVK-cnZaamVJTEJkdHc

Video fenomeno liquefazione https://drive.google.com/open?id=0B4zwxG3qCVK-VkF1ZIh0WUpiaGM

Video fenomeno risonanza https://drive.google.com/open?id=0B4zwxG3qCVK-TXVNbnB4ekdWZE0

IN BOZZA

Il terremoto nella mente

The earthquake in the mind

Donatella Galliano
Psicologo psicoterapeuta, presidente di Psicologi per i Popoli-Federazione
E-mail: gallianodonatella@gmail.com

Luigi Ranzato
Psicologo psicoterapeuta, presidente onorario di Psicologi per i Popoli-Federazione
E-mail: ranzato.luigi@gmail.com

Parole chiave (*key words*): psicologia dell'emergenza (*disaster psychology*), psicologia del trauma (*trauma psychology*), l'intervento degli psicologi nelle catastrofi (*intervention of psychologists in disasters*), geologia e psicologia: uno stretto legame (*geology and psychology: a close link*)

ANTEPRIMA

PRESENTAZIONE

La storia della sismologia nel suo sviluppo fino ai nostri giorni rivela significativi punti di incontro anche con l'evoluzione storica della psicologia condividendo entrambe quel *logos* che dal *mito* nell'antichità approda alla *scienza* nella modernità. E' interessante vedere come allo sprigionarsi delle potenti energie dei grandi terremoti si liberino anche le straordinarie energie culturali e mentali che concorrono allo sviluppo della geologia e della psicologia, cioè delle scienze della terra vivente e dell'uomo pensante che la abita con le sue passioni e contraddizioni.

Noi pensiamo che la rigorosità che guida lo studio e le applicazioni professionali del geologo e della geologa non sia dissimile dalla accuratezza che ispira le ricerche e gli interventi delle nostre psicologhe e psicologi.

Infatti dinnanzi ad entrambe le professioni si pone il limite conoscitivo e la sfida delle grandi profondità della terra e della psiche umana, a cui attingono le rispettive ricerche con il loro margine di incertezza e insieme di intuitiva creatività.

Il compito e la responsabilità per la cultura di una efficace prevenzione dei rischi in un *"Paese fragile*" che espone la "*fragilità delle persone*" ai lutti, alle perdite materiali e ai traumi psichici, può trovare oggi comuni sinergie ed iniziative tra le due professioni.

LA PAURA CHE SCUOTE LE MENTI

L'attenzione a quegli aspetti che oggi noi chiamiamo "psicologici" delle persone e delle popolazioni in emergenza non è mai venuta meno nel corso dei secoli. Ne troviamo preziosa testimonianza nella storia della letteratura, delle religioni, dei miti, della medicina e della filosofia antica.

Il filosofo Seneca ad esempio, nelle Naturales Quaestiones (Seneca, N.Q. VI, 29) fa una breve e moderna trattazione degli effetti del terremoto sulla mente degli uomini in una lunga lettera che invia all'amico Lucillo a seguito del terremoto della Campania (5.2.62 d.C.) nel quale è "sprofondata" Pompei. Scrive: *"alcuni si sono messi a correre qua e là come forsennati e storditi per effetto della paura, che scuote le menti quand'è personale e moderata. Quando il terrore è generale, quando crollano le città, i popoli sono schiacciati, la terra è scossa, che cosa c'è da meravigliarsi che gli animi, abbandonati in preda al dolore e alla paura siano smarriti? Non è facile restare in mezzo a grandi catastrofi. Perciò quasi sempre le menti deboli vengono prese dal panico al punto da uscire da sé. Certo nessuno prova un grande spavento senza pregiudicare un po' la sua sanità mentale, e chi ha paura è simile a un pazzo: ma la paura ben presto fa tornare in se stesse le persone, alcune invece le sconvolge con più violenza e le porta alla follia".*

Le osservazioni psicologiche di Seneca conservano ancor oggi tutto il loro valore. Definiscono con acume e appropriatezza quasi diagnostica la tipologia delle riposte dei sopravvissuti al terremoto, in relazione: alla potenza e vastità dell'evento (*moderata personale* o catastrofica per *le città*), alle reazioni motorie (*correre come forsennati*), cognitive (*stordimento, smarrimento*), emotive (*dolore, paura, terrore, panico, spavento*) e mentali (*le menti sono scosse, escono da sé, sconvolte con violenza e portate alla follia*). Seneca ci anticipa anche il dato di prevalenza dei danni (lievi o gravi) della "sanità mentale" delle persone colpite, risultante dalle variabili sia personali, che della tipologia e grandezza del disastro: solo alcune persone infatti il terremoto *"porta alla follia"*, mentre le altre *"tornano in se stesse"* conclude Seneca. In questo prezioso documento è presente anche una allusione alla dimensione psicologica collettiva del danno psicologico che subiscono le comunità ben rappresentata nella descrizione del *"crollo delle città e dei popoli schiacciati"*. Non manca, in relazione all'obiettivo che l'intera lettera si pone, il problema dell'aiuto e del conforto "*Che cosa ti può essere non dico di aiuto, ma di conforto, quando la paura ha perso ogni via di scampo?*".

Seneca pone nella filosofia stoica la risposta ma solo dopo un excursus storico per conoscere le cause dei terremoti, affidandosi alla conoscenza e non alle superstizioni, secondo le teorie dei sapienti antichi e contemporanei da Talete a Callistene e allo stesso Seneca che lascia le vesti di psicologo per vestire quelle di geologo prima di ritornare nella cattedra del maestro di filosofia di vita.

PIACCIA IL SIGNOR'IDDIO PLACARSI CONTRO I PECCATORI

Come scrive Michele Dragoni (2005) "*il progressivo abbandono del metodo scientifico nei primi secoli dell'era volgare determina anche nella sismologia l'esaurirsi di sviluppi originali*".

Dopo Seneca, sembra attenuarsi e venir meno anche l'attenzione agli aspetti psicologici delle persone colpite dalle catastrofi.

Nel disgregarsi progressivo della civiltà romana e lo sviluppo del cristianesimo, ai tempi degli imperatori Massimino e Giuliano, si utilizza il terremoto per accusare i cristiani o viceversa gli apostati di esserne la causa. Verso la fine del IV secolo Filastrio vescovo di Brescia definisce una eresia lo studio del terremoto.

Il terremoto, espressione della grandezza e della forza onnipotente del divino, rappresenta per i credenti e le comunità cristiane la giusta punizione per i peccati e le colpe commesse dagli uomini. Si tratta tuttavia di una credenza che affonda le radici in tutte le culture e tradizioni non solo bibliche. Ancor oggi questo sentimento religioso riemerge, seppure in forme sfumate, tra le popolazioni colpite da catastrofi come se provenisse da un inconscio collettivo di cui alcuni termini dell'emergenza in uso riportano l'eco (disastro, apocalisse, disgrazia, sciagura).

Scrive Carlo Tiberi Romano in una relazione sul terremoto di Amatrice del 17 ottobre 1639

"Durò il Terremoto sino alle nove hore, e poi cessò a fatto; ma non però si assicurorno di entrare nelle meze disfatte Case, e habitationi: anzi furono alzate tende in campagna, dove con ogni ordine si fecero Processioni con portare Immagini della Santissima Vergine, e altri Santi, battendosi ciascuno con ogni asprezza, e sino i Fanciulli esclamando misericordia si percuotevano co i sassi. Le Donne si graffiavano il volto, si stracciavano i panni, e strappavansi i capelli. La confusione era grandissima spaventandosi l'un l'altro con le voci, e l'esclamationi; furono però raffrenate

per la venuta del giorno, quale apportò non poco conforto a quei miseri, ed infelici. Si moltiplicorno i devoti Esercizi, dicendosi, e celebrandosi Messe in campagna, facendosi oratione, et esponendosi preghiere a Sua Divina Maestà, parendo appunto esser giunto il fine del Mondo, e il giorno del Giuditio... Le Meretrici dicesi, che mostrandosi grandemente compunte si battevano fortemente con funi, e punte di ferro, gettandosi a' piè d'ogn'uno, acciò le affliggessero, e le calpestassero, giudicandosi esser state loro motrici dell'Ira di DIO".

Per molti secoli ancora, l'unico antidoto al terremoto sarà la penitenza accompagnata dai riti propiziatori. Tutta l'attenzione verrà rivolta ai comportamenti morali dei fedeli a scapito di qualunque altra responsabilità ed educazione che oggi chiamiamo prevenzione, nonostante un grande dibattito teologico che sul tema della "volontà di Dio" "del bene e del male" e della "Provvidenza" prendeva le distanze dagli automatismi morali.

Nel '700, nel secolo dei lumi, in concomitanza con i terrificanti terremoti di Lisbona (1755) e della Calabria (1783) che suscitarono una enorme emozione ed ebbero un'eco grandissima nella coscienza dei contemporanei, si andò sviluppando una fittissima trama di indagini, discussioni, polemiche sulle cause di quegli eventi sismici, sui significati filosofici e simbolici, sulla loro natura fisica di portata cosmologica. Accanto ad un rinnovato interesse per gli studi sul terremoto che intrigano anche uno dei più grandi e famosi filosofi come Emmanuel Kant, le ricerche storiche (Placanica,1985) hanno portato alla luce il riemergere di un forte interesse sulla natura dell'individuo terremotato e sul corpo e la psiche sospesi tra "*la fine e la trasfigurazione*", quasi a disvelare il *"vero uomo"*. Sulla popolazione sfinita della Calabria approdano studiosi da ogni parte d'Europa, "*con la convinzione di poter sottoporre ad analisi e a studio l'uomo e i suoi comportamenti durante e dopo il terremoto, ma soprattutto con un febbrile e minuzioso lavoro d'analisi per coglierne le caratteristiche e riferirle con ampiezza di dettagli".* Dettagli che riguardano il sistema di allerta della psiche sul corpo ancor prima che il terremoto si sia dispiegato, la morte rivissuta attraverso il dolore dei superstiti, la paura del terremoto e il suo antidoto che si diversificano da ogni altra situazione, il riemergere emancipato dell'eros in rapporto all'ethos, il ruolo aggregante delle comunità raccolte attorno alle Chiese dove, scrive Placanica ,"*per unanime testimonianza, le processioni, le benedizioni generali, i riti di espiazione, le pubbliche confessioni , le pubbliche penitenze, le prediche e tutte le altre forme liturgiche, se pure alla fine canalizzate e organizzate dalla Chiesa, furono il risultato di un iniziale moto spontaneo delle folle, spesso addirittura in contrasto con preti e frati"*

IL TERREMOTO DI MESSINA DEL 28 DICEMBRE1908: *"UNA ENORME ESPERIENZA PSICOLOGICA"*

L'interesse e gli studi per le conseguenze psichiche provocate da eventi traumatici che riemergono non a caso alla fine del 1800 collegati ai primi incidenti della modernità, proseguono nel 1900 con osservazioni scientifiche sui sopravvissuti al grande terremoto di Messina e di Reggio Calabria del 1908.

Da pochi anni è rinata la "psicologia" come "scienza" con l'apertura a Lipsia del primo laboratorio del prof. Wilhelm Wund nel 1879. Nel1909 si costituisce in Italia la Società Italiana di Psicologia.

La Rivista di Psicologia Applicata nel 1909 pubblica il primo studio sistematico sugli effetti psicologici di questo terremoto di cui riportiamo alcuni brani da una recente rivisitazione di Glauco Ceccarelli (2016) per la Rivista di Psicologia dell'Emergenza e dell'Assistenza Umanitaria, edita da Psicologi per i Popoli-Federazione.

Si tratta della descrizione, frutto di osservazioni, testimonianze, esami clinici di un evento che Giulio Cesare Ferrari, (uno dei primi psicologi italiani, fondatore e direttore anche della prima rivista di psicologia) definisce come *"una enorme esperienza psicologica"*. Questo studio conserva ancora dopo un secolo un alto grado di validità diagnostica e prognostica:

"Il terremoto di Messina, come tutti i grandi cataclismi – gli incendi, i naufragi – ha avuto due effetti principalissimi. Quello di mostrare tutte le più svariate manifestazioni della paura e quello di rivelare il fondo reale, fondamentale o primitivo, della maggior parte delle persone che sono state presenti a quella enorme esperienza psicologica (ivi, p. 90) […] *se studiamo le reazioni individuali immediate degli scampati, troviamo di poter dividere costoro in tre classi:*

- *Una* ***prima categoria*** *è costituita da coloro che sono sfuggiti miracolosamente (come si dice) alla morte, senza ferite, quasi senza rendersi conto in quel primo momento della gravità del pericolo che un istante prima poteva annientarli.*
- *In una* ***seconda categoria*** *si debbono mettere quelli che, scampati all'istante del terremoto, per ore o per giorni sono stati sotto l'incubo dell'idea della morte che poteva colpirli da un momento all'altro.*
- *In una* ***terza categoria*** *mettiamo i superstiti gravemente feriti, che non hanno potuto abbandonare da sé le macerie, specialmente i dissepolti (ivi, p. 91).*

La caratteristica psicologica più spiccata dei componenti ***il primo gruppo*** *è l'atonia sentimentale. Si sono visti di questi uomini, salvati senza alcuno sforzo per parte loro, pel giuoco imprevedibile di circostanze fortuite, perdere nel disastro molti dei loro cari, e che non si accasciavano, non piangevano, ma apparivano appena tristi, o indifferenti, e di tratto in tratto loquaci, ma soltanto per raccontare a tutti il loro "caso".*

[…] se ne cerchiamo gli elementi genetici, troviamo anzitutto la scossa emozionale formidabile a cui era mancata prima ogni preparazione adeguata, a cui mancò successivamente (nei primi momenti almeno) ogni via di scarico, donde il risultato normale di una inibizione completa.

Un secondo elemento è dato dal fatto intellettuale della sorpresa. Per quanto per gli abitanti di Messina il terremoto sia un'esperienza abbastanza consueta, nessuno dei superstiti aveva certo mai assistito ad una tale convulsione della terra, ad una tale rovina.

[…] A tutto questo si aggiunga lo shock morale della perdita della famiglia, o almeno di alcune o molte delle persone care, donde il disorientamento affettivo, che appare in forma negativa quando non abbia ancora alcun obbiettivo avanti a sé.

Negli individui in cui il terremoto rivelò le tendenze criminogene latenti, l'orientamento affettivo si ricostituì d'un tratto attorno al desiderio di possedere, di non lasciare passare l'occasione unica di arricchire facilmente, e l'apatia iniziale fu vinta (ivi, p. 92).

Nelle persone della ***seconda categoria****, sulla coscienza delle quali l'idea, se non la paura, della morte, ha pesato per ore o per giorni, non si trovano tracce dell'apatia, dell'atonia sentimentale […]. Vi è però qualchecosa di analogo, la rapidità dell'insorgere della rassegnazione di fronte all'inevitabile. Questo stato sentimentale ha una durata limitata, perché più presto o più tardi, nei casi che ho osservato io, risorgeva il dolore quasi ansioso per le perdite subite. […] I fenomeni psicologici che abbiamo isolato e descritto come particolarmente caratteristici dei due gruppi […], vale a dire l'atonia sentimentale dei primi, la rapidissima rassegnazione dei secondi, non potevano essere fatti psicologici preesistenti (almeno in quel grado) negli individui, e dal terremoto e dalle sue conseguenze messi semplicemente in luce. Che questo sia ce lo dimostrano […] le storie cliniche di tre individui, i quali, assenti dai luoghi del disastro la mattina del 28 dicembre, vi perdettero tuttavia, o credettero di avervi perduto, la famiglia ed i beni. Ora, in tutti questi individui si sono avute reazioni vivacissime, e come ultima conseguenza, episodi psicopatici protratti, con grave depressione dell'animo e allucinazioni da aspettazione, fenomeni mor-*

in bozza

bosi tutti che si accentravano attorno ad un sentimento vivacissimo di passione pei cari perduti.

Non si sono invece avute tracce né di atonia sentimentale, né di rassegnazione (ivi, p. 94). I feriti che non hanno potuto abbandonare da sé le macerie e i dissepolti formano il nostro ***terzo gruppo****. È difficile parlare di uno stato d'animo comune a tutti costoro, perché la reazione fu molto varia a seconda della entità delle ferite e delle condizioni in cui essi passarono le ore od i giorni di seppellimento. In genere le fotografia che ne furono prese ci mostrano delle fisionomie sofferenti, ma liete della rinascita, come di gente che si svegliasse, lieta di respirare. Ma l'angoscia di essere sepolti vivi deve aver determinato spesso uno smarrimento mentale completo e sono stati frequenti i casi di feriti gravi, che si sono tolti la vita appena la cosa è stata loro possibile. Il sentimento dominante era la smania di fuggire, di abbandonare quell'ambiente di orrore.*

[…] I più, però, apparivano trasognati, confusi. I tre fratelli Minissale, rimasti 18 giorni sotto le macerie in uno spazio angustissimo […], ricordavano soltanto alcuni fatti: come erano stati sepolti, come mangiavano, come si salvarono; ma non sapevano dire quanto tempo avessero passato sotto terra. Lo valutavano dai 4 ai 5 giorni. Questa impressione della brevità del tempo delle sofferenze più acute è citata da molti superstiti, e difficilmente può essere interpretata, perché, sotto qualunque aspetto la si consideri, è paradossale (ivi, pp. 94-5).

PSICOLOGIA DEL TRAUMA E PSICOLOGIA DELL'EMERGENZA

La comunità scientifica dei primi psicologi del 1900 dovrà presto attivarsi con ben altri terremoti, quelli creati dall'uomo stesso, che causano sofferenze inaudite alla popolazione. E' questo il secolo della prima guerra mondiale (1914-1918), del genocidio degli armeni (1915-1916), della seconda guerra mondiale con i suoi lager (1939-1945), della guerra del Vietnam (1955-1975), delle guerre balcaniche (1991-1995), del genocidio rwandese (1994). Si tratta di eventi traumatici che causano dolorosissimi traumi psichici ai sopravvissuti. Le ricerche, lo studio le terapie di psicologi, psichiatri, psicoanalisti insigni si concentrano sulla definizione del "trauma psichico" e sul suo trattamento.

Nel 1980 nel Manuale Diagnostico e Statistico dei Disturbi Mentali (DSM-II) edito dalla American Psychiatric Association viene individuata una specifica Diagnosi per i disturbi da eventi traumatici denominata *Post Traumatic Stress Disorder*, diffusa con l'acronimo PTSD.

La diagnosi si fonda su sintomi, persistenti fino a tre mesi dall'evento, quali: esposizione reale o minacciata di morte, intrusione di ricordi spiacevoli in sogni e flashback, persistente umore negativo, fenomeni dissociativi dalla realtà, comportamento di evitamento da persone e luoghi collegati all'evento, reazioni di arousal.

L' estensione della diagnosi di PTSD anche a tutte le persone colpite da una calamità naturale, quale il terremoto e le alluvioni, dimostra ben presto alcune serie criticità a motivo di generalizzazioni che non tengono conto della gravita e diversità degli eventi in rapporto all'esposizione della persona, della sua storia personale, dell'aiuto familiare e comunitario disponibile, dei lutti e delle altre perdite subite, della prontezza e tipologia dei soccorsi ricevuti, della cultura del paese.

Dalla diagnosi e cura del trauma che viene fatta dopo alcuni mesi da quando i cittadini hanno subito l'evento, l'attenzione e l'intervento psicologico si spostano pertanto nei luoghi dell'emergenza stessa, a contatto con le persone e comunità colpite da una calamità.

Sono questi gli anni di fine novecento, nei quali prende forma la ***Psicologia dell'Emergenza*** (*Disaster Psychology* con le varianti *Disaster and crisis Psychology* nei paesi anglofoni, *"Psicologia de urgenzias, emergenzias y catastrofes*" in Spagna "*Notfallpsychologie*" in Germania, *"Psychologie d'urgence"* in Francia).

Sono questi anche gli anni nei quali si costituiscono, a partire dagli Stati Uniti, i primi nuclei di professionisti psicologi chiamati ad intervenire negli scenari stessi delle emergenze per dare il primo soccorso.

In Italia dopo sporadiche e del tutto volontaristiche presenze di psicologi nei terremoti del Friuli Venezia Giulia (1975), dell'Irpinia (1980), dell'Umbria e Marche (1997) è con il terremoto del Molise del 2002 che un team di psicologi dell'associazione Psicologi per i Popoli, inquadrato in una colonna mobile della Protezione Civile della Provincia Autonoma di Trento, partecipa ai soccorsi della popolazione colpita.

Nel terremoto dell'Aquila (2009) Psicologi per i Popoli - Federazione, con le sue squadre di psicologi aggregate alle colonne regionali o in autonomia, sarà continuativamente presente in Abruzzo dal 6 aprile al 30 settembre 2009, con 386 volontari operanti in 60 tendopoli con turni settimanali di circa 30 persone, per un totale di 4.039 giornate/uomo.

CONTRIBUTI DELLA PSICOLOGIA DELL'EMERGENZA AL SISTEMA DELLA PROTEZIONE CIVILE

La psicologia dell'emergenza offre significativi contributi di conoscenze e di pratiche al sistema della Protezione Civile quando interviene nelle situazioni di emergenza.

Conoscere le reazioni psicologiche delle persone e delle comunità colpite da un evento catastrofico facilità l'efficacia anche degli interventi di carattere tecnico e operativo svolti dai soccorritori dell'emergenza. Un buon risultato nelle operazioni di salvataggio e di messa in sicurezza dipende anche dalla collaborazione e dalla comunicazione che si riesce ad instaurare tra le persone che vengono soccorse e i soccorritori. L'Organizzazione Mondiale della Sanità (OMS) nel 2007, assieme alle agenzie dell'ONU e alle più grandi Organizzazioni non Governative internazionali, ha sintetizzato con chiarezza il motivo dell'intervento psicologico in situazioni di emergenza che ha come obiettivo quello di *"garantire la salute mentale e promuovere il benessere psicosociale".*

In sintesi si afferma che*: "Le catastrofi provocano grandi sofferenze alle popolazioni colpite, sia sul piano psicologico che sociale. Le conseguenze che ne derivano possono essere drammatiche a breve termine, ma possono a lungo termine minacciare il benessere psicosociale e la salute mentale. Infatti problemi sociali preesistenti (come povertà, discriminazione), attuali (perdita dei familiari, delle casa del lavoro…) o provocati dal tipo di soccorso, possono aggravare lo stato di salute mentale. Così come problemi di salute mentale preesistenti (malattie mentali, alcolismo…), attuali (depressione per lutto, ansia…) o provocati dal tipo di soccorso possono aggravare il benessere sociale". (IASC, 2007).*

Il Consiglio dell'Unione Europea nel 2010 è intervenuto argomentando e completando le motivazioni che rendono non solo opportuno ma anche necessario un intervento psicosociale negli eventi di emergenza da parte degli Stati membri, di cui possono essere beneficiari non solo gli individui, ma anche i gruppi e le comunità, i soccorritori e l'organizzazione che gestisce i soccorsi, sempre in un'ottica di supporto alla "resilienza" della popolazione colpita.

Anche in Italia, nello scorso decennio il Governo, tramite decreti del Dipartimento della Protezione Civile, ha disposto, con vari provvedimenti, l'organizzazione di una *"assistenza psicologica"* (2001) alle popolazioni colpite da calamità, da attuare tramite "*equipe psicosociale per le emergenze (EPE)*" (2006) e un *"ambulatorio psicologico"* collocato nel Posto di Assistenza Socio Sanitaria (PASS)" (2013).

Studi e ricerche internazionali e nazionali (come riporta Zuliani, 2006) indugiano nel descrivere emozioni, sentimenti, paure, comportamenti che accompagnano la maggioranza delle persone colpite da una catastrofe durante tutto l'arco temporale del suo compiersi.

UFOZA

Queste reazioni non debbono tuttavia essere considerate una patologia, né fisica né psicologica, ma un *"modo normale di far fronte a situazioni che non sono normali"* anche se in certi momenti queste reazioni sembrano dilagare. Il poter esprimere le emozioni su di un piano sia psicologico che fisico può essere liberatorio per le persone in pericolo, ma richiede sempre ai soccorritori capacità di lettura dei vissuti, competenze relazionali, capacità sia di mediazione che di decisione.

Gli studiosi hanno individuato le seguenti fasi che accompagnano le reazioni ad un disastro:

- *fase dell'avvertimento*. E' il periodo nel quale la gente prende coscienza dell'esistenza di un pericolo. Può variare da qualche minuto (per un tornado ad esempio) a qualche giorno (per inondazioni). Le reazioni di base sono di paura e talora di angoscia, accompagnate da reazioni fisiologiche come tachicardia, sudorazione, respirazione difficoltosa, contrazione dei muscoli, tremori. Ci possono essere reazioni istintive di fuggire o di cercare di opporsi all'evento. Al primo annuncio dell'imminenza del pericolo si può rispondere con incredulità o negandone la gravità. Gli avvertimenti ufficiali tendono ad essere sottovalutati. Ci si può immaginare di essere invulnerabili e di rimanere indenni. Si cercano conferme non ufficiali su quanto sta accadendo. Per alcune persone prevale un senso di impotenza e confusione. Quando è troppo tardi può sopravvenire il panico.
- *fase del pericolo*. A questo stadio il pericolo è imminente ed è inevitabile. Le persone diventano più vigili e sono spinte ad agire. Diminuisce la coordinazione motoria e aumenta l'agitazione. Per salvarsi si può ricorrere a misure ingenue e inefficaci. Le persone sono prese da stupore. Possono manifestarsi reazioni fisiche quali tremore e brividi di freddo. Le reazioni emotive prevalenti sono quelle di spavento, angoscia con sentimenti impotenza. Alcuni credono d'essere stati presi di mira da un destino crudele o da Dio. Altri provano sentimenti di abbandono da parte dei vicini e delle autorità.
- *fase dell'impatto*. E' la fase durante la quale il disastro causa distruzione con morti e feriti. L'impatto può durare qualche secondo (esplosione) oppure più giorni (terremoto). Le persone sono in preda allo stupore e provano reazioni fisiche di tremore, torpore, nausea. Le reazioni emotive sono quello di spavento, angoscia profonda, sentimenti di disperazione.
- *fase di ricognizione*. E' il periodo che segue immediatamente l'impatto del disastro, quando i sopravvissuti escono dai ripari, fanno il punto su quello che è successo, si preoccupano della sorte dei familiari e poi degli amici e dei vicini. Le reazioni emotive si caratterizzano per sgomento, apatia, talora per uno stato di shock, ripiegamento su di sé, rifiuto di credere che sia avvenuto ciò che è capitato. Le persone si sentono disorientate, alcune vagano senza meta. Molte persone provano sentimenti immediati di gratitudine e sollievo per essere sopravvissuti.
- *fase di salvataggio*. È quella in cui si svolgono le prime attività d'urgenza. I sopravvissuti anche se feriti si fanno soccorritori essi stessi nei riguardi delle altre vittime del disastro e dei feriti più gravi, prestando le prime cure, reagiscono positivamente allo scampato pericolo. Alcuni autori chiamano questa momento la "fase eroica".
- *fase di ripristino*. Inizia il periodo chiamato "luna di miele". Dura da qualche giorno a qualche settimane. La gente si dà da fare per riparare i danni, si riaprono le abitazioni e si fanno dei piani per la ricostruzione. Il morale sale grazie all'aiuto. Man mano che si recuperano le proprie cose comincia però ad affacciarsi la delusione e si fanno i conti con la dura realtà dei fatti e delle perdite. Iniziano le prime fasi del processo di lutto per le perdite subite: negazione, collera, negoziazione, depressione, accettazione. La negazione si può manifestare con il rifiuto di ritornare ad abitare la casa di prima. Appaiono vari sintomi somatici e psicologici: inappetenza, insonnia, collera, sensi di colpa nei confronti dei morti, magari si pensa di non aver fatto tutto il possibile. Piccoli segnali evocano il pericolo scampato.
- *fase della disillusione*. Trascorsi i primi giorni e superate le prime settimane subentra un sorta di consapevolezza che i tempi per il ritorno alla normalità saranno lunghi, che le sofferenze patite non verranno facilmente cancellate. E' il periodo nel quale viene meno l'attenzione dei mass media e la presenza massiccia degli aiuti. Le persone cominciano a lamentarsi della lentezza degli aiuti, delle promesse non mantenute, dell'abbandono, delle differenze di trattamento. Sono in agguato reazioni di depressione, di ostilità, di malessere psicofisico.
- *fase di ricostruzione* materiale e sociale e di riequilibrio delle emozioni**.** Il successo dipende dalla possibilità che si ripeta o no il disastro, dalla messa a disposizione di risorse economiche, dai tempi nella ricostruzione, dall'appoggio fornito dai concittadini, dall'unione familiare, dalle convinzioni religiose. I sopravvissuti ad un disastro possono sentirsi, tristi, stanchi, apatici, disorganizzati, in collera per i ritardi e la burocrazia, preoccupati dalle reazioni dei figli o per problemi finanziari. Possono essere in difficoltà per disturbi del sonno. Bisogna mettere in conto che la ripresa può durare mesi o anni.

L'INTERVENTO DEGLI PSICOLOGI DELL'EMERGENZA

Agli psicologi dell'emergenza si richiedono oltre alle proprie competenze professionali, conoscenze molto accurate sul funzionamento della macchina dei soccorsi e della catena di comando, una buona capacità di adattamento ad una logistica di emergenza condivisa con tutti gli altri soccorritori, attitudini al lavoro di squadra e alla gestione dello stress personale, appartenenza ad una associazione di buona esperienza. Si tratta di prerequisiti per poter esercitare al di fuori degli abituali setting psicologici, le competenze di base dello psicologo: valutazione dei bisogni psicologici della comunità e dei singoli in rapporto alla gravità dei lutti e delle altre perdite, pianificazione di risposte adeguate alle risorse disponibili per numero e per turnover degli psicologi soccorritori, valutazione degli esiti delle attività svolte.

Le linee guida internazionali raccomandate dall'Organizzazione Mondiale della Sanità indirizzano l'intervento verso il primo aiuto psicologico e verso le attività psicosociali e di promozione della resilienza delle popolazioni. Ridimensionata è stata l'enfasi che nel decennio di fine 900' era stata posta sulla prevalenza delle patologie, quali il Post Traumatic Stress Disorder e sulla generalizzazione degli interventi clinici, oggi riservati alla struttura denominata *"Posto di Assistenza Socio Sanitaria (PASS)"* nella quale gli psicologi dell'emergenza, legittimati all'esercizio della psicoterapia, vanno ad operare ad integrazione dei servizi psicologici della regione.

In sintesi agli psicologi dell'emergenza sono richieste le seguenti attività professionali:

- *attività psicologica* diretta alle persone, ai familiari e alla comunità colpita dall'emergenza, quali: primo aiuto psicologico, interventi di stabilizzazione emotiva, assistenza ai familiari nel riconoscimento delle salme, cura della comunicazione di cattive notizie, colloqui di sostegno individuale e familiare, ascolto psicologico di gruppo, iniziative di psico- educazione, visita a persone e famiglie su richiesta dei servizi. Nei Posti di Assistenza Socio Sanitaria gli psicologi psicoterapeuti possono svolgere attività di psicodiagnosi, psicoterapia, riabilitazione psicologica;
- *attività psicosociale* integrata alle altre attività di soccorso per garantire il benessere psicosociale e prevenire il disagio

In bozza

mentale quali: la promozione di soluzioni organizzative e gestionali favorevoli al mantenimento della salute psichica nelle tendopoli (tramite particolari attenzioni igieniche, alimentari, ambientali ecc.); la promozione e il supporto a specifiche iniziative di carattere culturale, religioso, educativo, ludico e di tempo libero orientate alla ripresa della quotidianità perduta o interrotta; la collaborazione con i Capi Campo in momenti di incontro con gli ospiti delle tendopoli per comunicazioni e discussioni su argomenti legati alla convivenza nel campo, alle iniziative da intraprendere per particolari disagi comunitari, agli spostamenti, alla chiusura della struttura; la collaborazione con tecnici esperti (geologi, ingegneri) nella promozione, organizzazione e attivazioni di incontri con la popolazione sui temi (sensibili anche da un punto di vista psicologico) delle varie catastrofi naturali; collaborazione in attività di educazione, istruzione, assistenza sociale tramite altro personale di soccorso;

- *attività psicologica di consulenza* ai livelli gestionali, quali: collaborazione nella valutazione e monitoraggio dello stress e della conflittualità nelle tendopoli o tra i soccorritori; collaborazione per migliorare il clima comunicativo e relazionale; collaborazione nella gestione degli incontri di settore per la funzione psicosociale;
- *partecipazione alle esercitazioni* sia nella fase della programmazione, che dell'informazione alla popolazione (comunità, scuole, ecc.) e svolgimento; alle squadre di soccorritori di prima linea; interventi di stabilizzazione emotiva; colloqui individuali di valutazione e sostegno; promozione di iniziative per la prevenzione, per la gestione dello stress, per la comunicazione con gli ospiti della tendopoli.

SINERGIE TRA GEOLOGI E PSICOLOGI IN EMERGENZA

C'è un particolare stretto legame che unisce le persone alla propria terra. *"Nella storia della filosofia antica e della spiritualità di tutti i tempi c'è anche l'dea di un'anima che viaggia, che scende verso la terra dalla quale poi riparte per tornare a Dio".* (Liotta E. 2005). Uno scritto di Jung C. aveva come titolo originario *"La dipendenza della psiche dalla terra"* (Liotta E.2005). *"Ci vogliono parecchi luoghi dentro di sé per avere qualche speranza di essere se stessi"*, scrive lo psicoanalista Pontalis J. citato da Lingiardi V. (2017)

La psicologia ambientale ha studiato i singolari e intensi *"attaccamenti"* delle persone ai luoghi nei quali è impiantata la casa che abitano, in cui sono nate e cresciute, dove hanno fatto i primi passi e le prime scoperte e hanno intessuto le prime relazioni. Quella terra che raccoglie le spoglie di antenati e famigliari. La terra che impregna i loro sensi, che produce nutrimento e lavoro e che condividono con gli animali che la abitano, la percorrono, la sorvolano o la penetrano. La terra che l'acqua bagna e il sole scalda. La terra che accoglie monumenti, chiese e musei con le opere d'arti, piazze e giardini. L'*attaccamento ai luoghi* (Giani Gallino, 2007) presenta singolari affinità con *l'attaccamento alle figure parentali* (Bowlby, 1989) che tanto influsso ha sullo sviluppo evolutivo, la definizione del sé delle persone, il grado di vulnerabilità alle avversità nel cammino della vita e la capacità di farvi fronte. I luoghi che, secondo James Hillman, possiedono un'anima. Gli studiosi propongono cinque possibili categorie e forme di attaccamento ai luoghi: emotivo-familiare, di ordine estetico, funzionale, socio-emotivo, cognitivo-culturale.

In caso di emergenza tutte le persone riattivano stili e modalità specifiche del loro percorso di sviluppo nel quale ci sono anche fissazioni e regressioni. Con le persone sopravvissute ad un terremoto, con la loro storia di **attaccamento ai luoghi**, tutti i soccorritori devono fare i conti.

Dalle esperienze che dopo i terremoti e gli altri disastri naturali, gli psicologi dell'emergenza hanno acquisito lavorando con le persone accolte nei centri di accoglienza o incontrando la popolazione nelle campagne di prevenzione" sono emerse due possibili forme di collaborazione tra geologi e psicologi: 1) nelle iniziative strutturate di psicoeducazione (Pietrantoni 2007) per gruppi di sopravvissuti dove alle conoscenze e proposte di tipo psicologico per gestire lo stress si possono accompagnano con indubbia efficacia le conoscenze delle discipline geologiche per comprenderne il funzionamento degli eventi catastrofici e il modo migliore per proteggersi; 2) nelle iniziative rivolte alla prevenzione per migliorarne l'efficacia informativa e comunicativa anche al fine di superare le resistenze cognitive ed emotive (Zuliani, 2006) che si oppongono all'acquisizione di scelte e comportamenti adeguati e resilienti.

BIBLIOGRAFIA

Axia V. (2006), *Emergenza e Psicologia*, Il Mulino, Bologna.

Banti F. Giornetti A., Sancassiani F. (2010), *Onna, le voci della sua gente*, Editori Riuniti, Firenze

Bonomi C., Borgogno F. (2001), *La catastrofe e i suoi simboli*, Utet, Torino.

Carrère J. (2008), *Le terre infrante*, Città del Sole Editore, Messina.

Ceccarelli G. (2016), *Psicologia e psichiatria di fronte alle emergenze: primi contributi italiani (terremoto di Messina e Reggio Calabria 1908)* in Rivista della Psicologia dell'emergenza e dell'assistenza umanitaria n. 16, http://www.psicologiperipopoli.it/files/Numero%2016.pdf

Cyrulnik B., Malaguti E. (2005), *Costruire la Resilienza,* Erickson Trento.

Council of the European Union (2010), *Council conclusions on psychosocial support in the event of emergencies and disasters.3018th JUSTICE and HOME AFFAIRS Council meeting* 3 June 2010, Luxembourg. (http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/en/jha/114856.pdf)

Dragoni M. (2005), *Terrae Motus,* Utet, Torino.

Galliano D. (2013), *Le funzioni specifiche delle IASC* in Rivista di psicologia dell'emergenza e dell'assistenza umanitaria n. 10 http://www.psicologiperipopoli.it/files/Numero%2010.pdf

Galliano D. e A.A. (2012), *L'ambulatorio psicologico del Posto di Assistenza Socio Sanitaria* in Rivista di psicologia dell'emergenza e dell'assistenza umanitaria n. 8 http://www.psicologiperipopoli.it/files/Numero%208.pdf

Giani Gallino T. (2007), *Luoghi di Attaccamento*, Raffaello Cortina, Milano

Hillman J. (2004), *L'anima dei luoghi*, Rizzoli, Milano

Iacolino C. (2016), *Dall'emergenza alla normalità*, Franco Angeli, Milano.

IASC (2007), Guidelines on Mental Health and Psychosocial Support in Emergency Setting (http://www.who.int/mental_health/emergencies/IASC_guidelines.pdf)

Ligi G. (2009), *Antropologia dei Disastri*, Editori Laterza, Bari.

Linciardi V. (2017), Mindscapes, psiche nel paesaggi, Raffaelo Cortina, Milano

Liotta E. (2005), *Su anima e terra,* Edizioni Magi, Roma

Morabito R. (2011), *Il gran tremore*, L'Una, L'Aquila.

Placanica A. (1985), *Il filosofo e la catastrofe*, Einaudi, Torino.

Placanica A. (1987), *Goethe tra le rovine di Messina*, Sellerio, Palermo.

Pietrantoni L., Prati G. (2009), *Psicologia dell'Emergenza*, Il Mulino, Bologna.

Ranzato L. (2010), *Il volontariato degli psicologi della Protezione Civile* in Rivista di psicologia dell'emergenza e dell'assistenza umanitaria n. 4 http://www.psicologiperipopoli.it/files/Numero%204.pdf

Seneca L.A. (2017), *Lettera a Lucillo*, Foschi, Santarcangelo

Tiberi C. (1639), *Nuova e vera relazione del terribile e spaventoso terremoto successo nella citta di Matrice*, https://it.wikisource.org/wiki/Categoria:Testi_di_Carlo_Tiberi

Voltaire, Rousseau, Kant (2004) *Sulla catastrofe*, Bruno Mondadori, Milano

Young BH. e AA. (2002), *L'assistenza psicologica nelle emergenze*, Ericsson, Trento.

Zuliani A. (2006), *Manuale di Psicologia dell'emergenza*, Maggioli Editore, RSM.

IN BOZZA

Come i media raccontano un'emergenza

As the media tell an emergency

Luca Calzolari
Direttore de Il Giornale della Protezione Civile.it
E-mail: direttore@ilgiornaledellaprotezionecivile.it

Parole chiave (*key words*): terremoto (*earthquake*), emergenza (*emergency*), media (*media*)

Roberto Ciuni. Un nome che forse a qualcuno suonerà familiare, ma che in molti non sapranno riconoscere né collocare nel tempo. Eppure lui, cresciuto in una famiglia di librai e siciliano di nascita, è l'autore di un titolo di prima pagina entrato nella storia. Come direttore del quotidiano "Il Mattino" scrisse quel «Fate presto» sulla prima pagina del giornale uscito in edicola mercoledì 26 novembre. Era il 1980 e quell'edizione fu venduta in trecentomila copie. Un vero e proprio record. Raccontava il disastro ancora in corso e i drammatici effetti del devastante terremoto di magnitudo 6.8 che colpì l'Irpinia la notte del 23 novembre causando migliaia di morti. I dati, quelli certi e verificati, si scoprirono solo più tardi. Quel titolo disperato - una richiesta di aiuto gridata affinché i soccorsi fossero più tempestivi e immediati - era però accompagnato da informazioni non del tutto corrette. «Cresce in maniera catastrofica il numero dei morti (sono 10.000?) e dei rimasti senza tetto (250.000?)». È questo ciò che si leggeva sopra il titolo di apertura. Alla fine i morti furono 2.914, gli sfollati circa 280mila, i feriti 8.848. La notte del terremoto Roberto Ciumi spedì più di cinquanta cronisti in Irpinia e quella narrazione del terremoto gli valse non solo la medaglia civile al valore, ma anche una citazione illustre (Andy Warhol trasformò infatti quella prima pagina in un'opera d'arte).

Da quel sisma non sono ancora trascorsi quarant'anni. Eppure molto è cambiato. Una rivoluzione che in questi pochi decenni ha coinvolto il mondo della protezione civile, che nel frattempo si è organizzato trovando confini e strutture ben determinate. Ma soprattutto si è radicalmente trasformato il metodo della narrazione. Al di là delle prime comunicazioni, confuse e imprecise, il racconto del 1980 si è basato sulla testimonianza diretta di quei cronisti spediti da Ciumi in Campania. Non stupisca, quindi, che quel «Fate presto» sia uscito sulla prima pagina del 26 novembre. Ovvero tre giorni dopo il sisma. Un tempo allora necessario, ma oggi impossibile anche solo da immaginare. Perché tre giorni sono un eternità. Lo sono pensando all'organizzazione moderna dei soccorsi, ma lo sono anche per un'informazione che oggi avviene - pur non priva di difetti e sensazionalismi - in tempo reale. L'appello «Fate presto» era inoltre seguito da una declinazione necessaria: «... per salvare chi è ancora vivo, per aiutare chi non ha più nulla». Un accento che si pone sull'emergenza-urgenza di salvare vite umane e sulla necessità di tendere una mano a chi, in quel momento, si scopriva all'improvviso privato di ogni suo bene.

Le trecentomila copie vendute nel 1980 dimostrano quella tendenza del cittadino-lettore a essere coinvolto e spinto dall'onda emotiva. Accadeva allora e accade con ancora oggi, forse con maggiore forza. Perché i canali di comunicazione si sono moltiplicati e l'informazione si è fatta virale. Ciò che emozionava allora, generando una diffusa commozione e alimentando una sincera empatia con le vittime, emoziona ancora oggi. E l'emozione, se tradotta in termini mediatici, significa *share*: aumentano i telespettatori dei tg e i radioascoltatori dei gr, aumentano le copie vendute dei giornali, crescono esponenzialmente i click sugli articoli on-line, si moltiplicano i retweet e le condivisioni su Facebook. Tutto questo, oltre al valore della cronaca, ha anche un valore economico.

Ma attenzione, non si tratta di una meccanica virtuosa. Queste dinamiche devono essere gestite e governate con grande attenzione e responsabilità. Una cautela necessaria e indispensabile, soprattutto quando il giornalista è chiamato a rispondere - prima ancora che della testata per cui lavora o collabora - al bisogno d'informazione immediata del lettore (cartaceo, digitale, social)-telespattore-radioascoltatore. Un'attenzione che paradossalmente non dura a lungo. Non importa quando drammatico sia un terremoto o quanto catastrofica sia un alluvione. Ben al di là del numero dei morti e della lista di casa crollate o allagate, ben oltre il dramma dei territori colpiti, i riflettori che reattivi si accendono sulle emergenze spesso si spengono in poco tempo con un altrettanto rapido tempismo. È ciò che accade soprattutto da parte dei media mainstream generalisti, che di fatto riflettono quello stesso bisogno manifestato dagli utenti. Dopo poco più di una settimana (unica parziale eccezione forse il sisma del Centro Italia con la sua tempesta perfetta rappresentata dalle incredibili nevicate e dalla tragedia Rigopiano) qualsiasi cosa accada, l'utente perde interesse e i media assecondando quella tendenza proponendo altri argomenti. Ricordo un articolo pubblicato da l'Espresso un po' di tempo fa in cui si analizzavano le ricerche su Google. Cosa emerge? Un dato inquietante: l'interesse si muove come un'onda, un picco d'attenzione e poi via. E dopo dieci giorni le ricerche vanno a zero. Dai terremoti agli attentati, dalle epidemie alle stragi. Non c'è nulla che sia capace di tenere alta la soglia di attenzione. Una tendenza che non accenna a invertirsi. È anche per questo che le raccolte di fondi per i terremotati si concentrano soprattutto nelle ore e nei giorni successivi. Perché chi le promuove sa bene che la ricostruzione dei paesi colpiti - quella strutturale, certo, ma anche quella del tessuto sociale - durerà anni. Ma è anche consapevole che è soltanto durante quella breve onda emotiva che il cittadino sarà così empaticamente coinvolto da essere spinto a un gesto di sincera solidarietà. Ben presto ci si dimenticherà di (quasi) tutto. E quei riflettori che spesso si sono spinti con invadenza e scarsa sensibilità nelle vite distrutte delle vittime si spengeranno per poi fare di nuovo luce (nel migliore dei casi) solo in occasione di ricorrenze o anniversari. «Be', il calo è fisiologico» diceva l'allora Capo dipartimento della Protezione civile, Fabrizio Curcio, a quasi due mesi dal sisma che nell'agosto 2016 colpì il Centro Italia. «Quando si verifica un evento così tragico, nel nostro paese scatta immediato il meccanismo della solidarietà. Ma è normale che dopo un po' ci sia una flessione dell'attenzione da parte di chi non vive direttamente il problema».

A questo punto sarebbe necessario creare una netta distinzione tra la comunicazione dell'emergenza e la comunicazione del rischio. I media - soprattutto quelli italiani, ma non solo - tendono a lasciarsi trasportare dalla prima dimenticando la seconda. Ma è solo grazie alla comunicazione del rischio e alla promozione delle campagne di prevenzione (e dei corretti comportamenti) che si crea

ANTEPRIMA

cultura producendo una reale informazione di servizio. D'accordo, la comunicazione del rischio non è notiziabile al pari di un improvviso terremoto. Ma è bene ricordare che l'Italia è un paese fragile e i media, così come i social network, sono strumenti potentissimi capaci di incidere sulle abitudini, sull'elaborazione del pensiero, sulla cultura. Relegare la loro funzione a una mera cronaca voyeuristica temporalmente limitata all'emergenza significa rinunciare a un importante funzione sociale.

Sia chiaro: le prospettive non sono così nere come potrebbe sembrare. Sui giornali e in televisione trovano spazio anche campagne create ad hoc, come ad esempio "Io non rischio"; un'iniziativa promossa e realizzata dal Dipartimento della protezione civile insieme ad Anpas, Ingv e ReLuis per promuovere la cultura della prevenzione e per far acquisire ai cittadini un ruolo attivo nella riduzione dei rischi. Sì, è bene essere informati sui corretti comportamenti in caso di terremoti, maremoti o alluvioni. Ma la comunicazione più efficace, quella capace di penetrare a fondo lasciando tracce sensibili nelle coscienze e di aumentare la consapevolezza di ciascuno, è quella che passa (anche) dalle storie. Una narrazione che è ormai entrata a far parte del quotidiano. Quasi la totalità dei media (non solo mainstream) utilizzando lo storytelling come strumento. Semmai resta da chiarire qual è il fine: informare, emozionare o sensibilizzare?

«Hanno pianto un poco, poi si sono abituati. A tutto si abitua quel vigliacco che è l'uomo», scriveva il filosofo russo Dostoevskij parecchio tempo fa. Una frase citata da Actionaid Italia per commentare la foto di Aylan, il bambino migrante raccolto da un soccorritore quando era ormai privo di vita sulla spiaggia di Bodrum, in Turchia. Ebbene, ciò che la politica internazionale non era stata capace di fare fino a quel momento è stato reso possibile dopo l'onda di commozione che ha è seguita alla quella fotografia. Un'immagine che ha fatto il giro del mondo. Una foto che racconta la storia di un cucciolo d'uomo che ha un nome, un cognome, una famiglia. Il sacrificio di Aylan è riuscito a creare un effetto domino, qualcosa che neppure i grandi numeri sulle migrazioni (e i conseguenti bollettini di morte) non erano riusciti a ottenere. Quella storia ha infatti sortito un effetto politico con la decisione della cancelliera tedesca Angela Merkel, che solo in quel momento decise di sbloccare le frontiere della rotta balcanica aprendo di fatto la porta a decine di migliaia di persone che cercarono così di raggiungere Austria, Germania e Nord Europa.

La drammatizzazione di una singola storia ha avuto un effetto concreto su larga scala. Un'analisi che non può - né deve - essere interpretata con freddo cinismo. Questo episodio ci è però utile per comprendere meglio i meccanismi e gli effetti di una comunicazione in continuo mutamento. Una narrazione che non sempre coglie l'essenza stessa della sua funzione. Basta ricordare il più recente terremoto che ha colpito l"isola di Ischia e la costa flegrea nell'agosto scorso. Il bilancio finale sarà di due morti e quarantadue feriti, ma il racconto emotivo si è spinto ben oltre il necessario. L'evacuazione dell'ospedale, il panico diffuso e comunicato - anche via social - da parte dei tanti turisti presenti, i crolli, le immagini video del neonato estratto vivo dalle macerie. Quanta commozione. Ma anche quanta invadenza. Si sa, raggiungere (o evacuare) un'isola dopo un'emergenza è un'operazione assai complessa. E in quella sera di agosto, per tutta la notte, abbiamo assistito a maratone televisive e dirette nel corso delle quali l'informazione aveva assunto il ruolo dell'ospite invisibile. Gli aggiornamenti erano letture fedeli delle agenzie stampa. E allora come occupare quel lungo spazio che teneva ugualmente i telespettatori incollati alla tv e ai social network? La risposta è ancora una volta la stessa: con la narrazione.

Ma il rischio di trasformare il racconto del reale in una presenza ingombrante e impacciata sui luoghi dell'emergenza è altissimo. E così anche in quel caso abbiamo assistito a inviati locali (i più vicini al luogo del sisma, ovviamente) proiettati su reti nazionali ma talvolta incapaci di approcciarsi col giusto rispetto all'emotività di chi in quel momento



Andy Warhol, fate presto. Foto Michele Bonuomo

era vittima. Abbiamo assistito in diretta al racconto del viaggio in traghetto. L'apertura del portellone, lo sbarco dei mezzi, l'arrivo dei soccorritori. Uno storytelling che quando faceva prevalere il voyeurismo non si faceva portatore né d'informazione né di cultura, ma che rasentava l'intrattenimento in un drammatico momento di verità. Una sorta di catastrofico reality. E tutto questo solo per assecondare lo stesso identico bisogno che lo spettatore-utente alimenta surfando sullo tsunami emotivo.

L'auspicabile auto-responsabilità del cittadino passa anche dall'equivalente auto-responsabilità del narratore, che per coprire quei lunghi spazi oggi è alla ricerca di informazioni. E qui entra in gioco anche il tema delle fonti. Come sempre accade, in caso di emergenza la principale risorsa d'informazione è sempre e comunque quella che si trova sul territorio colpito. Ma se gli inviati di Roberto Ciuni hanno impiegato tre giorni per raggiungere il luogo del terremoto e raccontare al paese cosa stava accadendo in Irpinia, negli anni dieci del nuovo secolo la contemporaneità è diventata una prerogativa. Prima ancora che l'agenzia di stampa lanci la notizia, su Twitter - che di recente ha raddoppiato i 140 caratteri rinunciando a quella caratteristica che lo aveva reso unico (perché la sintesi, oltre che una dote, è un dono raro) - gli utenti hanno già fatto sapere cos'è accaduto e dove. Qualcuno lo definisce con un po' di ambizione "street journalism". Una sorta di giornalismo partecipativo che si traduce, se approcciato con responsabilità, in una moltiplicazione di sentinelle del territorio. Le foto scattate e postate rimbalzano su giornali e tg, i racconti - prima stretti in 140 caratteri e ora raddoppiati - vengono rilanciati in tv, gli screenshot pubblicati on-line. Ma qual è l'attendibilità di quelle fonti? Un problema che resta ancora senza una soluzione ben chiara. Il bollino blu rilanciato da Twitter certifica gli account ma non il contenuto. Per saperlo interpretare occorrono ancora una volta responsabilità e conoscenza. Due elementi imprescindibili di chi fa comunicazione. Con Il Giornale della Protezione civile.it, che ho fondato e che dirigo, in collaborazione col Dipartimento di Protezione civile abbiamo avviato anni fa il percorso #SocialProCiv proprio con l'obiettivo di fare chiarezza sull'uso dei social media in emergenza e sull'attendibilità delle informazioni trasmesse. In mancanza di una fonte certa e attendibile, ad esempio, grazie alla reputazione maturata con il lavoro di questi anni, durante gli ultimi terremoti nel Centro Italia i tweet lanciati dal nostro canale (@giornaleprociv) sono stati ripresi e trasmessi in diretta dai principali tg (tra cui RaiNews e SkyTg24) e perfino nel corso di altre trasmissione televisive (Gazebo).

Se Il Giornale della Protezione civile.it è diventato una fonte è per meriti, certo, ma anche perché per i giornalisti è difficile identificare e individuare canali attendibili da cui attingere. Senza considerare poi il "rumore" che si crea sui social ogni qualvolta si verifica un'emergenza: dagli epic fail di aziende («Paura del terremoto? Molliamo tutto e scappiamo a Santo Domingo» fu il tweet di Groupalia Italia) a quelli di presunte celebrity (Justine Mattera scrisse così: «Direi che la scelta della scarpa è fondamentale durante un terremoto», facendo seguire il nome dello store e la conseguente foto dei suoi piedi ben saldati dentro un'inedita calzatura); poi ci sono anche gli innumerevoli cinguettii che si limitano inutilmente a gridare "Terremoto!", "Paura!", "Qua trema tutto!". Ovviamente anche la Mattera fa notizia, ma questo dovrebbe farci riflettere su come (e quanto) sono cambiati i comportamenti dei media e dei cittadini-utenti negli ultimi anni.

Siamo ben lontani dall'alluvione che colpì Firenze ormai più di mezzo secolo fa. Un anniversario che è stato celebrato lo scorso anno proprio nel giorno in cui - strani destini che dimostrano ancora una volta l'enorme fragilità dei nostri territori - la città fu colpita da una nuova piena dell'Arno. Ricordando però l'alluvione del 1966 non possiamo prescindere da un altro significativo aneddoto, che ci è utile a capire meglio come sia cambiata la comunicazione (pardon, la narrazione) dell'emergenza. A capo dell'allora redazione regionale della Rai c'era il giornalista Marcello Giannini, che spedì i suoi operatori nelle zone strategiche della città affinché potessero raccogliere documentazioni video dell'alluvione. Col peggiorare della situazione, gli operatori fecero ritorno in redazione, in piazza Santa Maria Maggiore, a pochi passi dal duomo.Si racconta che lì si trovarono costretti a chiudere il portone perché l'acqua stava salendo. E sempre lì rimasero bloccati a lungo, impossibilitati a sviluppare e a trasmettere le immagini. Si limitarono a effettuare nuove riprese dalle finestre dei piani alti. Immagini che solo giorni dopo avrebbero fatto il giro del mondo. Mentre Giannini, che utilizzò l'unico canale di comunicazione possibile (la radio) per far sapere alla sede centrale Rai cosa stava accadendo, si sentì rispondere così dai colleghi romani: «Nei parleremo al prossimo collegamento, intanto andate a prendervi un caffè». Ma là fuori il fiume aveva invaso la città. Eccetto i testimoni diretti, nessuno in quel momento riusciva a immaginare la portata catastrofica di quell'evento. Fu in quel momento che Marcello Giannini decise di aprire la finestra e di sporgere il microfono. «Ecco, lo sentite? Vi giunge il rumore? Questo non è un fiume. È via Cerretani, è il cuore di Firenze invaso dall'acqua». Solo in quel momento, a Roma come in tutta Italia, ci si rese conto di quanto fosse grave la situazione.

Cinquant'anni dopo è sufficiente uno smartphone per filmare, documentare e trasmettere eventi simili. Non giorni dopo, ma in tempo reale. Basta un click affinché chiunque possa effettuare una diretta video, su Facebook come su Instagram. E se tutti possono raccontare, a qualcuno spetta il compito si interpretare, tradurre e restituire. Eppure sempre più spesso quelle impattanti immagini filmate dai cittadini finiscono per essere trasmesse senza che ci sia applicato un filtro interpretativo. Non ci sono più mediazioni, perché il primo nemico della comunicazione è il tempo. Si tende a raccontare il "prima possibile", quando il primo obiettivo dovrebbe invece essere quello di una narrazione che sia la "migliore possibile". Il mainstream assomiglia sempre di più a un aggregatore, rinunciando di fatto allo storytelling qualitativo e responsabile. Maggiori sono le potenzialità offerte dalle tecnologie diffuse della comunicazione tanto più grande deve essere il senso di responsabilità di chi veicola i contenuti.

Ecco perché è importante la comunicazione del rischio. Come sosteneva l'ex Capo Dipartimento della Protezione civile Franco Gabrielli, oggi a capo della Polizia, per un'efficace informazione in emergenza «è fondamentale un costante e paziente lavoro di comunicazione del rischio in tempo di pace» e di «un'educazione dei cittadini, di tutte le età, a una più corretta convivenza con i rischi esistenti sul territorio. Solo comunità consapevoli, informate e formate sui comportamenti corretti da tenere prima, durante e dopo un evento calamitoso possono esigere dai propri amministratori l'adeguata attenzione ai temi di protezione civile e di tutela dei beni e del territorio».

Per quanti sforzi possano fare i canali tematici, questa attenzione dovrebbe appartenere anche – e soprattutto – alla comunicazione mainstream. Affinché non si racconti solo l'ultimo atto, quando l'acqua è ormai entrata ai primi piani delle abitazioni costruite nelle aree golenali dei fiumi. Ma per tempo, ovvero quando è necessario compiere scelte e definire l'elenco delle priorità per le proprie comunità. «Senza conoscenza, infatti, non potrà mai scattare la molla dell'impegno da parte della cosiddetta società civile». Ancora parole di Gabrielli, che infine aggiunse: «Fortunatamente non siamo più al tempo dell'accorato, quanto disarmante, "Fate presto" urlato pochi giorni dopo il terremoto del 1980. Ma vogliamo essere il servizio nazionale caratterizzato dal "Facciamo prima"...". Ebbene si, concordo, così dev'essere la Protezione civile e così dovrebbe essere anche per la comunicazione. Non facciamo presto, facciamo prima (e meglio).

ANTEPRIMA

2. IL RUOLO DELLE ISTITUZIONI

II BOZZA

Il monitoraggio sismico del territorio Italiano

The seismic monitoring of the Italian region

Gaetano De Luca
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Centro Nazionale Terremoti

Nicola Venisti
Università degli Studi di Bari Aldo Moro – Osservatorio Sismologico

Parole chiave (*key words*): sismicità (*seismicity*), monitoraggio sismico (*monitoring*), stazioni sismiche (*seismic station*), terremoti (*earthquake*)

INTRODUZIONE

L'Italia è un territorio geologicamente giovane e per questo molto esposto al verificarsi dei terremoti; molteplici sono le raccolte e le cronache che descrivono gli eventi sismici che si sono succeduti nel tempo, già a partire dai tempi dell'Impero Romano.

Nel corso dei secoli nel riportare le informazioni legate ai terremoti la semplice descrizione degli effetti ha assunto sempre più connotazioni scientifiche; nel contempo è maturata la necessità di monitorare il fenomeno e così, tecnologie militari atte a localizzare le potenti cannoniere o le rampe di lancio dei missili durante la seconda guerra mondiale sono state perfezionate dando origine ai primi sismometri.

Nelle nazioni esposte al rischio sismico, cominciarono a sorgere Osservatori che avevano la funzione di registrare ed elaborare gli eventi sismici, occupandosi solo in parte di ricerca. In Italia nel 1954 fu istituito l'Istituto Nazionale di Geofisica (oggi INGV) che cominciò una attività di coordinamento e centralizzazione delle informazioni provenienti dai 23 punti di osservazione presenti sul territorio nazionale.

La Rete Sismica Nazionale Centralizzata (RSNC), gestita dall'ING, nasce nel gennaio 1980, contava appena 7 stazioni sismiche i cui segnali però arrivavano in tempo reale, tramite collegamento telefonico, all'Osservatorio Sismico di Monteporzio Catone a Roma. È l'inizio di un processo che porterà la Rete Sismica Nazionale a contare 53 stazioni nel 1986, 82 stazioni nel 1996, 90 all'inizio del 2000 e circa 350 oggi.

Le stazioni sismiche moderne montano sismometri digitali che misurano sia gli spostamenti verticali che quelli orizzontali e trasmettono i dati, non più solo su linea telefonica, ma anche via web, o tramite UMTS o con collegamenti satellitari. Alcune di queste stazioni sono multi-parametriche, cioè caratterizzate dalla presenza simultanea di più strumenti quali sismometri, accelerometri e GPS di precisione.

CARATTERISTICHE DI UNA RETE DI MONITORAGGIO SISMICO

Una rete di monitoraggio sismico è un insieme di strumenti, stazioni sismiche, ottimizzati per la registrazione delle onde elastiche generate da un terremoto. Una stazione sismica è costituita da un sensore (geofono) capace di rilevare il moto del suolo, da un acquisitore (convertitore analogico-digitale, ADC) che ne campiona il segnale, da un sistema di temporizzazione assoluta (generalmente GPS) e da un vettore di trasmissione dati (adsl, satellitare, umts, wifi, radio, ecc).

Oltre alla presenza di un numero adeguato di stazioni sismiche distribuite sul territorio è necessario un centro di acquisizione dove vengono centralizzati i dati e dove i segnali vengono analizzati in tempo reale per la localizzazione dei terremoti e la determinazione dei principali parametri di sorgente come la magnitudo (Ml ed Mw), il tempo origine, latitudine, longitudine e profondità dell'evento.

I principali criteri per ottimizzare una rete di monitoraggio sismico di una data area possono essere condensati in:

a. conoscenza iniziale, sia storica che strumentale (catalogo CSI-INGV), della sismicità che si intende studiare o monitorare (sorveglianza);
b. la spaziatura, cioè la distanza media tra le stazioni sismiche vicine della rete deve essere dello stesso ordine di grandezza della profondità media degli eventi attesi nell'area di studio;
c. definizione di una geometria attraverso il numero dei sensori (direttamente legato alle dimensioni dell'area) e della loro localizzazione tale da minimizzare i residui (incertezze sui parametri ipocentrali ed rms e quindi aumentare al massimo il cosiddetto potere risolutivo della rete sismica), massimizzare la copertura azimuthale e per definire una magnitudo minima rilevabile;
d. scelta dei sensori: velocimetri o accelerometri o entrambi, corto periodo o larga banda (broadband) o entrambi, solo componente verticale o 3 D (con la presenza delle due componenti orizzontali che per gli standard internazionali sono allineate rispettivamente Nord-Sud e Est-Ovest dove l'impulso positivo è, per definizione, il Nord per la prima componente orizzontale ed Est per la seconda componente);
e. modalità di installazione dei sensori se in superficie oppure in pozzo; l'utilizzo di sensori da pozzo migliora incredibilmente il rapporto segnale/rumore e quindi la capacità di rilevare eventi con magnitudo minori di 1.0; in alcuni casi tale scelta può essere inevitabile quando il sito scelto è, per esempio, fortemente antropizzato (chiaramente vicino aree metropolitane o aree con alta densità abitativa) oppure quando la presenza di sedimenti introduce nel segnale delle amplificazioni (risposta di sito) ad alcune frequenze tale da alterare la qualità della forma d'onda proveniente dalla sorgente sismica;
f. presenza di altri tipi di strumenti di misura come antenne GPS, tiltmetri o dilatometri da pozzo;
g. scelta del tipo di acquisizione del dato: registrazione locale o centralizzata o tutte e due, in continua o in trigger o tutte e due, campionamento alto o basso;
h. tutte le stazioni sismiche devono avere un tempo assoluto comune, in genere il GPS è il sistema più utilizzato ma esistono altri segnali per la sincronizzazione come il DCF (Digital Clock Frankfurt – Germania), segnale emesso in onde lunghe, con frequenza della portante pari a 77,5 kHz;
i. scelta dei punti dove installare la stazione sismica tali da avere un ottima risposta di sito cioè un ottimo rapporto segnale/rumore a tutte le frequenze dello spettro esaminato;
j. scopi principali nella realizzazione di tale rete di monitoraggio sismico che influenzerà le scelte ai punti (d), (e), (f), (g) ed (i);
k. budget finanziario a disposizione che influirà pesantemente nelle scelte presenti nei punti (c), (d), (e), (f), (g) ed (i).

I dati provenienti da una rete di monitoraggio sismico possono essere utilizzati per:

a. supportare la Protezione Civile nazionale e/o regionale;
b. caratterizzazione e studio delle sorgenti sismiche presenti nell'area ed in aree limitrofe;
c. studio dell'evoluzione spazio-temporale della sismicità;
d. calcolo dei parametri delle sorgenti sismiche, dei meccanismi focali, del momento sismico, ecc.;

In bozza

e. identificazione delle geometrie delle strutture sismogenetiche attive e delle possibile interferenze con le strutture adiacenti;
f. migliorare il modello di velocità dell'area interessata;
g. analisi spettrali per lo studio della risposta di sito;
h. studio della propagazione delle onde sismiche in mezzi non omogenei, anisotropi con presenza di topografia attraverso modellazioni numeriche;
i. tomografia sismica per la definizione di modelli di velocità 3-D più realistici;
j. microzonazione sismica (effetti di sito) molto utili per le definizioni dei Piani Regolatori dei Comuni ad elevata pericolosità sismica;
k. studi di hazard;
l. Early Warning;
m. produzione di shakemap;
n. mitigazione del rischio sismico;
o. della valutazione della Pericolosità sismica di dettaglio della regione:
p. possibilità di strumentare edifici a rischio sismico e di interesse sociale, economico, pubblico, monumentale e strategico quali ospedali, scuole, chiese, edifici antichi, ecc.

Non meno importante vi è la crescita culturale di popolazioni che devono e dovranno coesistere in realtà ad elevato rischio sismico, attraverso informazione di varia natura (pubblicazioni, pagine web, bollettini giornalieri ai Comuni interessati, alle redazioni dei giornali locali, agli Enti locali, ecc.); resta, in ogni caso, un potente strumento di monitoraggio ambientale.

STORIA DELLE RETI SISMICHE IN ITALIA L'OSSERVATORIO VESUVIANO

Per parlare della storia delle reti sismiche in Italia, non si può che partire dalla storia dell'Osservatorio Vesuviano. La storia e l'evoluzione delle reti sismiche trova difatti la sua origine nelle innovazioni e nello sviluppo apportato dai Borboni nel campo tecnologico, medico e sociale nel Regno delle due Sicilie.

L'attenzione dei Borboni per i terremoti si riscontra nel più antico Decreto relativo la sismica, datato 1627, dopo il terremoto che colpì la Campania, dove vengono codificati i primi metodi costruttivi antisismici; e nella Legge del Marzo 1784 emanata da Ferdinando II di Borbone "Istruzioni per la ricostruzione di Reggio", alla luce delle conseguenze del terremoto del Febbraio 1783 di Messina e della Calabria. Le eruzioni vulcaniche del 1737 e del 1794 avvieranno poi il processo che porterà alla inaugurazione dell'Osservatorio Vesuviano, sotto la direzione di **Macedonio Melloni**, uno dei maggiori scienziati dell'ottocento, nel 1845 in occasione del VII Congresso degli scienziati italiani, tenutosi a Napoli. Nel 1847 fu destituito dal sovrano che lo accusava di avere simpatizzato con i promotori dei moti liberali del 1848.

Con la destituzione di Melloni l'Osservatorio rimase in uno stato di completo abbandono fino al 1852, quando il fisico **Luigi Palmieri**, insegnante nell'allora Regia Università di Napoli ottenne il permesso di utilizzarlo per eseguire delle ricerche in campo meteorologico.

Divenuto direttore nel 1857, stabilì che l'istituto dovesse essere vulcanologico e vi si dovessero eseguire anche ricerche meteorologiche, sismologiche e, in generale, di fisica terrestre; furono così avviate, conformemente a questo programma, continue osservazioni geofisiche e vulcanologiche. Sotto la direzione di Palmieri, venne installato il primo sismografo e si avviò un monitoraggio sismico approfondito che lo porterà a progettare il primo sismometro talmente sensibile da rilevare le scosse non percepibili dall'uomo: le scosse strumentali.

Con l'unità d'Italia nel 1861 comincia il periodo buio dell'Osservatorio, un declino causato dal disinteresse dello stato italiano per le problematiche vulcanologiche e di conseguenza per le sorti dell'Osservatorio. Il Palmieri dirigerà l'Osservatorio fino alla sua morte nel 1896, in totale isolamento dalle istituzioni.

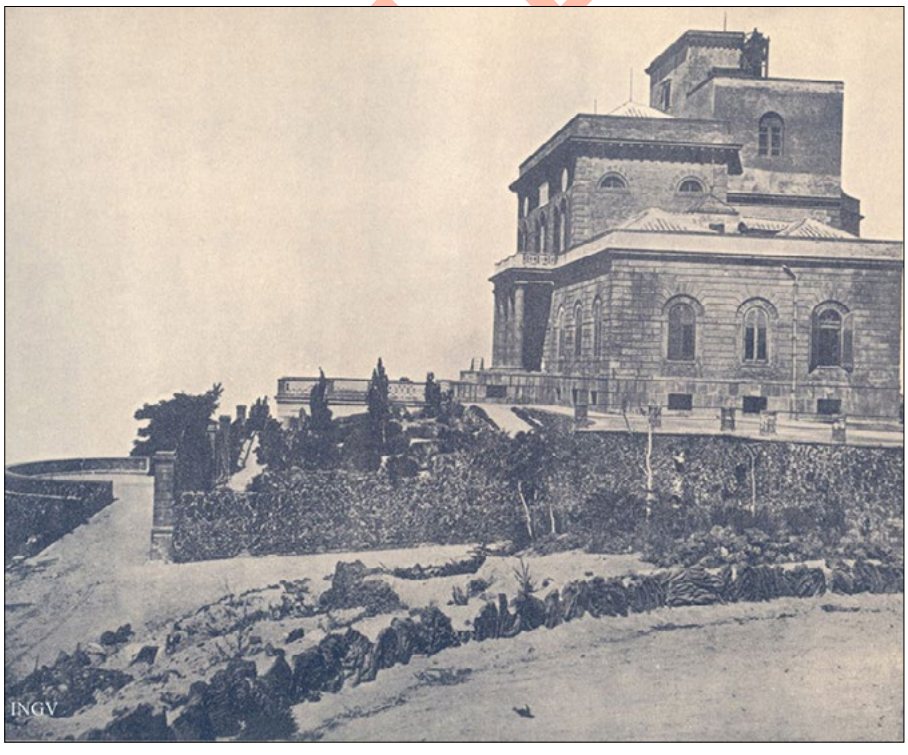


Figura 1 – Sede storica (1848) dell'Osservatorio Vesuviano

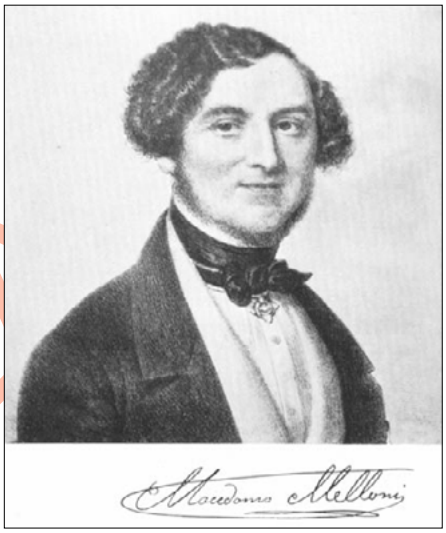


Figura 2 – Macedonio Melloni (1798-1854) Fisico e meteorologo, fu il primo Direttore dell'Osservatorio Vesuviano


Figura 3 – Luigi Palmieri (1807-1896) Vulcanologo e Sismologo, fu direttore dell'Osservatorio Vesuviano dal 1855 al 1896

Alla morte di Palmieri venne nominato direttore nel 1903 **Raffaele Vittorio Matteucci**, già coadiutore dell'Istituto di geologia dell'Università di Napoli. Attento studioso ed osservatore del Vesuvio, viene ricordato per l'atto eroico di essere restato con alcuni suoi collaboratori, all'interno dell'Osservatorio in occasione dell'imponente parossismo del 1906 e, nonostante che per alcuni giorni l'a-



Figura 4 – Giuseppe Mercalli (1850-1914) Vulcanologo e Sismologo elaborò la scala di intensità dei terremoti. Fu direttore dell'Osservatorio Vesuviano dal 1911 al 1914

rea fosse stata investita da una nube vulcanica, rimanendo al suo posto poté continuare a diramare alle autorità i bollettini sull'attività del Vulcano. L'atto coraggioso gli valse la medaglia d'oro con conferimento di onorificenze e la nomina a direttore fino alla sua morte, avvenuta nel 1909.

Come troppo spesso accade, quando si parla di vulcani e terremoti, l'interesse si risvegliò soltanto dopo le eruzioni che si verificarono tra il 1891 ed il 1899 e nel 1911 diventò direttore l'abate **Giuseppe Mercalli**, scienziato di notevole prestigio.

Mercalli, vulcanologo e sismologo noto in tutto il mondo, fu il quarto direttore di nomina dell'Osservatorio. A lui si devono il primo catalogo dei terremoti storici italiani, la carta sismica della Campania e la famosa scala sismica, adottata come scala ufficiale dall'Ufficio Centrale di Meteorologia. Fece parte di molti congressi e sodalizi, e poco prima della sua morte avvenuta in circostanze tragiche fu nominato Cavaliere della Corona d'Italia. Il suo improvviso decesso fece sospendere, sia pure per poco, l'attuazione di un vigoroso piano di lavori di ristrutturazione dei locali dell'Osservatorio nonché di rimodernamento dell'attrezzatura scientifica. Più tardi, nel 1928, a cura del Circolo Cattolico Universitario di Napoli, fu posta una lapide marmorea sul muro di cinta dell'Istituto scientifico.

In seguito alla scomparsa del Mercalli, la direzione dell'Osservatorio fu tenuta da alcuni docenti dell'Università di Napoli, costituenti un Comitato Vulcanologico Universitario e il l° febbraio 1927 la direzione passò ad **Alessandro Malladra**, a cui succedette **Giuseppe Imbò** nel 1935 che apportò importanti aggiornamenti nelle strumentazioni atte al monitoraggio sismico e vulcanologico. Dal 1971 al 1983 la direzione fu affidata a **Paolo Gasparini**, titolare della cattedra di fisica terrestre nell'Università di Napoli, L'Osservatorio compie un notevole balzo in avanti rinnovandosi nelle strutture, nei metodi e negli obiettivi di ricerca ed aprendosi al confronto con i più importanti organismi scientifici internazionali.

Un nuovo edificio viene costruito per ospitare moderne attrezzature. Si sviluppano i settori della vulcanologia di base, le tecniche di sorveglianza e la sismologia. Si realizza una rete sismica regionale centralizzata via radio e registrazione su nastro magnetico. Nel 1983 viene nominato direttore il professor **Giuseppe Luongo**, docente di fisica del vulcanesimo presso l'Università di Napoli; sotto la sua direzione l'Istituto deve affrontare l'emergenza del bradisismo puteolano, che serve tuttavia ad ammodernare e potenziare la rete di sorveglianza nell'area vulcanica napoletana.

Con la creazione dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) nel 1999, cominciò un travagliato processo di accorpamento dell'Osservatorio Vesuviano con la nuova Istituzione Nazionale, conclusosi nel 2001 quando, con il D.L. n.381 del 29 settembre 1999 ha perso la personalità giuridica ed è diventato Sezione INGV di Napoli.

Oggi l'Osservatorio Vesuviano è diretto dalla dott.ssa Francesca Bianco che da anni si occupa dello studio sulla sorveglianza sismologia delle aree vulcaniche attive del Sud Italia ed è un moderno istituto di ricerca e di sorveglianza sul territorio. Sismografi, mareografi e impianto geochimico, autentiche sentinelle del vulcano, coprono una vasta area con una fitta rete di osservazioni al Vesuvio, ai Campi Flegrei e nel mare di Pozzuoli.

DALL'ING ALL'INGV

L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) – ai sensi del decreto legislativo del 29 settembre 1999, n° 381, art. 2 comma 1, lettera (c) – " ... svolge funzioni di sorveglianza sismica e vulcanica del territorio nazionale e di coordinamento delle reti sismiche regionali e locali."

Pertanto il monitoraggio sismico del territorio nazionale viene gestito in larga parte, ma non esclusivamente, dal Centro Nazionale Terremoti (CNT) e costituisce quindi uno dei principali compiti istituzionali dell'INGV.

La RSN (Rete Sismica Nazionale) si compone attualmente di circa 400 stazioni sismiche (*Fig.* 5) che trasmettono dati in tempo reale mediante una serie di vettori di trasmissione diversi (adsl, satellitare, umts, wifi, ecc).

Al monitoraggio sismico dell'intero territorio nazionale contribuiscono anche dati ricevuti da altre reti locali, regionali ed estere, come la rete dell'Osservatorio Vesuviano dell'INGV-Sezione di Napoli, la rete sismica Etnea, la rete della Sicilia Orientale e delle Isole Eolie gestite dalla Sezione di Catania, la rete VBB MedNet1 (sensori Very Broad Band), la rete dell'Italia Nord Occidentale dell'Università di Genova, la rete a larga banda dell'Italia Nord-Est, la rete del Mugello, la rete della Regione Marche, la rete della Alta Val Tiberina – AVT, la Rete Svizzera dell'ETH di Zurigo, la Rete Albanese, ed altre stazioni di altri Enti come l'Osservatorio Sismologico dell'Università degli Studi di Bari (Cattaneo & Moretti, 2011).

Dal 2006, la politica del CNT-INGV è quella di disporre di stazioni di rilevamento geofisico di tipo multisensore. In numerosi siti della rete nazionale sono stati installati sensori per acquisire efficacemente tutto lo spettro delle frequenze emesse dalle sorgenti sismiche (utilizzo quindi sia di sensori a tre componenti a larga banda ma anche di antenne GPS geodetiche per lo studio della componente anelastica della sorgente sismica sia cosismica sia intersismica che asismica), e ricoprire completamente la dinamica dei segnali sismici (utilizzo quindi di sensori sia velocimetrici che accelerometrici triassiali (*Fig.* 6) con fondo scala a 2.5 g).

Lo sviluppo della rete ha portato ad avere oggi sul territorio più di 100 accelerometri, con una copertura maggiore nel sud della penisola e nella Sicilia orientale. Nella figura a lato viene rappresentata la situazione aggiornata della rete di accelerometri.

Il tragico terremoto dell'Irpinia del 23 Novembre 1980 crea una specie di spartiacque nello sviluppo di una vera Rete Sismica Nazionale.

Nel 1954 l'ex ING (Istituto Nazionale di Geofisica) aveva circa una ventina di punti di

LIBERA

osservazione divisi tra gli storici Osservatori e singole stazioni sismiche che in genere erano localizzate all'interno di Università o enti pubblici o semplicemente da privati.

Con il passare degli anni il numero di stazioni sismiche aumentò anche in collaborazione con altri enti, e nonostante ci fosse un discreto numero di stazioni tale da ben localizzare almeno i forti terremoti (magnitudo maggiore di 4.0), non era però possibile farlo in tempi brevi. Il motivo principale che all'epoca non esisteva un sistema affidabile di collegamento (real time) tra tutti i punti della rete nazionale e l'ING ma anche perché i dati delle registrazioni sismiche (cosiddetti drum su carta termica, carta affumicata o inchiostro su carta normale) venivano inviati alla sede centrale dell'ING di Roma con tempestiche e modalità da non permettere elaborazioni veloci.

Il lavoro e quindi l'impegno istituzionale era di fatto quello di raccogliere tutti i dati disponibili ed elaborarli per la stesura del bollettino sismico con cadenze anche annuali e quindi con ritardi piuttosto "imbarazzanti".

Questo tipo di attività è durata fino al 1979 quando dopo la drammatica sequenza del Friuli Venezia Giulia, iniziata nel maggio del 1976, si avvertì la necessità di ottenere in tempi più rapidi possibili le informazioni degli arrivi delle onde sismiche (onde P ed onde S) dalle varie stazioni di rilevamento e quindi effettuare sia una localizzazione rapida dell'evento ma anche di valutarne la magnitudo.

Entra pertanto nel vivo il concetto di una rete sismica centralizzata del territorio italiano, in altre parole un insieme di stazioni sismiche ben distribuite, soprattutto nelle aree ad alta pericolosità sismica, i cui segnali arrivassero in una sede unica in modo da ridurre drasticamente i tempi di raccolta dei dati. Altra caratteristica, non trascurabile, e che in questo modo venivano azzerate le incertezze sui tempi di arrivo in quanto ogni Osservatorio aveva la propria personale temporizzazione.

Tale realtà iniziò a concretizzarsi nel 1979 con le prime stazioni, con collegamento telefonico, che arrivavano all'Osservatorio Sismico Centrale di Monteporzio Catone (RM).

Durante il tragico terremoto dell'Irpinia (23/11/1980) vi erano già 7 stazioni sismiche centralizzate (gestite dall'ING), tutte situate a nord dell'area epicentrale, e circa 40 gestite da università ed enti i cui dati venivano inviati con scadenze prefissate all'Osservatorio Sismico Centrale.

Anche in quell'occasione ci si rese conto che i dati erano fortemente insufficienti per una stima dell'epicentro con incertezza del km e questo fece emergere in modo ancora più forte la necessità di nuovi stanziamenti che permettessero sia l'espansione della Rete Sismica che l'istituzione di un servizio di sorveglianza 24h.

Il 1982 è l'anno in cui viene istituito il servizio di sorveglianza presso la sala operativa della sede dell'ING a Roma e vengono installate altre stazioni telemetrate (un collegamento telefonico analogico della sola componente verticale del moto del suolo).

Nel 1984 si ebbe un ulteriore incremento delle stazioni della Rete a seguito del bradisismo di Pozzuoli e alla sequenza della Val Comino (maggio 1984).

Nel 1986, in collaborazione con il Centro di Cultura "E. Majorana" e con lo Stato Maggiore dell'Esercito, l'ING installò una rete sismica telemetrata con ponti radio militari in Sicilia e Calabria.

Alla fine del 1986, la Rete Sismica Nazionale aveva 53 stazioni. Il numero di stazioni nei 10 anni successivi crebbe in modo graduale per arrivare alla fine del 1996 con 82 le stazioni operanti nella RSNC.

Durante la sequenza sismica che colpì l'Appennino Umbro-Marchigiano nel 1997 furono installate nella zona interessata una rete mobile telemetrata ed altre stazioni fisse per potenziare la RSNC. All'inizio del 2000 le stazioni installate e funzionanti erano circa 90 e tutte monocomponente (segnale verticale del movimento del suolo) in trasmissione analogica con linea telefonica dedicata (*Fig.* 7, mappa di sinistra).

Agli inizi del 2000 la Rete Sismica Nazionale Centralizzata, grazie soprattutto ai



Figura 5 – Attuale configurazione della Rete Sismica Nazionale (RSN) dell'INGV http://www.gm.ingv.it/index.php/labgis"

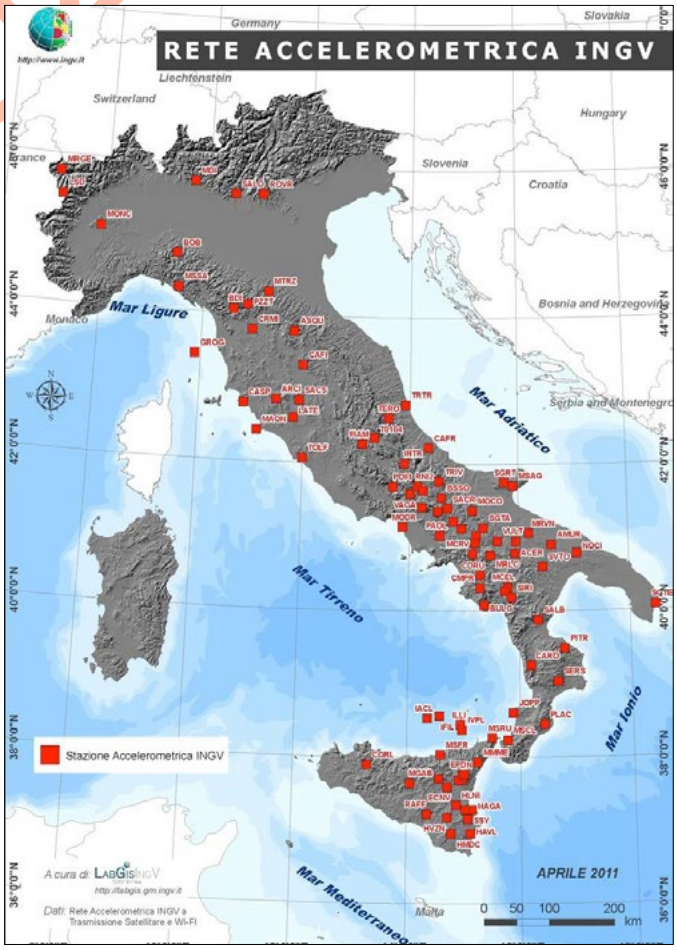


Figura 6 – Attuale configurazione della Rete Accelerometrica dell'INGV http://www.gm.ingv.it/index.php/labgis"

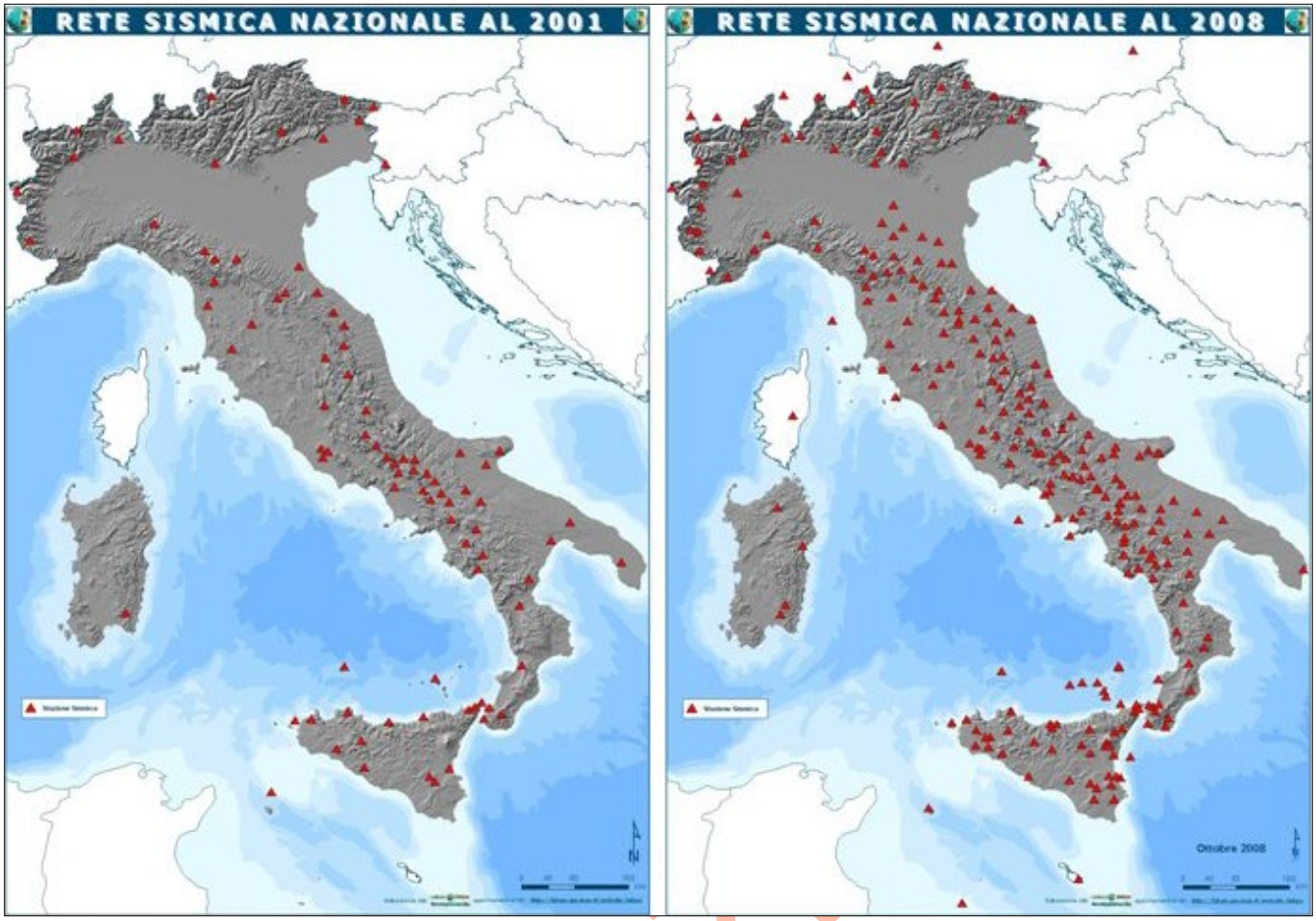


Figura 7 – Rete Sismica Nazionale nel 2001 e nel 2008

finanziamenti del Dipartimento della Protezione Civile e nell'ambito di specifici progetti nazionali, viene completamente trasformata (*Fig.* 7, mappa a destra).

Si passa pertanto da sismometri che misurano la sola componente verticale con trasmissione analogica (via cavo telefonico) a sismometri triassiali che misurano quindi anche gli spostamenti orizzontali. Si installano stazioni sismiche estremamente più sofisticate e tecnologicamente più avanzate, alcune delle quali prodotte direttamente dall'INGV (Gaia e Gaia2).

Si passa da dati di tipo analogico e monocomponente a segnali digitali a tre componenti, che permettono una migliore analisi ed interpretazione dei sismogrammi. Si moltiplicano le modalità di trasmissione dei dati, non più solo su linea telefonica, ma anche via web (adsl), o tramite UMTS o con collegamenti satellitari o con wifi.

Un ulteriore significativo contributo allo sviluppo della Rete Sismica Nazionale in Italia centro-meridionale è avvenuto grazie al Progetto CESIS, finanziato dal Ministero per l'Università e la Ricerca (Legge 488/92), dal 2004 al 2008. Con tali fondi oltre a prevedere una nuova sede INGV a Grottaminarda, c'è stata una ulteriore massiccia implementazione della Rete Sismica Nazionale al centro-sud con più di 60 nuove stazioni permanenti multi-parametriche, con un sismometro, un accelerometro e un GPS di precisione.

Oggi l'INGV gestisce circa 400 stazioni sismiche su tutto il territorio nazionale, numero che continuerà a crescere nel futuro.

Tale rete permette ai sismologi, presenti 24h/24h nella Sala di Monitoraggio Sismico di Roma, una determinazione preliminare dei

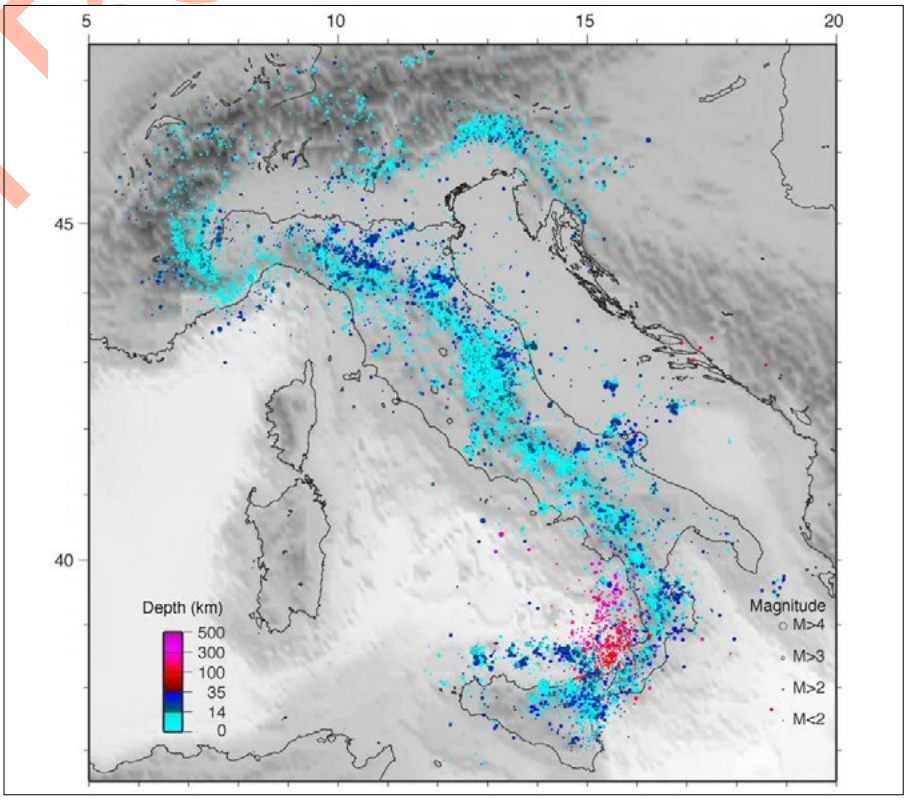


Figura 8 – Distribuzione ipocentrale di circa 45000 eventi selezionati di migliore qualità nel periodo 1997-2002 (figura estratta da: Chiarabba, C., Jovane, L. & Di Stefano, R. A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings. Tectonophysics 395, 251–268 del 2005)

parametri ipocentrali dei terremoti in meno di 2 minuti ed una determinazione definitiva in media in 12 minuti.

L'attuale rete consente di localizzare terremoti con una soglia minima della magnitudo notevolmente bassa; in alcune aree dove la densità di stazioni sismiche è elevata si riescono a rilevare eventi con magnitudo negativa.

La magnitudo di completezza è attualmente di Mc =1.4, ovvero si stima che la Rete sia in grado di registrare terremoti con magnitudo ben al di sotto di ML=1.0, ma che i dati siano completi per i terremoti al di sopra di ML = 1.4.

Le incertezze sulla localizzazione (coordinate ipocentrali di un terremoto e tempo origine) sono drasticamente diminuite raggiungendo valori ben al di sotto del km per l'ipocentro (latitudine, longitudine e profondità) e residui sul tempo origine sotto il decimo di secondo.

Nella figura viene riportata la sismicità di 7 anni (periodo 1997-2002) della penisola italiana in funzione della profondità (scala cromatica in basso a sinistra) e della magnitudo (scala in basso a destra).

UNA BANCA DATI SISMICA MONDIALE: L'INTERNATIONAL SEISMOLOGICAL CENTRE E L' EUROPEAN MEDITERRANEAN SEISMOLOGICAL CENTER.

La necessità di uno scambio e di una condivisione di informazioni a livello internazionale di letture ed informazioni sismologiche fu riconosciuta dal professor **John Milne**, padre della International Seismological Summary subito dopo la prima guerra mondiale. Dopo la sua morte, l'International Seismological Summary ha operato con finanziamenti principalmente da collegi di università Britannici sotto la direzione di diversi professori di sismologia delle Università di Oxford e Cambridge.



Figura 9 – John Milne (1850-1913) Geologo e sismologo inglese, sviluppò la prima rete internazionale per la condivisione di dati sismologici

L'attuale International Seismological Centre si è costituita a Edimburgo nel 1964 per continuare l'attività dell'International Seismological Summary (ISS), che è stata la prima raccolta di tutte le osservazioni dei terremoti a livello mondiale.

Nel 1970, con l'aiuto dell'UNESCO e di altri organismi scientifici internazionali, il Centro è stato ricostituito come organismo internazionale non governativo, finanziato da istituzioni interessate provenienti da diversi paesi. Inizialmente sostenuto da sette paesi, oggi è supportato da più di 50, e le istituzioni membri includono accademie nazionali, dipartimenti governativi e università. Ogni ente sostenitore è rappresentato nel Consiglio direttivo del Centro, che si riunisce ogni due anni per decidere la politica e il programma operativo; sono presenti anche rappresentanti dell'UNESCO e dell'Associazione Internazionale di Sismologia.

Dal 1986 la sede del Centro è a Pipers Lane, Thatcham, nei pressi di Newbury, ed include un'ampia biblioteca di bollettini sismologici, di riviste e di libri.

Nel 1997 è stata pubblicata la prima serie di CD-ROM di Bollettini e Cataloghi ISC e del 1998, con l'apertura del sito web, è possibile visionare i dati via Internet. All'inizio del 2000 è stato creato un database ISC per uso operativo e dal 2001 la raccolta dei bollettini sismici delle stazioni di tutto il mondo è disponibile ed inviato anche via e-mail.

Nel 1975 su volontà della Commissione Europea di Sismologica (ESC) viene fondato il Centro Sismologico Europeo Mediterraneo (EMSC); questo può essere considerato una commissione regionale dell'Associazione Internazionale di Sismologia e Fisica dell'Interno della Terra (IASPEI) e della Unione Internazionale di Geodesia e Geofisica (IUGG).

La necessità di un simile Centro nasce dalla consapevolezza che la regione Europea-Mediterranea è stata da sempre caratterizzata da una intensa attività sismica potenzialmente pericolosa; di conseguenza, per motivi di protezione civile e per studi e valutazioni della pericolosità sismica, si istituì un organismo scientifico che potesse determinare e fornire in tempo quasi reale i principali parametri caratteristici dei terremoti.

Il centro ha iniziato la sua attività presso l'Institut de Physique du Globe di Strasburgo (IPGS) nel gennaio 1976 e si è formalmente costituito nel 1983.

L'EMSC è un'associazione internazionale, non governativa e senza scopo di lucro la cui attività è dedicata alla promozione della ricerca sismologica. In questo contesto, l'EMSC gestisce un sistema di allarme per i terremoti potenzialmente dannosi nella regione Euro-Mediterranea che consiste nella rapida determinazione dell'epicentro e nella diffusione del messaggio di avviso sismico entro l'ora successiva al verificarsi del terremoto.

Dopo l'Assemblea straordinaria di Roma nel 1993 la sede è stata trasferita al Laboratoire de Détection et de Géophysique (LDG) del Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) a Bruyères-le-Châtel (Essonne, Francia).

BIBLIOGRAFIA E WEB SURFING

AA. VV. (a cura di) Cattaneo M. & Moretti M. (2011), *Riassunti estesi del I° Workshop Tecnico Monitoraggio sismico del territorio nazionale: stato dell'arte e sviluppo delle reti di monitoraggio sismico.* Miscellanea INGV, Roma 20-21 dicembre 2010, 11-16.

Chiarabba, C., Jovane, L. & Di Stefano, R. (2005), *A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings.* Tectonophysics 395, 251-268.

Civetta L., Cuna L., De Lucia M., Orsi G, *Il Vesuvio negli occhi. Storie di osservatori.* Unità Funzionale Vulcanologia e Petrologia Osservatorio Vesuviano – INGV.

AA.VV., *Giuseppe Mercalli da Monza al Reale Osservatorio Vesuviano: una vita tra insegnamento e ricerca.* Miscellanea INGV Anno 2014 Numero 24. ISSN 2039-6651

http://istituto.ingv.it/l-ingv/produzione-scientifica/miscellanea-ingv/numeri-pubblicati-2011
http://www.ingv.it/it/
http://info.terremoti.ingv.it/
http://iside.rm.ingv.it/iside/standard/index.jsp
https://ingvterremoti.wordpress.com/il-monitoraggio-sismico/
http://www.orfeus-eu.org/
https://www.epos-ip.org/
https://www.emsc-csem.org/
https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/
http://ds.iris.edu/seismon/
http://www.geophysics.geol.uoa.gr/frame_en/insti/seisurf.html
http://csi.rm.ingv.it/index.htm
http://bollettinosismico.rm.ingv.it/
http://eida.rm.ingv.it/
http://istituto.ingv.it/l-ingv/archivi-e-banche-dati/

LIBOZIA

Il Centro Allerta Tsunami (CAT) dell'INGV

The Italian Tsunami Alert Center at INGV

Alessandro Amato
e il Team del CAT[1]

Parole chiave (*key words*): Tsunami (*Tsunami*), maremoto (*surveillance*), sorveglianza, allerta (*alert*), IOC-NEAMTWS(*IOC-NEAMTWS*), rischio (*risk*)

1 Il CAT-Team comprende (in ordine alfabetico): F. Bernardi, A. Cerase, L. Graziani, S. Lorito, F. M. Mele, A. Michelini, P. Perfetti, A. Piatanesi, S. Pintore, F. Romano, J. Selva, S. Stramondo, R. Tonini, C. Valbonesi, M. Volpe

INTRODUZIONE

Il Bacino del Mediterraneo ha una ricca storia di terremoti ed eruzioni vulcaniche, che si può ritenere nota a tutti: non credo ci sia qualcuno in Italia, in Grecia o in Turchia che non sia consapevole della elevata sismicità della regione dove vive. Lo stesso discorso vale probabilmente per le eruzioni vulcaniche. Chi in Italia non ha sentito parlare dell'eruzione di Pompei del 79 D.C., o di quelle che avvengono frequentemente a Stromboli o all'Etna? Il discorso è ben diverso invece per gli tsunami[1] (detti anche maremoti). Si può ipotizzare che la maggior parte degli italiani non conosca i precedenti storici in Italia e negli altri Paesi del Mediterraneo e per questo motivo non consideri il fenomeno come un rischio concreto. Probabilmente, ciò è dovuto soprattutto al fatto che gli tsunami si verificano meno frequentemente dei terremoti. In Italia l'ultimo grande maremoto, con danni considerevoli e molte vittime, risale a oltre un secolo fa, in seguito al terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908. Quando non c'è la memoria diretta, è molto difficile tramandare la consapevolezza di un rischio. In casi come quello del 1908, poi, l'evento terremoto tende per la sua tragicità a oscurare l'evento tsunami.

Tuttavia, basta guardare una carta che riporta il catalogo dei maremoti del Mediterraneo per capire come la sensazione di basso rischio sia fallace. Si notano infatti decine di tsunami che sono avvenuti in molte zone del Mare Nostrum, da Gibilterra al Medio Oriente (figura 1, Maramai *et al.*, 2014). I terremoti costituiscono la principale causa di tsunami, sia a livello globale che nel Mediterraneo, con una percentuale intorno all'80% del totale dei maremoti. Meno frequenti quelli indotti da frane ed eruzioni vulcaniche, eccezionali quelli da impatto di meteoriti. In particolare, sono i grandi terremoti di subduzione quelli che hanno il maggiore potenziale tsunamigenico. Basti pensare ai due mega-terremoti dell'Indonesia del 2004 e del Giappone del 2011, entrambi di magnitudo pari o superiore a 9, che hanno generato degli tsunami di decine di metri di altezza devastando le coste prossime all'epicentro del terremoto e propagandosi anche attraverso l'oceano Indiano e il Pacifico. A parte questi casi eclatanti, in cui sono stati stimati degli spostamenti del fondale oceanico fino a decine di metri, più spesso avvengono degli tsunami meno devastanti ma comunque dannosi.

Nel Mediterraneo, le zone di subduzione dell'arco ellenico, di Cipro e probabilmente anche quella dello Ionio sono tra le aree a maggiore potenziale tsunamigenico; esistono poi altre aree sismiche marine o costiere che sono state in passato sede di terremoti tsunamigenici, come le coste nordafricane, il già citato Stretto di Messina, il basso Adriatico, il Mar Ligure (*Fig.* 1). Se è vero che la frequenza di questi eventi è minore di quella dei terremoti, bisogna considerare che il loro impatto può essere devastante. È perciò molto importante mettere in atto tutte le possibili azioni per mitigare il rischio.

Nella mappa in Figura 1 è possibile individuare le sorgenti documentate degli tsunami nel Mediterraneo (Maramai *et al.*, 2014). Oltre ai terremoti italiani, principalmente quelli intorno a Sicilia e Calabria e qualche evento documentato nel Mar Ligure e in Adriatico, la maggior parte si concentra nel Mediterraneo orientale, a partire dalle isole Ioniche, lungo l'arco ellenico, fino a Cipro e lungo le coste di Turchia, Siria, Libano, Israele, Egitto a est. Un'altra area sorgente di possibili terremoti tsunamigenici è quella delle coste nordafricane (*Fig* 1), dove nel 2003 un terremoto di magnitudo 6.9 generò uno tsunami di modeste proporzioni che provocò numerosi danni alle isole Baleari. Storicamente, tsunami ben più grandi e devastanti si sono generati a Creta, come quello molto noto del 365 D.C. I tempi di propagazione delle onde di tsunami dalle isole dell'arco ellenico alle coste di Puglia, Calabria e Sicilia orientale sono compresi tra circa 30 e 60 minuti. Questi eventi storici dimostrano che molti tsunami possono essere generati a una certa distanza dalla costa italiana, lasciando perciò il tempo per la diffusione di un'allerta sulle coste italiane, a patto di avere un sistema di calcolo dei parametri dei terremoti sufficientemente rapido e affidabile.

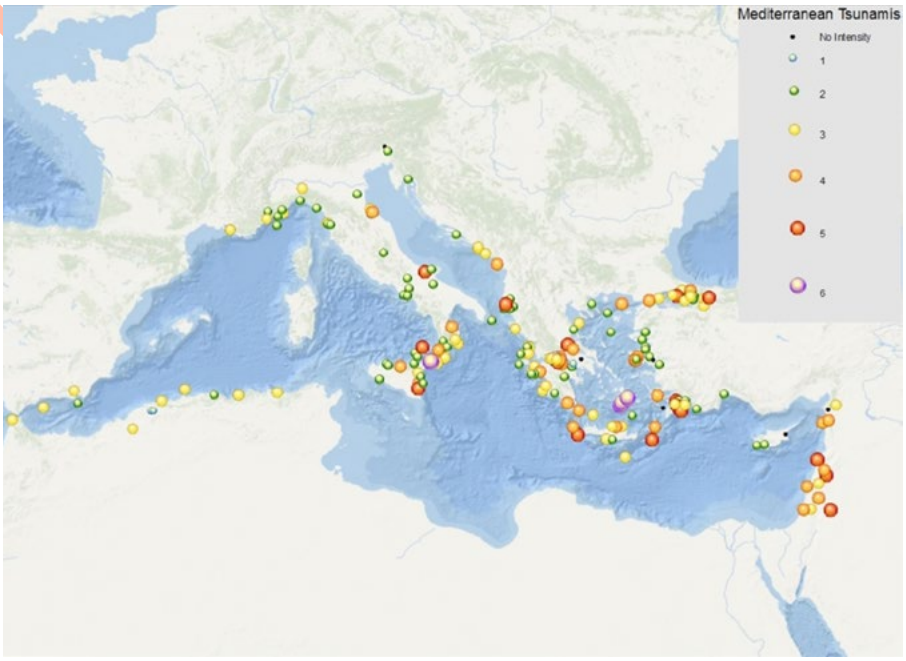


Figura 1 – Localizzazione delle sorgenti conosciute di tsunami nel Mediterraneo dall'anno 1630 A.C. al 2004 D.C. I simboli sono proporzionali all'Intensità (da Maramai et al.*, 2014; cortesia degli Autori).*

1 Tsunami è un termine di origine giapponese che significa letteralmente "onda di porto" e che è ormai entrato nell'uso comune anche in Italia.

IN BOZZA

IL CENTRO ALLERTA TSUNAMI ITALIANO

Il Centro Allerta Tsunami dell'INGV (CAT-INGV) è nato con lo scopo di contribuire alla mitigazione del rischio dovuto agli tsunami indotti da terremoti sulle coste italiane e del Mediterraneo. Gli tsunami di origine sismica, oltre a essere i più frequenti, sono quelli che possono essere individuati più rapidamente. Le onde sismiche, infatti, viaggiano nella crosta con una velocità molto più alta di quella delle onde di tsunami. Disponendo di reti sismiche efficaci e collegate in tempo reale, si può quindi realizzare un sistema di "Early Warning" (o Allertamento Rapido), in grado cioè di inviare un segnale di allerta prima dell'arrivo delle onde di maremoto, almeno da una certa distanza in poi rispetto alla sorgente.

Il CAT-INGV ha due compiti principali. Il primo è quello di fornire l'allerta alle autorità competenti in caso di terremoti potenzialmente tsunamigenici nel Mediterraneo, attuando i criteri definiti dal Dipartimento della Protezione Civile a questo scopo. Il secondo consiste nel realizzare gli studi necessari alla definizione della pericolosità probabilistica da tsunami per le coste italiane, a partire da quelli di origine sismica (Seismic Probabilistic Tsunami Hazard Analysis, SPTHA). In questo contributo viene descritto il primo aspetto, mentre la realizzazione degli studi di pericolosità alla scala del Mediterraneo è oggetto di ricerche descritte in vari articoli recenti (Lorito *et al.*, 2015; Grezio *et al.*, 2017; Selva *et al.*, 2017a; Selva *et al.*, 2017b). Il progetto TSUMAPS-NEAM, finanziato dalla Commissione Europea e conclusosi alla fine del 2017, ha fornito la prima mappa di pericolosità per la regione del Mediterraneo e dell'Atlantico nordorientale (Basili *et al.*, 2017).

Il sistema di allerta tsunami: Contesto internazionale e nazionale

Nel mondo, il primo sistema di allerta rapida per gli tsunami venne realizzato nell'Oceano Pacifico nel 1948, dopo che, il 1° aprile 1946, un terremoto di magnitudo 8.6 nella zona delle Isole Aleutine aveva generato un enorme maremoto. Quest'ultimo aveva provocato danni e vittime non solo in prossimità della zona sorgente, con la distruzione di enormi fari posti lungo le coste, ma anche a migliaia di chilometri di distanza. La maggior parte delle vittime furono registrate infatti alle isole Hawaii, molto distanti dall'epicentro: 158 persone morirono per una serie di onde alte fino a 17 metri che raggiunsero le isole più di 4 ore dopo il terremoto. Nessun sistema di allerta esisteva in quel momento nel Pacifico. Qualcosa di simile è accaduto sfortunatamente anche dopo il grande terremoto in Indonesia nel 2004, di magnitudo 9.1. In questo caso le onde di tsunami viaggiarono per tutto l'Oceano Indiano fino a colpire le coste della Tailandia, dell'India, di Sri Lanka e perfino dell'Africa orientale, provocando migliaia di vittime. Anche in quel caso, l'Oceano Indiano era sprovvisto di qualsiasi sistema di allerta per gli tsunami.

In seguito a questo evento, l'Indonesia si dotò di un sistema di allerta oggi operativo, e altri centri nazionali sono nati nell'Oceano Indiano. Non solo, l'emozione di quella immane tragedia, in cui persero la vita oltre 230000 persone, determinò la nascita di un sistema di difesa dagli tsunami per il Mediterraneo e l'Atlantico nord-orientale, costituito su mandato dell'Intergovernmental Oceanographic Commission dell'UNESCO (IOC-UNESCO): il North-Eastern Atlantic, Mediterranean and connected seas Tsunami Warning System (NEAMTWS).

In questo contesto internazionale, l'Italia ha costruito un po' alla volta le competenze necessarie per realizzare un sistema di difesa delle coste esposte al rischio di tsunami che si potrebbero generare nelle aree sismiche marine e costiere del Mediterraneo (Figura 1).

Nel mese di novembre del 2013 l'INGV costituì una propria struttura interna - il Centro di Allerta Tsunami (CAT-INGV) - con il compito di realizzare e rendere operativo il servizio di sorveglianza per l'allerta da maremoti e predisporre la mappa di pericolosità da maremoti per le coste italiane.

Nel mese di ottobre del 2014, in stretta collaborazione con il Dipartimento nazionale della Protezione Civile, il CAT-INGV ha iniziato le sue attività di monitoraggio dei forti terremoti del Mediterraneo e di verifica delle eventuali variazioni del livello del mare. Il CAT-INGV, oltre a monitorare i terremoti ed effettuare un'allerta rapida in caso di evento sismico potenzialmente tsunamigenico, analizza i dati del livello del mare per la conferma o la cancellazione dell'allerta stessa. Per l'Italia, questi dati provengono dalla Rete Mareografica Nazionale dell'ISPRA, che copre in maniera omogenea le nostre coste; il CAT analizza inoltre in tempo reale, attraverso accordi internazionali, i dati sismici e mareografici provenienti da numerosi istituti dell'area euro-mediterranea e a livello globale.

A livello internazionale, il CAT-INGV ha assunto dapprima, nel 2014, la funzione di CTSP (Candidate Tsunami Service Provider), nell'ambito delle attività coordinate dall'ICG-NEAMTWS, iniziando così a fornire un servizio di allerta sperimentale a numerosi centri e Paesi dell'area mediterranea. Nel mese di ottobre 2016 il CAT-INGV, a seguito di una procedura di valutazione internazionale delle procedure adottate, è stato accreditato come Tsunami Service Provider (TSP) dall'ICG-NEAMTWS per l'intero Mar Mediterraneo. Allo stesso tempo, anche i centri di Francia, Grecia e Turchia (CENALT, NOA, KOERI) hanno ricevuto l'accreditamento in ambito NEAMTWS, per settori parziali del Mediterraneo, dell'Atlantico nord-est (Francia) e del Mar Nero (Turchia). Alla fine del 2017 il CAT-INGV forniva il servizio di allerta, oltre che in Italia al DPC e di conseguenza all'intero sistema di Protezione Civile nazionale, ai quattro TSP e CTSP di Grecia, Turchia, Francia e Portogallo; a Libano, Israele, Egitto, Germania; all'IOC dell'UNESCO e alla Commissione Europea (ERCC e JRC).

Nel contesto nazionale, le attività del CAT-INGV si articolano oggi nel contesto del Sistema di Allertamento nazionale per i Maremoti generati da sisma (SiAM), costituito dall'INGV, dall'ISPRA e dal Dipartimento nazionale della Protezione Civile (DPC), che ha funzioni di coordinamento e di disseminazione dell'allerta sul territorio. Le attività del SiAM sono disciplinate dalla Direttiva PCM del 17/2/2017 (pubblicata nella G.U. il 5 giugno 2017). Dal 1° gennaio 2017 il CAT-INGV sta svolgendo il servizio di allertamento in modalità operativa, in collegamento con la Sala Situazione Italia del DPC a cui vengono inviati i messaggi di allerta.

Il servizio di monitoraggio e allerta del CAT-INGV

Il servizio di sorveglianza del CAT-INGV viene effettuato nella Sala Sismica del Centro Nazionale Terremoti presso la sede di Roma dell'INGV in modalità H24, a opera di personale specializzato, formato opportunamente e coadiuvato da un funzionario esperto reperibile su chiamata.

Il sistema di monitoraggio del CAT-INGV si basa sul calcolo rapido dei parametri dei terremoti del Mediterraneo, in un'area di competenza che si estende per 100 km a ovest di Gibilterra e fino al Mar di Marmara a est. Le localizzazioni ipocentrali e il calcolo della magnitudo vengono effettuate in maniera automatica con il software Early-Est (Lomax and Michelini, 2012) che utilizza un metodo di inversione non lineare per determinare i parametri ipocentrali, calcolando inoltre tre tipi di magnitudo (Mb, Mwp, Mwpd), che il CAT utilizza secondo soglie predeterminate. Per gli eventi fino a magnitudo (Mwp) 5.7 viene utilizzata come magnitudo di riferimento la Mb: tra 5.8 e 7.1 si utilizza la Mwp, mentre da 7.2 in su viene adottata la magnitudo Mwpd (si veda Bernardi *et al.*, 2015; Lomax e Michelini, 2012 per i dettagli su questi valori).

Al momento, i messaggi vengono inviati in caso di terremoti sopra magnitudo 5.5 ricadenti nell'area di competenza, secondo tre livelli a severità crescente ("Information", "Advisory", "Watch") definiti in base a una "matrice decisionale" approvata in ambito NEAMTWS (*Fig.* 2), e calcolati rispetto a un insieme di punti detti "forecast points" all'interno dell'area di competenza (*Fig.* 3).

BOZZA

Depth	M	Epicenter Location	Tsunami Potential	ALERT LEVEL *VS* DISTANCE		
				Δeq ≤ 100 km	100 km < Δeq ≤ 400 km	Δeq > 400 km
< 100 km	5.5 ≤ M ≤ 6.0	Offshore or Inland ≤ 100 km	Nil	Information Bulletin		
	6.0 < M ≤ 6.5	Inland (40 km < Inland ≤ 100 km)	Nil	Information Bulletin		
		Offshore or near the coast (Inland ≤ 40 km)	Potential of weak local tsunami Δeq < 100 km	Local Tsunami Advisory	Information Bulletin	
	6.5 < M ≤ 7.0	Offshore or Inland ≤ 100 km	Potential of destructive local tsunami Δeq < 100 km | 400 km	Local Tsunami Watch	Regional Tsunami Advisory	Infonmation Bulletin
	7.0 < M ≤ 7.5		Potential of destructive regional tsunami Δeq < 400 km | basin	Regional Tsunami Watch		Basin-wide Tsunami Advisory
	M > 7.5		Potential of destructive tsunami in the whole basin any Δeq	Basin-wide Tsunami Watch		
≥ 100 km	*M ≥ 5.5*	*Offshore or Inland ≤100 km*	*Nil*	*Information Bulletin*	*Information Bulletin*	*Information Bulletin*
				LOCAL	REGIONAL	BASIN-WIDE

Figura 2 – Matrice decisionale in uso al CAT-INGV.

La matrice decisionale definisce i livelli di allerta in base ai parametri ipocentrali e alla magnitudo del terremoto e viene utilizzata, al momento, per la rapidità del suo impiego. È noto tuttavia che le caratteristiche degli tsunami sono fortemente dipendenti anche dalle caratteristiche del terremoto che li genera (in particolare dal meccanismo focale e dalla distribuzione della dislocazione sul piano di faglia) e dalla morfologia del fondale marino, soprattutto quella prossima alla costa. Pertanto, le valutazioni dei livelli di allerta sui vari punti della costa, come stimate dalla suddetta matrice, possono essere molto diverse da quelle reali. Per questo motivo, il CAT ha sviluppato e sta sperimentando un metodo alternativo alla matrice decisionale, il Probabilistic Tsunami Forecast (PTF), che combina informazioni *a priori* sulle caratteristiche sismotettoniche della zona sorgente con i parametri sismici (ipocentro e magnitudo, meccanismo focale se disponibile) ottenuti in tempo quasi-reale (Selva *et al.*, 2018). Il PTF è una previsione probabilistica della severità dello tsunami di fronte alla costa, basata su tecniche di *ensemble* analoghe a quelle usate per le previsioni meteo. I livelli di allerta corrispondenti alla distribuzione di probabilità per le ampiezze dello tsunami stimata con il PTF possono essere definiti selezionando

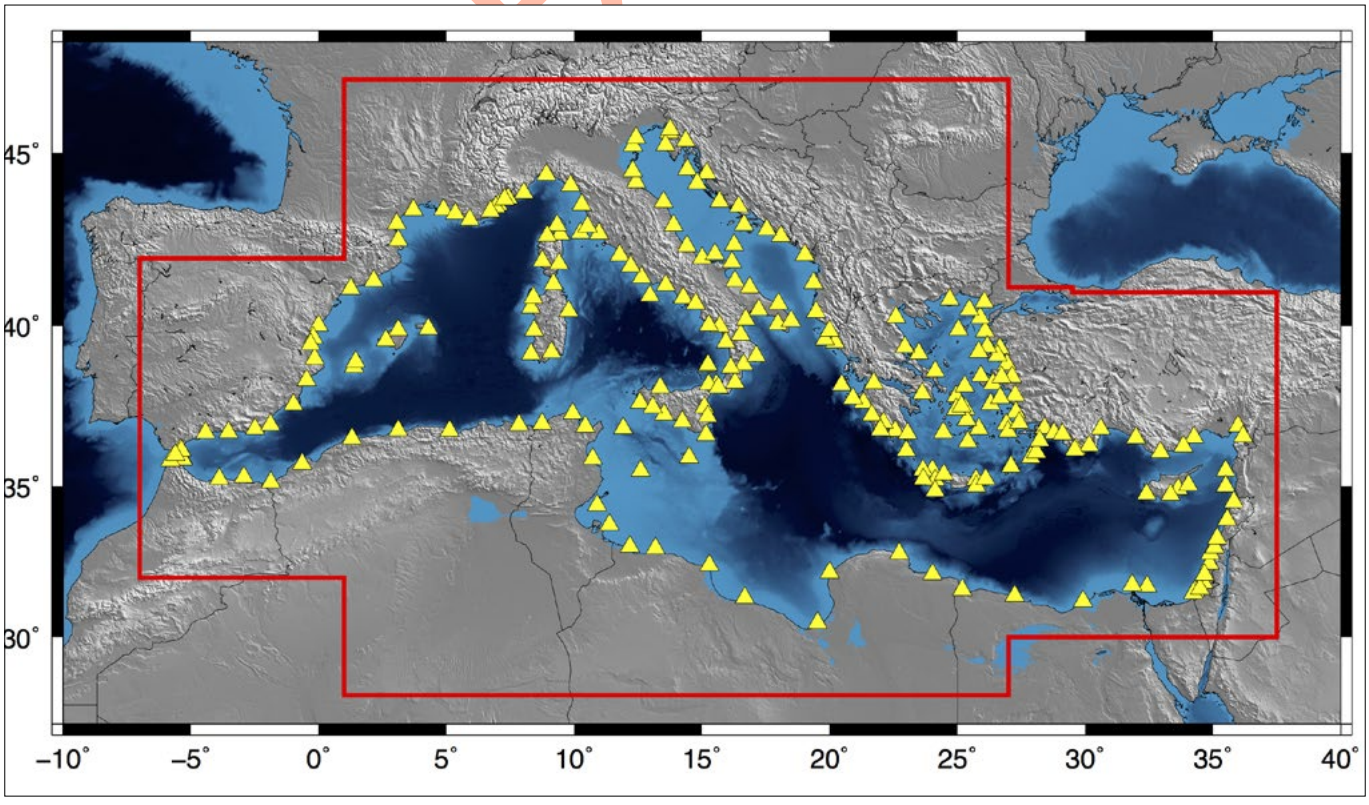


Figura 3 – Zona di competenza del CAT-INGV (poligono rosso) e forecast point (FP), i punti ai quali viene stimato il livello di allerta e il tempo di arrivo della prima onda di tsunami.

dei quantili dalla distribuzione che descrive l'incertezza del PTF. L'incertezza è determinata dall'analisi dell'*ensemble* degli scenari (sorgenti) possibili, ognuno con la propria probabilità, condizionata all'accadimento di un evento localizzato con un dato ipocentro e una data magnitudo.

nee. La verifica delle possibili variazioni del livello marino viene effettuata dal personale in turno tramite un *software* sviluppato appositamente all'INGV (Bono *et al.*, in prep.), utilizzato inoltre per la creazione e la gestione della messaggistica di allerta da inviare al DPC e agli altri Enti nazionali e internazionali. È importante ricordare che uno tsunami è composto da una serie di onde, e che spesso non è la prima quella più alta. Un'allerta può durare quindi molte ore prima di essere considerata chiusa.

la sorveglianza, su tutti i terremoti potenzialmente tsunamigenici a livello globale, per i quali viene seguita la procedura standard e inviata la messaggistica del caso a una lista interna per le opportune verifiche. Dall'ottobre 2014 a oggi sono stati trattati oltre 900 eventi (Figura 4), inclusi alcuni terremoti effettiva-

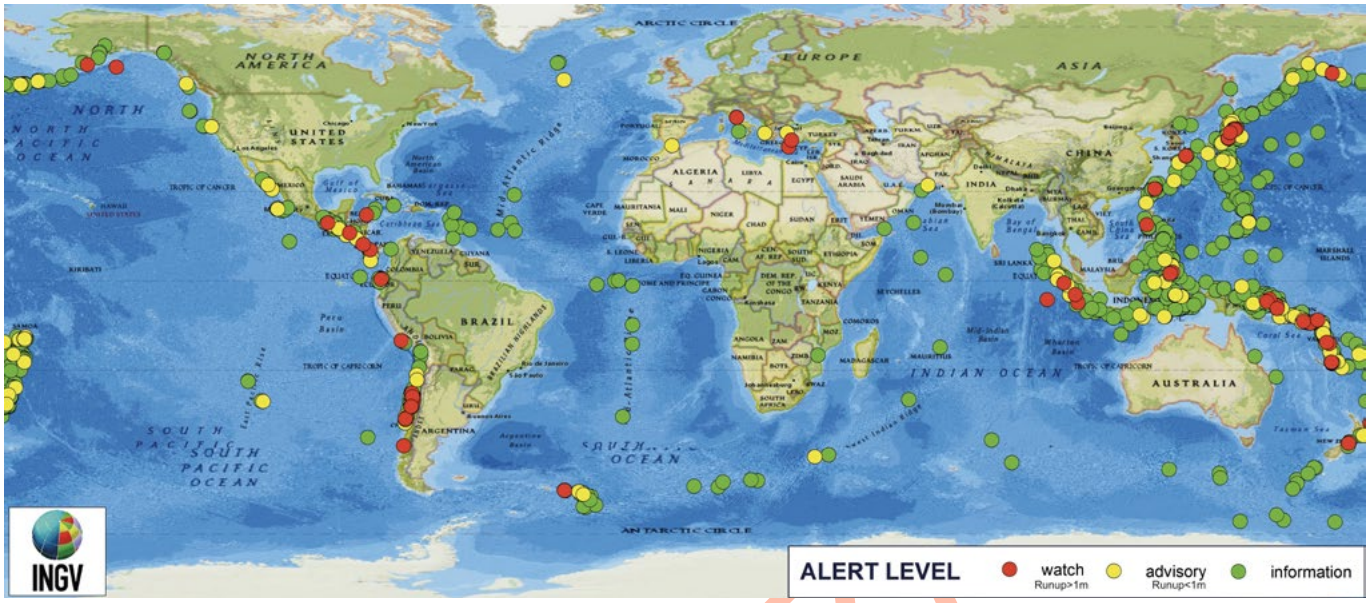


Figura 4. Mappa con gli epicentri degli eventi trattati dal CAT-INGV nel mondo a scopo di training. I colori dei simboli indicano i livelli di allerta determinati in base alla matrice decisionale di figura 2. Per i terremoti al di fuori dell'area di competenza la procedura è identica a quella seguita per gli eventi interni al Mediterraneo ma in questo caso i messaggi di allerta vengono inviati soltanto a una lista interna per verificare la tempistica e le procedure (mappa realizzata da Maurizio Pignone).

Le procedure operative del CAT-INGV prevedono che la prima allerta, basata unicamente sui parametri del terremoto, debba essere inviata al DPC e agli altri destinatari entro al massimo 14 minuti dal tempo origine dell'evento sismico, come stabilito nella Direttiva PCM citata. In seguito, la eventuale conferma, revoca o cancellazione dell'allerta avviene in base all'osservazione del livello del mare ai mareografi delle reti mediterra-

Il monitoraggio di terremoti e tsunami a scala globale e allerte inviate nel Mediterraneo

Il CAT-INGV opera, a titolo di esercitazione e di formazione per il personale che effettua

mente tsunamigenici avvenuti in Cile, Messico, Giappone, per i quali la risposta del CAT è stata tempestiva, sia in termini di calcolo dei parametri ipocentrali che di invio dell'allerta rapida. In caso di eventi nel Mediterraneo, i messaggi di allerta raggiungono i destinatari elencati sopra tramite diversi canali di comunicazione (email, GTS, fax).

Tra il 2015 e il 2017 il CAT-INGV ha trattato 5 eventi potenzialmente tsunamigenici in



Figura 5 – Mappa con gli epicentri degli eventi trattati dal CAT-INGV nel Mediterraneo. Per i simboli si veda la figura precedenti, per i dettagli si veda nel testo (mappa realizzata da Maurizio Pignone).

ambito mediterraneo, tutti di magnitudo tra 6 e 7 (Tab. 1). Alcuni di questi terremoti hanno generato degli tsunami, sia pure di modesta entità, che sono stati osservati dalle reti di monitoraggio del livello marino e in qualche caso hanno causato lievi danni in alcune aree prossime all'epicentro. Nello stesso periodo, a questi eventi vanno aggiunti, a livello informativo, un terremoto profondo nel Mar Tirreno (28/10/2016, magnitudo 5.8, profondità 481 km) per il quale è stato emesso un messaggio di *Information*, e i due eventi più forti della sequenza sismica del 2016 in Italia centrale. Per questi due ultimi terremoti la matrice decisionale di figura 2 prevedeva un messaggio di allerta, in quanto si trattava di eventi di magnitudo superiore/uguale a 6 e ubicati a meno di 100 km dalla costa. Naturalmente in entrambi i casi non era possibile la generazione di uno tsunami, considerata la posizione e l'estensione limitata delle due faglie appenniniche, ma questa conoscenza non è sempre disponibile immediatamente dopo un terremoto. Questi due casi dimostrano come sia sempre necessaria la valutazione di un esperto: le soglie indicate nella matrice decisionale sono conservative, per vari motivi (per l'incertezza insita nelle stime rapide, come ad esempio la possibile sottostima delle prime valutazioni di magnitudo, la possibilità che il terremoto generi delle frane sottomarine, un errore di localizzazione, ecc.). Nel caso del terremoto del 24 agosto 2016 (M6.0) fu deciso di non diramare alcuna allerta tsunami, mentre per quello del 30 ottobre (M6.5) fu seguito il protocollo che prevedeva un'allerta per un terremoto di quella magnitudo (la stima iniziale del CAT-INGV era di Mwp 6.7). L'allerta fu poi cancellata pochi minuti dopo l'evento.

Per gli altri cinque eventi mediterranei (figura 5), uno sulle coste marocchine e gli altri tra Grecia e Turchia, i primi messaggi di allerta sono stati inviati dal CAT entro un tempo compreso tra i 9 e i 12 minuti dal tempo origine del terremoto (Tabella 1).

In particolare, per i due eventi del 2017 (entrambi localizzati nel Mar Egeo, tra la Grecia e la Turchia) il tempo di emissione del primo messaggio di allerta è stato di 10 minuti. Si tratta di un ottimo risultato se si considera il limite dei 14 minuti come tempo massimo di rilascio della prima allerta (stabilito dalla "Standard Operational Procedure" con cui il CAT-INGV è stato accreditato nell'ambito del sistema NEAMTWS e dalla Direttiva PCM "SiAM"). Si consideri per esempio che, per l'evento di Kos-Bodrum del 20 luglio 2017 (Tabella 1) gli altri due TSP (Tsunami Service Provider) operativi per quest'area (greci e turchi) hanno rilasciato la prima allerta dopo 18 e 19 minuti, rispettivamente.

Il terremoto e lo tsunami di Kos-Bodrum del 20 luglio 2017

La notte del 20 luglio 2017 un terremoto di magnitudo 6.6 ha colpito la zona del Dodecaneso, in un tratto di mare costellato di isole e promontori tra Grecia e Turchia (Heidarzadeh *et al.*, 2017).

Nell'isola di Kos si registrarono i danni maggiori: ci furono diversi crolli, uno dei quali provocò la morte di due persone che erano in strada e furono travolte dalla caduta della facciata di un edificio fatiscente. L'isola in quel periodo dell'anno ospita decine di migliaia di turisti, che si sono rivelate completamente impreparate a un evento di quel genere. Sembra che anche i residenti non fossero consapevoli del rischio, in particolar modo di quello legato a un eventuale maremoto. È noto infatti che una delle prime buone pratiche da applicare, in caso si avverta un terremoto in una zona costiera, sia quella di allontanarsi dal mare e portarsi in una zona rilevata. Al contrario, dopo l'evento sismico si sono visti numerosi filmati e fotografie realizzati da persone che si attardavano sulle spiagge e nei porti, chi per osservare lo "strano fenomeno" dell'allagamento progressivo, chi per cercare di spostare un'automobile o uno scooter parcheggiato nei pressi della spiaggia[2]. L'ingressione causata dallo tsunami è stata fortunatamente modesta, e nessuno ne è stato travolto, ma sarebbe bastato poco di più per provocare danni seri, feriti e vittime. In effetti, sebbene le massime inondazioni rilevate non abbiano superato i due metri (Heidarzadeh *et al.*, 2017), e nel porticciolo di Kos si sia appena superato il mezzo metro di altezza dell'acqua, si sono viste delle automobili parcheggiate venire spostate dall'acqua, a testimonianza della grande forza delle correnti in un'inondazione di questo tipo. Sembra che a Bodrum, in Turchia, anch'essa prossima all'epicentro del terremoto, siano successi fatti analoghi.

Subito dopo il terremoto, il CAT-INGV ha determinato i parametri dell'evento e calcolato la magnitudo preliminare dopo meno di due minuti dal tempo origine.

Il sistema utilizzato dal CAT per il calcolo si basa sulla tecnica di inversione non lineare contenuta nel programma Early-Est (Lomax and Michelini, 2012), che determina le coordinate ipocentrali e la magnitudo producendo a ogni minuto successivo una nuova localizzazione, determinata con più dati e quindi più affidabile.

Per ottenere i dati da comunicare all'esterno nel minor tempo possibile, evitando però sottostime o falsi allarmi, si deve trovare il miglior compromesso tra rapidità e stabilità della soluzione. Al momento, dopo un'analisi statistica di centinaia di eventi a scala globale, si è stabilito che la migliore soluzione da adottare è quella che viene determinata da Early-Est cinque minuti dopo la prima soluzione (denominata EE05), ottenuta circa 7-8 minuti dopo il terremoto.

La notte tra il 20 e il 21 luglio 2017, il turnista CAT presente in sala sismica, dopo aver verificato la bontà della soluzione EE05 e la coerenza del messaggio di allerta prodotto in automatico dal sistema, ha inviato la prima allerta. Nel caso del terremoto di Kos-Bodrum, il primo messaggio di allerta è stato inviato dal CAT-INGV a tutti i destinatari a 10 minuti dal tempo origine dell'evento.

Come si vede nella *Fig.* 6, un livello di allerta viene assegnato a ciascun "forecast

Tabella 1 – Parametri dei terremoti trattati dal CAT-INGV dal 2015 al 2017 nel bacino del Mediterraneo

Origin Time UTC	Location	Mag USGS	Mag rapida CAT	Alert Level	Message Time UTC (delay from OT)
16/04/15 18:07	Crete (Greece)	6.4	6.4	Watch	18:16 (9')
17/11/15 07:10	Ionian (Greece)	6.5	6.5	Advisory	07:22 (12')
25/01/16 04:22	Gibraltar	6.5	6.5	Advisory	04:33 (11')
12/06/17 12:28	Greece-Turkey	6.4	6.5	Advisory	12:38 (10')
20/07/17 22:31	Greece-Turkey	6.6	6.8	Watch	22:41 (10')

2 Nel caso del terremoto di Lesvos di giugno 2017 ci sono filmati con persone che tentano di spostare barche ormeggiate in balìa della corrente.

BOZZA

point" dei Paesi presenti nell'area di competenza in cui opera il CAT. Nel caso specifico dell'evento del 20 luglio di Kos-Bodrum, per l'area in Grecia e Turchia ricadente entro un raggio di 100 km dall'epicentro era stata diramata l'allerta massima (livello "WATCH", o rosso), mentre per le aree tra 100 e 400 km di distanza il livello di allerta era "ADVISORY"; "INFORMATION" nelle aree a distanza maggiore. I primi due livelli, WATCH e ADVISORY, indicano la possibilità di un'inondazione con un "run-up" (ossia la quota s.l.m. raggiunta dallo tsunami) rispettivamente maggiore o minore di 1 metro.

Fortunatamente l'altezza massima di inondazione non ha raggiunto valori tali da provocare vittime; tuttavia ci sono stati danni provocati dall'ingressione delle onde di tsunami, soprattutto la seconda, come testimoniato dalle riprese di alcune telecamere (G. Papadopulos, comunicazione personale).

La scelta del CAT-INGV di utilizzare per l'allerta i parametri del terremoto calcolati automaticamente, senza una revisione dei sismogrammi da parte degli operatori, rappresenta un elemento discriminante per diversi motivi. Il primo, già accennato, è quello della rapidità. Il secondo è legato alla responsabilità attribuita all'operatore che effettua la sorveglianza H24.

Il rischio tsunami fra la prevedibilità dell'evento e le risposte della scienza.

Nei paragrafi precedenti è stata già sottolineata la natura peculiare del rischio gestito dagli operatori del Centro Allerta Tsunami dell'INGV. In particolare, il verificarsi di un terremoto potenzialmente tsunamigenico impone l'osservanza di procedure codificate e concordate nel sistema SiAM, volte ad attivare quegli strumenti di Protezione civile finalizzati alla riduzione o alla neutralizzazione delle possibili conseguenze generate dal maremoto.

Le modalità di gestione del rischio evidenziano come il turnista e il funzionario CAT siano onerati del delicato compito di scegliere e comunicare, nei tempi imposti dalla Direttiva SiAM, un dato scientifico dal quale dipende non solo la prevedibilità di un evento futuro (lo tsunami) ma altresì l'attivazione delle cautele salvifiche (Oki *et al.*, 2012; Nakayachi *et al.* 2014; Cerase, 2016).

La delicatezza di questa sfera di competenza alla quale, come evidente, si correla un potenziale di rischio elevatissimo, espone gli operatori a responsabilità stringenti che possono declinarsi in modo duplice e opposto. Se la scorretta comunicazione di un rischio inesistente o sopravvalutato potrebbe condurre ad una imputazione per il reato di procurato allarme di cui all'art. 658 c.p., l'intempestiva comunicazione di un dato o la sottostima dello stesso, dalla quale derivi la mancata attivazione delle cautele salvifiche per la popolazione e per i beni, conduce all'imputazione dei più gravi delitti di lesioni, omicidio e disastro, sorretti da un coefficiente soggettivo di natura colposa (art. 590; 589 e 449 c.p.).

Il rimprovero colposo sarebbe qui giustificato dalla non volontà dell'evento nefasto (altrimenti si verserebbe nel più grave ambito del dolo) cui si correla la mancata osservanza delle regole cautelari preposte alla gestione del rischio del verificarsi di uno tsunami, rischio che deve essere prevedibile ed evitabile alla luce della miglior scienza ed esperienza nel momento storico.

La previa definizione delle regole cautelari impeditive dell'evento comporta numerosi vantaggi (e qualche critica). Di tali vantaggi è riprova lo statuto della responsabilità penale legata all'attività sanitaria la quale, sin dal 2012, caldeggia un sistema di regole predeterminate e disponibili all'operatore ex ante e al giudice ex post (Di Landro, 2013; Iadecola, 2013; Roiati, 2013).

In particolare, la Legge 24 del 2017 (Gelli-Bianco) agli artt. 5 e 6 disegna uno statuto peculiare del rimprovero colposo in base al quale la responsabilità per colpa lieve del sanitario è esclusa ogni qual volta questi abbia osservato in modo pertinente linee guida e protocolli ufficialmente recepiti.

I più avanzati approdi relativi al dibattito sulla responsabilità colposa conducono, dunque, alla codificazione di regole cautelari, linee guida e protocolli, da parte di soggetti istituzionali particolarmente qualificati, l'osservanza delle quali consente, pur in presenza di un evento nefasto per il paziente (morte o lesioni), di escludere la responsabilità penale del medico che agisce con colpa lieve.

Permane, peraltro, la responsabilità legata alla cattiva scelta della linea guida in relazione al caso concreto, nonché la responsabilità per colpa grave che si verifica quando l'operatore sanitario si discosta in modo molto ampio dalle regole, secondo un giudizio che deve essere condotto anche in relazione alla difficoltà della prestazione e alla prevedibilità

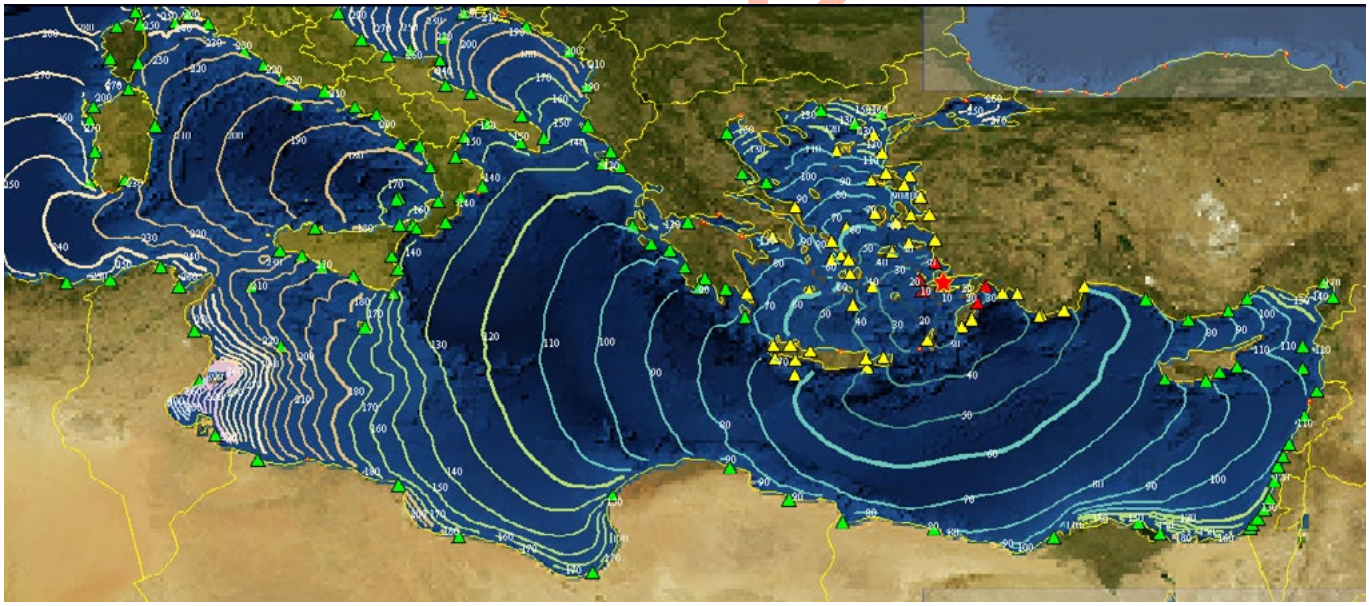


Figura 6 – Epicentro del terremoto di Kos-Bodrum del 20 luglio 2017 (stella rossa). I triangoli indicano i "forecast points" (FP) dove vengono calcolati i tempi di arrivo teorici della prima onda di tsunami e i livelli di allerta. I FP intorno all'epicentro (entro 100 km) sono rossi in quanto il livello di allerta è il massimo (WATCH); i triangoli gialli sono in stato di ADVISORY (entro 400 km), mentre i triangoli verdi sono al livello minimo (INFORMATION). Le isolinee indicano il tempo teorico di propagazione in minuti.

La disposizione consegnata ai turnisti di inviare il messaggio di allerta basato sulla localizzazione automatica "EE05" da un lato garantisce la necessaria rapidità e dall'altro allevia la responsabilità del personale in caso di errori. Per investigare i profili di responsabilità del personale che effettua la sorveglianza è stato effettuato uno studio apposito (Valbonesi, 2018), sintetizzato nel paragrafo successivo.

dell'evento nefasto (Valbonesi, 2013; Vallini, 2013).

In ogni caso, l'aver affidato al rispetto delle linee guida e dei protocolli un'area di non punibilità per colpa lieve rappresenta un profilo di grande interesse anche per chi si confronti con il tema delle responsabilità per un rischio avulso dal settore sanitario, come quello legato ai maremoti o ad altre tipologie di rischio geologico.

Su questo profilo pare concorde anche la Suprema Corte la quale, nella sentenza che ha posto fine all'annoso processo alla c.d. Commissione Grandi Rischi, ha valorizzato il ruolo delle regole cautelari di natura protocollare quali elementi costitutivi del rimprovero colposo anche nell'ambito delle scienze naturali[3].

Ecco che, dunque, la sollecitazione offerta dalla Suprema Corte non può e non deve essere ignorata soprattutto in un ambito di disciplina così delicato come quello relativo al rischio tsunami.

Ivi, la riflessione sulla codificazione di mansionari, linee guida e protocolli deve muovere necessariamente dal ruolo che essi rivestono nella valutazione in ordine alla gestione del rischio. Se la definizione preventiva delle regole sulla base dei dettami della miglior scienza ed esperienza del momento storico, orienta l'operatore verso una più chiara ed efficace procedura, al contempo consente di decidere, sulla base di un insieme di regole predeterminate, se vi sia responsabilità per l'evento e quale grado del rimprovero colposo la condotta esprima (Perini, 2010).

I delicati compiti cui sono chiamati gli operatori del rischio necessitano quindi di un supporto tecnico scientifico dettagliato, uniforme, predeterminato e aggiornato agli sviluppi scientifici (Gargani, 2013; Giunta, 2013).

Questo complesso di regole, se non può mettere a riparo *tout court* il turnista o il funzionario del Centro Allerta Tsunami dalla scure del rimprovero penale e civile, pur tuttavia risulta essenziale nel percorso di creazione di regole condivise e conoscibili tanto dagli scienziati quanto dai giuristi.

Il Centro Allerta Tsunami dell'INGV è ancora agli inizi di un percorso di definizione della pericolosità da maremoto sulle coste italiane e di ottimizzazione delle modalità con cui viene effettuata la sorveglianza e la determinazione dei livelli di allerta.

Un'attenzione particolare è stata rivolta anche alla definizione delle procedure necessarie per ottimizzare la risposta del sistema e minimizzare al tempo stesso l'esposizione degli operatori incaricati del delicato compito di gestire il rischio durante un'emergenza. Proprio per la natura estremamente peculiare di questo rischio (il grado di "prevedibilità" dell'evento, la rarità del fenomeno, il forte impatto che un evento di maremoto potrebbe avere sulle coste, ecc.), risulta fondamentale che le attività siano sorrette da una base scientifica solida e costantemente aggiornata, come pure da una chiara definizione delle procedure con le azioni di risposta da parte degli operatori.

3 Cass. sez. Un., 24 aprile 2014, 38343 con commenti, fra gli altri, in *www.penalecontemporaneo.it*

BIBLIOGRAFIA

Basili R. e TSUMAPS-NEAM Team (2017), Probabilistic Tsunami Hazard Assessment (PTHA) and Mapping in the NEAM region: results of the TSUMAPS-NEAM Project, *Convegno Nazionale del GNGTS*, Trieste, novembre 2017.

Bernardi F., Lomax A., Michelini A., Lauciani V., Piatanesi A., e Lorito S., Appraising the Early-est earthquake monitoring system for tsunami alerting at the Italian Candidate Tsunami Service Provider, In *Nat. Hazards Earth Syst., Sci.*, 15, 2019-2036, doi: 10.5194/nhess-15-2019-2015, 2015.

Cerase, A., La comunicazione dei rischi in contesti di incertezza interpretativa: prima e dopo il 6 aprile 2009. In *Processo alla scienza (Borsari, R. ed.)*, Padova, p. 105 e ss., 2016.

Di Landro, A., Le novità normative in tema di colpa penale (L. 189/12, c.d. "Balduzzi"). Le indicazioni del diritto comparato. In *Rivista Italiana di Medicina Legale e del Diritto in campo Sanitario*, p. 842 e ss., 2013.

Direttiva PCM 17 febbraio 2017, pubblicata nella G.U. il 5 giugno 2017.

Gargani, A., Omesso impedimento di calamità naturali? La problematica posizione di garanzia posta a carico dei titolari di protezione civile. *In www. lalegislazionepenale.eu*, 2013.

Geist, E. L. e Lynett, P. J., Source processes for the probabilistic assessment of tsunami hazards, *Oceanography*, 27, 86–93, 2014.

Giunta, F., Intervento. In *Protezione civile e responsabilità nella società del rischio*, Pisa., p. 144 e ss., 2013.

Grezio, A., Babeyko, A., Baptista, M. A., Behrens, J., Costa, A., Davies, G., Geist, E. L., Glimsdal, S., González, F. I., Griffin, J., Harbitz, C. B., LeVeque, R. J., Lorito, S., Løvholt, F., Omira, R., Mueller, C., Paris, R., Parsons, T., Polet, J., Power, W., Selva, J., Sørensen, M., Thio, H. K. (2017), Probabilistic Tsunami Hazard Analysis: Multiple sources and global applications. *Reviews of Geophysics*, 55. https://doi.org/10.1002/2017RG000579.

Heidarzadeh, M., Necmioglu, O., Ishibe, T., and Yalciner, A. C., Bodrum–Kos (Turkey–Greece) Mw 6.6 earthquake and tsunami of 20 July 2017: a test for the Mediterranean tsunami warning system. Geoscience Letters (AOGS) 2017, 4:31, https://doi.org/10.1186/s40562-017-0097-0.

Iadecola, G., Brevi note in tema di colpa medica dopo la c.d. legge Balduzzi. In *Rivista Italiana di Medicina Legale e del Diritto in campo Sanitario*, p. 549 e ss., 2013.

Lomax A. e Michelini A. (2012), Tsunami early warning within 5 minutes, *Pure and Applied Geophysics*, doi: 10.1007/s00024-012-0512-6.

Lorito S., Selva J., Basili R., Romano F., Tiberti M.M. e Piatanesi A., Probabilistic hazard for seismically indcued tsunamis: accuracy and feasibiity of inundation maps. In *Geophys. J. Int.*, 200, 574-588, doi:10.1093/gji/ggu408, 2015.

Mantovani, F., L'obbligo di garanzia ricostruito alla luce dei principi di legalità, di solidarietà, di libertà e di responsabilità personale. In *Riv. it. dir. proc. pen.*, p. 345 e ss., 2001.

Maramai A., Brizuela B. and Graziani L. (2014), The Euro-Mediterranean Tsunami Catalogue, *Annals of Geophysics*, 57, 4, S0435; doi:10.4401/ag-6437.

Nakayachi, K., Yokoyama, H. M. and Oki, S., Public anxiety after 2011 Tohoku earthquake: fluctuation in hazard perception after catastrophe. In *JRR*, p. 156 e ss., 2014.

Oki, S. and Nakayachi, K., Paradoxical Effects of the record - high tsunamis caused by the 2011 Tohoku earthquake on public judgment of danger. In *IJDRR*, p. 37 e ss., 2012.

Perini, C., Il concetto di rischio nel diritto penale moderno, Milano, 2010.

Roiati, S., Il ruolo del sapere scientifico e l'individuazione della colpa lieve nel cono d'ombra della prescrizione. *In www.penalecontemporaneo.it*, 2013

Selva J., Hoechner A., Iqbal S., Lorito S. e Thio H.K. (2017a), Managing subjectivity and elicitations in the TSUMAPS-NEAM project, Session 2.1, *Convegno Nazionale del GNGTS*, Trieste, novembre 2017.

Selva J., Lorito S., Babeyko A., Basili R., Hoechner A., Maesano F.E., Scala A., Taroni M., Tonini R., Tiberti M.M., Romano F., Perfetti P. e Volpe M. (2017b), On the use of faults and background seismicity in Seismic Probabilistic Tsunami Hazard Analysis (SPTHA), *Convegno Nazionale del GNGTS*, Trieste, novembre 2017.

Selva, J., Tonini, R., Molinari, I., Tiberti, M. M., Romano, F., Grezio, A., Melini, D., Piatanesi, A., Basili, R., e Lorito, S., Quantification of source uncertainties in Seismic Probabilistic Tsunami Hazard Analysis (SPTHA), *Geophys. J. Int.*, 205, 1780–1803, doi:10.1093/gji/ggw107, 2016.

Selva J., Lorito S., Perfetti P., Bernardi F., Tonini R., Romano F., Volpe M., Pintore S., Piatanesi A., Amato A., Towards Probabilistic Tsunami Forecast (PTF) in the NEAMTWS, International Symposium: Advances in Tsunami Warning to Enhance Community Responses, UNESCO- IOC, 12 - 14 February 2018, Paris, France.

Shaw, B., The AD 365 Earthquake: Large Tsunamigenic Earthquakes in the Hellenic Trench. In: *Active tectonics of the Hellenic subduction zone*, Springer Theses, p. 7-28.

Valbonesi, C., Linee guida e protocolli per una nuova tipicità dell'illecito colposo. In *Riv. it. dir. e proc. pen.*, p. 298 e ss., 2013.

Valbonesi, C., Studio delle problematiche relative alle eventuali posizioni di garanzia e ai profili di responsabilità colposa, anche in prospettiva sovranazionale, con riferimento alle attività del centro Allerta Tsunami dell'INGV, comprensivo di suggerimenti metodologici nella redazione di linee guida e di protocolli di comportamento. Miscellanea INGV, in corso di stampa.

Vallini, A., L'art. 3 del "Decreto Balduzzi" tra retaggi dottrinali, esigenze concrete, approssimazioni testuali, dubbi di costituzionalità. In AA. VV. L*a responsabilità medica dopo il "Decreto Balduzzi": una questione multidisciplinare*, *Rivista Italiana di Medicina Legale e del Diritto in campo Sanitario*, p. 735 e ss., 2013.

INGV

Pericolosità sismica, normativa e classificazione sismica in Italia

Seismic hazard, building code and seismic zoning in Italy

Carlo Meletti
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – Pisa

Massimiliano Stucchi
Eucentre - Pavia

Gian Michele Calvi
Eucentre - Pavia

Parole chiave (*key words*): Pericolosità sismica (*Seismic hazard*), norme tecniche per le costruzioni (*building code*), classificazione sismica (*seismic zoning*), Italy (*Italy*)

1. INTRODUZIONE

In questo articolo si fa il punto sulla evoluzione della valutazione della pericolosità sismica in Italia e del suo rapporto con la cosiddetta "classificazione sismica" del territorio. I due termini sono spesso confusi e vale la pena di fare chiarezza. Occorre precisare da subito che entrambi gli oggetti della trattazione sono in qualche modo legati alla normativa sismica; la classificazione in modo diretto, la pericolosità in quanto spesso valutata in termini utili alla normativa stessa.

Per pericolosità sismica si intende la descrizione, in un'area oppure in un punto, di un indicatore sismologico atto a provocare, in concorso con altri fattori, un pericolo futuro. Può trattarsi di un valore di scuotimento atteso con una certa probabilità in un certo intervallo di tempo, di un terremoto di una data magnitudo, ecc. La descrizione areale di un tale parametro può servire a molti scopi, dai regolamenti edilizi alle politiche di prevenzione in generale; in molti paesi esiste una valutazione di pericolosità ufficiale che viene aggiornata a cadenze regolari, per tener conto dei miglioramenti delle conoscenze.

Con classificazione sismica, viceversa, si intende l'associazione dei vari comuni italiani a una categoria, o zona, sismica, per la conseguente adozione della normativa sismica per le costruzioni. La classificazione sismica è pertanto una operazione che, pur basata oggi su fondamenti di pericolosità sismica, tiene conto di quest'ultima – formulata secondo appositi parametri – ma soprattutto della normativa stessa per la quale è concepita. Oggi, peraltro, il termine "classificazione sismica" viene utilizzato anche in relazione alla valutazione del rischio sismico di un edificio – per ridurre il quale si può accedere agli incentivi fiscali del Sismabonus – con evidente possibilità di confusione.

Fino al 1998 la competenza in materia di classificazione sismica era dello Stato, con il concorso consultivo delle Regioni dagli anni '80. A partire dal 1998 il complesso delle competenze in materia di normativa sismica è stato ripartito fra Stato e Regioni; in particolare la classificazione sismica è stata affidata a queste ultime. A seguito dell'Ordinanza PCM 3274 del 2003, le classificazioni sismiche regionali sono state modificate varie volte, accompagnando a volte tali modifiche con deroghe di varie natura. La Regione Lombardia ha aggiornato le zone sismiche nel 2014, ma ne ha rinviato l'attuazione al 2015; l'ultima Regione che ha deliberato un aggiornamento è la Liguria nel 2016.

Tuttavia, dal 2009 la nuova normativa per le costruzioni (NTC08, 2008) stabilisce l'azione sismica di riferimento in un modo diverso da prima, passando da quattro zone e quindi da quattro spettri di progetto per tutto il territorio, a valori puntuali dei medesimi, tratti dal modello di pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale. Di conseguenza la classificazione sismica oggi non determina più l'azione sismica di riferimento, ma ha mantenuto soltanto il compito di indirizzare controlli sui progetti e di determinare priorità di intervento, obiettivi per i quali si possono ipotizzare per il futuro indicatori diversi da quelli attuali.

Nel seguito viene presentata una breve analisi cronologica dei principali sviluppi delle elaborazioni di pericolosità sismica e di classificazione sismica.

2. PERICOLOSITÀ SISMICA

Nel corso degli anni sono state compilate varie mappe che possono essere definite "di pericolosità", intendendo con questo un approccio quantitativo e in qualche modo "statistico" alla descrizione della sismicità che non si limiti a riportare le aree colpite nel passato da terremoti. Ci piace ricordare come primo esempio la carta di Torquato Taramelli (1888) che descrive le aree sismiche in Italia in base al numero di eventi distruttivi accaduti ogni 100 anni (*Fig.* 1).



Figura 1 – Abbozzo di carta sismica dell'Italia di Taramelli (1888)

BOZZA

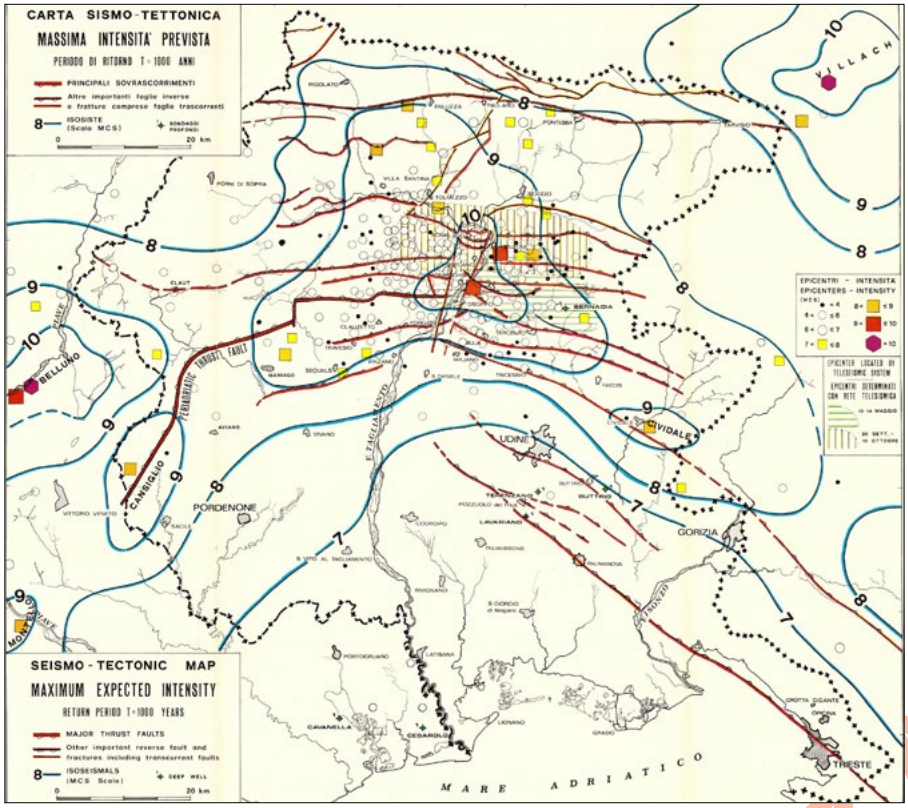


Figura 2 – Stima di pericolosità sismica del territorio friulano prodotta da OGS (Amato et al.*, 1976)*

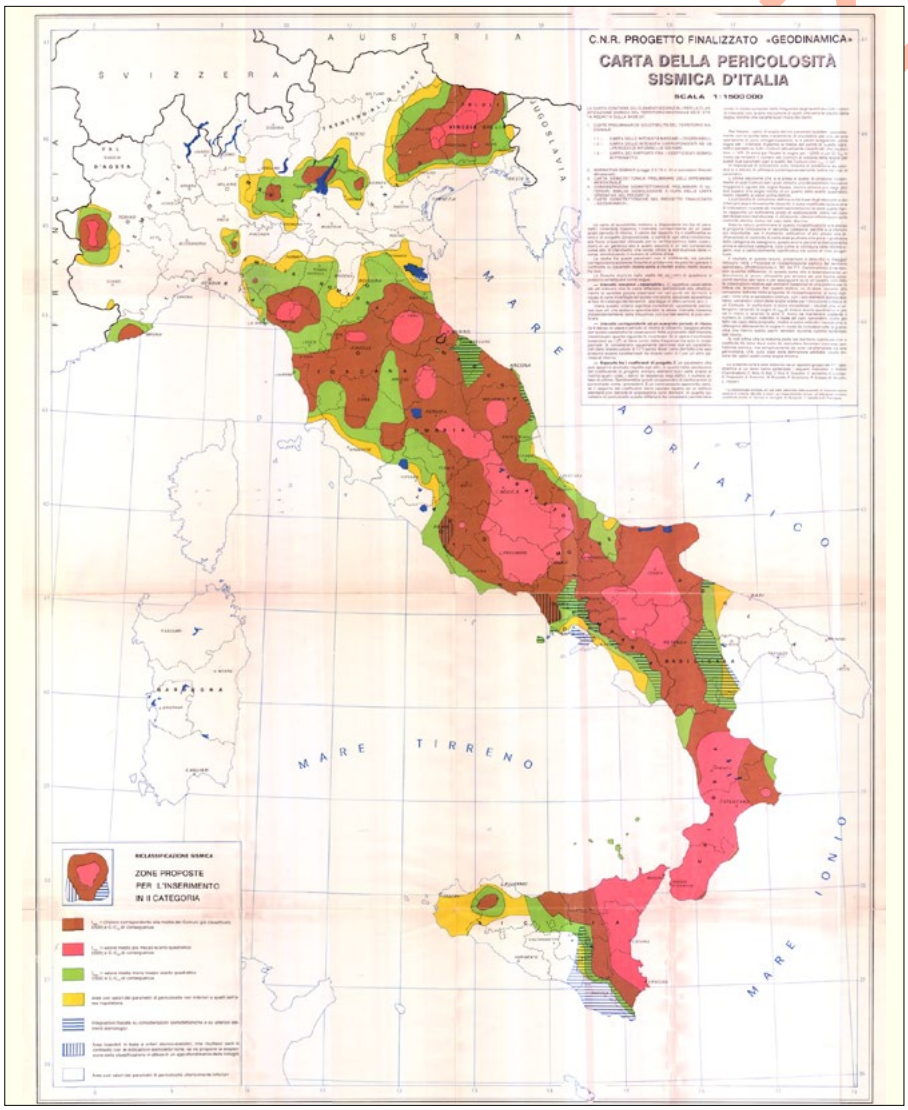


Figura 3 – Carta di pericolosità sismica, finalizzata alla classificazione sismica del territorio, prodotta dal Progetto Finalizzato Geodinamica del CNR (PFG-CNR, 1981)

Una delle commissioni scaturite dal terremoto di Messina e Reggio Calabria del 1908 redige una relazione che può essere considerata la progenitrice delle mappe di pericolosità: essa contiene la definizione di criteri geologici e geotecnici da applicare per la riduzione del rischio sismico, anche se non formulate nei termini che conosciamo attualmente, e viene recepita nel Regio Decreto 193 del 18 aprile 1909.

Per avere valutazioni di pericolosità sismica di tipo moderno si deve arrivare agli anni '70, quando il CNEN (comitato Nazionale per l'Energia Nucleare) promosse studi e elaborazioni di vario tipo, e fra queste alcune valutazioni di pericolosità sismica di tipo statistico. Nel 1976, in un periodo di ripresa della attività in questo settore a livello europeo e mondiale, dopo i terremoti del Friuli l'OGS compilò una carta di pericolosità sismica del territorio Friulano (Amato *et al.*; *Fig.* 2).

Il Progetto Finalizzato Geodinamica (PFG) del CNR (1975-1981) rilasciò nel 1977 una serie di mappe di pericolosità basate su vari indicatori con approccio statistico moderno. Una combinazione di tre di esse, denominata "Carta della pericolosità sismica d'Italia, strettamente finalizzata alla riclassificazione sismica del territorio nazionale, venne compilata nel 1980 all'indomani del terremoto di Irpinia e Basilicata e pubblicata nel 1981 (PFG-CNR, 1981; *Fig.* 3).

Dal 1982 il Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti (GNDT) raccolse l'eredità del PFG e portò avanti la ricerca su pericolosità e rischio sismico in Italia e studi di ingegneria sismica. Nel 1996, al termine di un percorso durato alcuni anni, rilasciò una serie di prodotti finalizzati alla stima della pericolosità sismica: un nuovo catalogo dei terremoti (NT4.1; https://emidius.mi.ingv.it/NT/home.html; Camassi e Stucchi, 1997) e un modello di zonazione sismogenetica (ZS4; https://emidius.mi.ingv.it/GNDT/ZONE/zone_sismo.html; Meletti *et al.*, 2000). Con questi elementi fu possibile realizzare la mappa denominata PS4 (Slejko *et al.*, 1998), che rappresentava la distribuzione del valore di PGA atteso con una probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, ovvero il parametro usato convenzionalmente in tutto il mondo per definire la pericolosità sismica in termini probabilistici utili all'ingegneria sismica (*Fig.* 4).

Dopo che GNDT e Servizio Sismico Nazionale (poi confluito nel Dipartimento della Protezione Civile) avevano realizzato stime di pericolosità diverse (Slejko *et al.*, 1998; Romeo e Pugliese, 1997) si pensò di produrre una mappa congiunta per la quale raggiungere un accordo tra gli operatori coinvolti (verrà chiamata per questo "mappa di consenso"). Utilizzando lo stesso catalogo dei terremoti e la stessa zonazione sismogenetica di PS4,

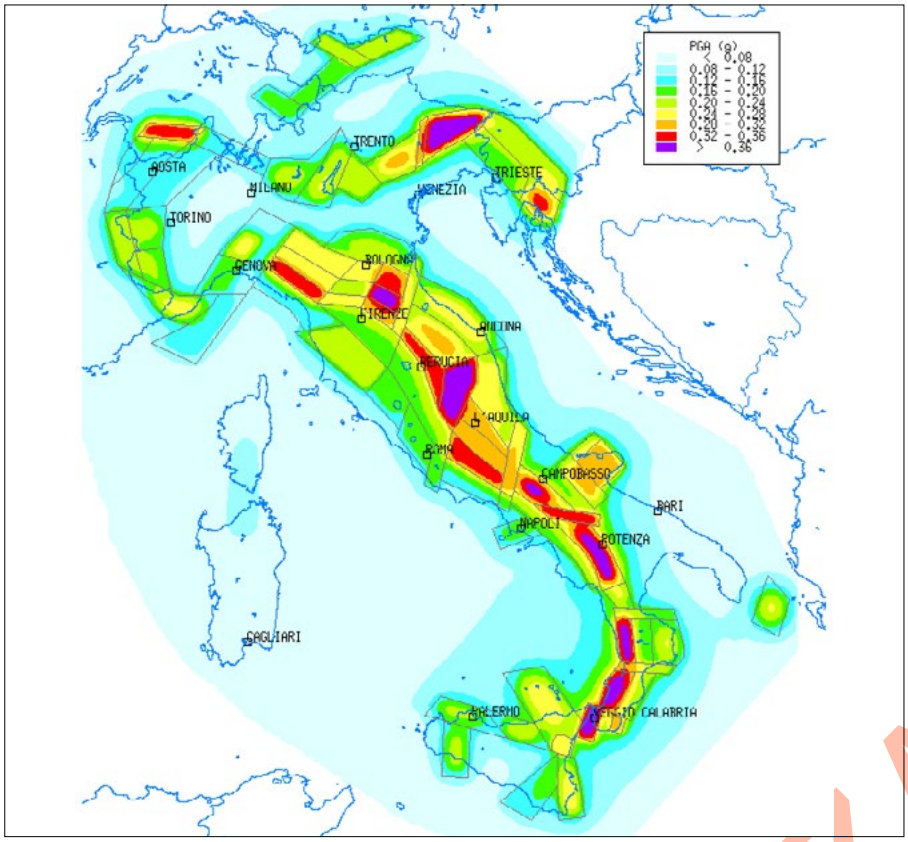


Figura 4 – Mappa di pericolosità sismica prodotta dal GNDT nel 1996 (Slejko et al.*, 1998)*

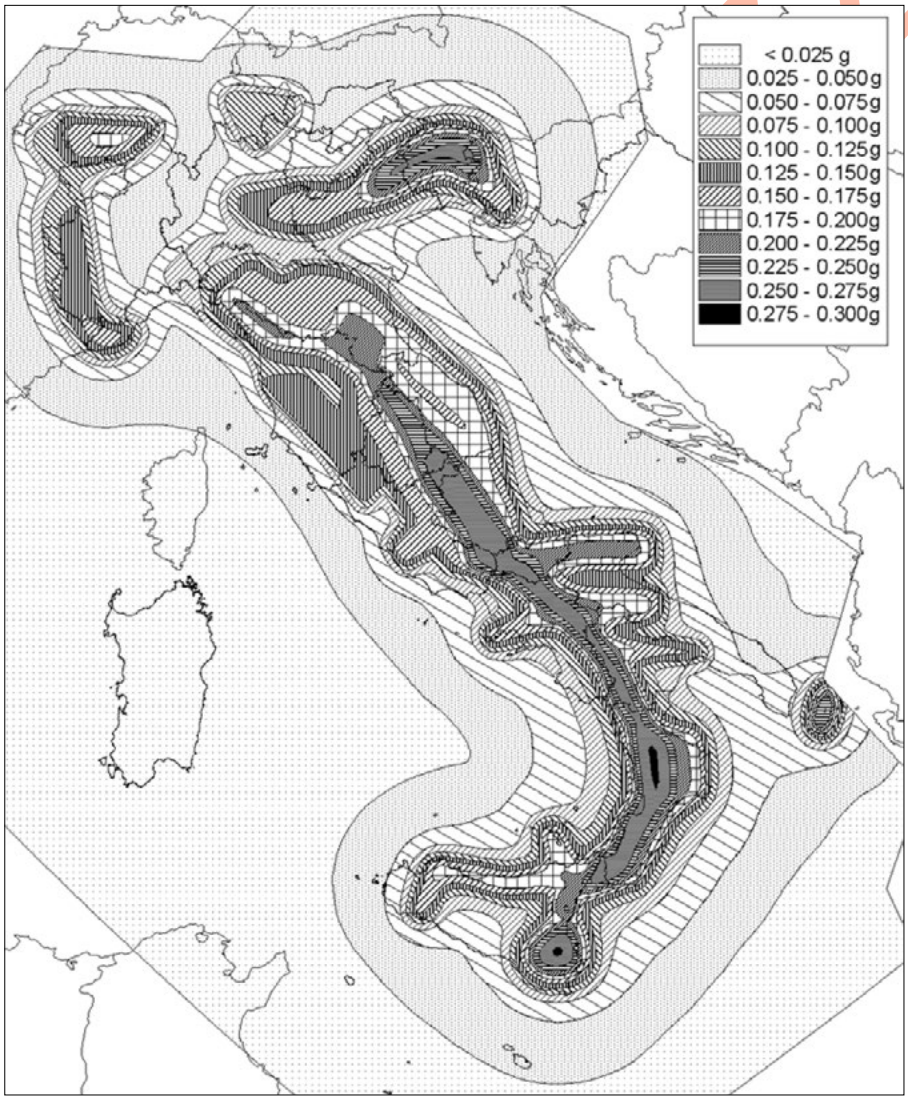


Figura 5 – Mappa di pericolosità sismica MPS04, come pubblicata in GU con l'OPCM 3519/2006

sono state rivalutate le altre scelte operative (per esempio sui modelli di attenuazione del moto del suolo) e ricalcolati i tassi di occorrenza delle singole zone sorgente (Albarello *et al.*, 2000).

A seguito del terremoto di San Giuliano di Puglia del 31 ottobre 2002, e della conseguente Ordinanza PCM 3274/2003 (GU n.108 dell'8 maggio 2003), si avviò un processo per la stima della pericolosità sismica secondo dati, metodi, approcci aggiornati, condivisi e utilizzati a livello internazionale. Per la prima volta venne delineato un percorso per il quale venivano definite le procedure da seguire, il tipo di prodotti da rilasciare e l'applicazione dei risultati per l'aggiornamento delle zone sismiche. Questa iniziativa portò alla realizzazione del Modello di Pericolosità Sismica 2004 (MPS04) che descrive la pericolosità sismica attraverso il parametro dell'accelerazione orizzontale attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante (Gruppo di lavoro MPS, 2004; Stucchi *et al.*, 2011).

Il modello MPS04 è diventato ufficialmente il riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006), quale strumento – tuttora in vigore - per aggiornare le zone sismiche (*Fig.* 5).

Successivamente, nell'ambito del progetto INGV-DPC S1 (2005-2007) [http://esse1.mi.ingv.it/], furono rilasciate una serie di stime di pericolosità sismica per diverse probabilità di eccedenza in 50 anni, basate sullo stesso impianto metodologico e sugli stessi dati di input di MPS04, e per diverse accelerazioni spettrali. Per ogni punto della griglia di calcolo (che ha una densità di 20 punti per grado, circa un punto ogni 5 km) sono oltre 2200 i parametri che ne descrivono la pericolosità sismica. Questa informazione così dettagliata ha reso possibile la definizione di norme tecniche nelle quali l'azione sismica di riferimento per la progettazione è valutata punto per punto (non più per 4 zone sismiche, cioè secondo solo 4 spettri di risposta elastica).

Il Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici emanò nuove Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC08) con il D.M. del 14 gennaio 2008 (G.U. n.29 del 04/02/2008) nelle quali la definizione dell'azione sismica di riferimento si basa sui dati rilasciati da INGV e dal Progetto S1.

3. CLASSIFICAZIONE SISMICA

Fino al 1974 ciascun Comune venne inserito in zona sismica quasi esclusivamente dopo un terremoto che avesse provocato danni forti, più per determinare le aree per le quali richiedere risarcimenti che per spirito di prevenzione. Si deve anche ricordare che 217

comuni, già classificati come sismici, furono declassati in diversi momenti tra il 1927 e il 1965, su richiesta delle Amministrazioni comunali (*Fig.* 6a), con motivazioni essenzialmente di carattere economico (adottare la normativa comportava un aumento di costi e di conseguenza le nuove costruzioni di abitazioni e soprattutto di insediamenti di impianti industriali o di attività turistiche si spostavano verso comuni non sismici).

Per la situazione fino al 1974 si rimanda alle sintesi contenute in De Marco *et al.* (2000), Meletti *et al.* (2006), Guzzoni e Pizzigoni (2014).

Nel 1974 entrò in vigore la legge 64/1974, che rinnovò il corpo della normativa sismica rimandando a successivi decreti il compito di aggiornare, tra le altre cose, la mappa della classificazione sismica. La mappa del 1974 (*Fig.* 6b) divideva i 1368 comuni classificati (su un totale di oltre 8100), in due categorie (297 in zona 1; 1071 in zona 2).

Alle due categorie erano associati due spettri (*Fig.* 7), definiti dal Decreto Ministeriale del 3 marzo 1975. Nel 1976 i comuni classificati vennero estesi a seguito del terremoto del Friuli, ancora secondo i criteri precedenti.

Fu solo a partire dal 1980 che la classificazione sismica cominciò a basarsi su valutazioni di pericolosità sismica, con l'applicazione della citata "mappa di pericolosità sismica" (GDL, 1980) (*Fig.* 3) all'elenco dei Comuni italiani da parte del Progetto Finalizzato Geodinamica (Gruppo di Lavoro, 1980) e la conseguente accettazione da parte del Ministero dei LL.PP. Per una applicazione completa fu necessario attendere il 1984, dopo i pareri delle Regioni: la mappa di classificazione sismica in vigore nel 1984 vide la istituzione della terza categoria, limitatamente però alle sole Regioni colpite dal terremoto del 1980, e cioè Campania, Basilicata e Puglia (*Fig.* 9).

In totale i Comuni classificati come sismici divennero 2992: 100 in zona 3, 2524 in zona 2, 368 in zona 1. Oltre 5000 Comuni restarono "non classificati".

Il documento del PFG aveva indicato aree che richiedevano approfondimenti scientifici.

Dal 1984 al 1996 gli studi della comunità scientifica misero a disposizione nuove conoscenze che nel 1998, sotto la spinta di F. Barberi, Sottosegretario di Stato alla Protezione Civile, resero possibile la predisposizione di una nuova proposta di riclassificazione sismica, anch'essa su basi parzialmente probabilistiche (Gruppo di Lavoro 1999); la proposta combinava indicatori di pericolosità probabilistici (in particolare l'intensità di Housner a 10 e 50 anni) con la mappa delle massime intensità macrosismiche risentite. Tale proposta, tra le altre cose, espandeva la terza categoria a tutte le Regioni, tranne la Sardegna: i comuni classificati sarebbero diventati 4610, vale a dire oltre la metà dei comuni italiani (*Fig.* 8).

Questa proposta incontrò resistenze da parte del Ministero dei LLPP e di alcune Regioni, proprio a causa della notevole espansione delle zone da classificare. L'aggiornamento della classificazione non vide la luce se non dopo il terremoto di San Giuliano di Puglia del 2002 (Mw5.7), in cui crollò una scuola elementare provocando 27 morti. San Giuliano di Puglia non era classificato come sismico nel

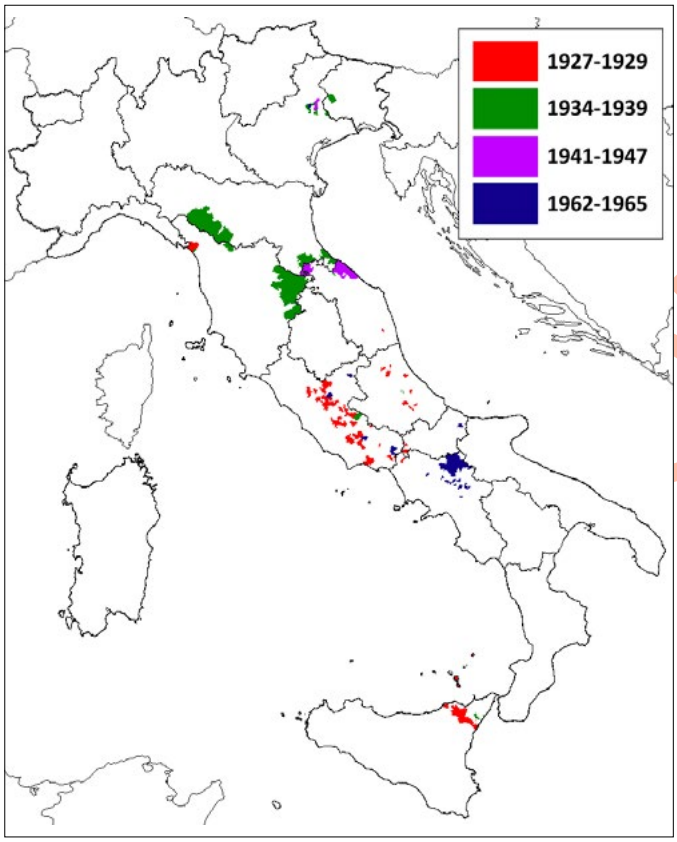


Figura 6a – Comuni declassificati nel periodo 1927 – 1965 (Meletti et al.*, 2014b)*

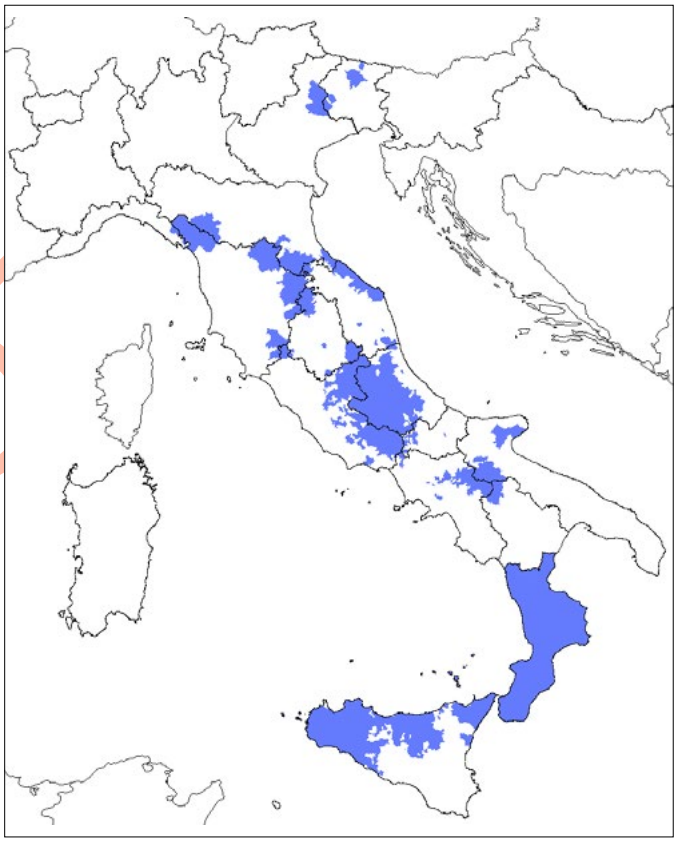


Figura 6b – Comuni classificati sismici al 1974 (Meletti et al.*, 2014b)*

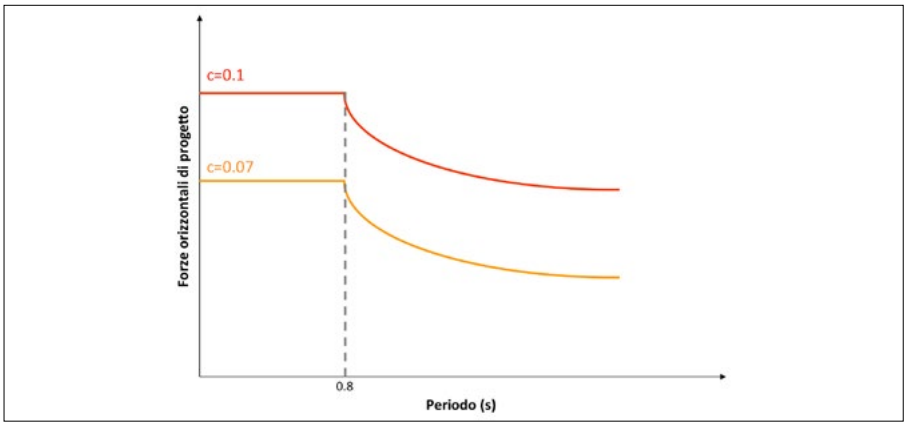


Figura 7 – Spettri di risposta elastica per la progettazione in zona 1 e zona 2 secondo il DM 3.3.1975

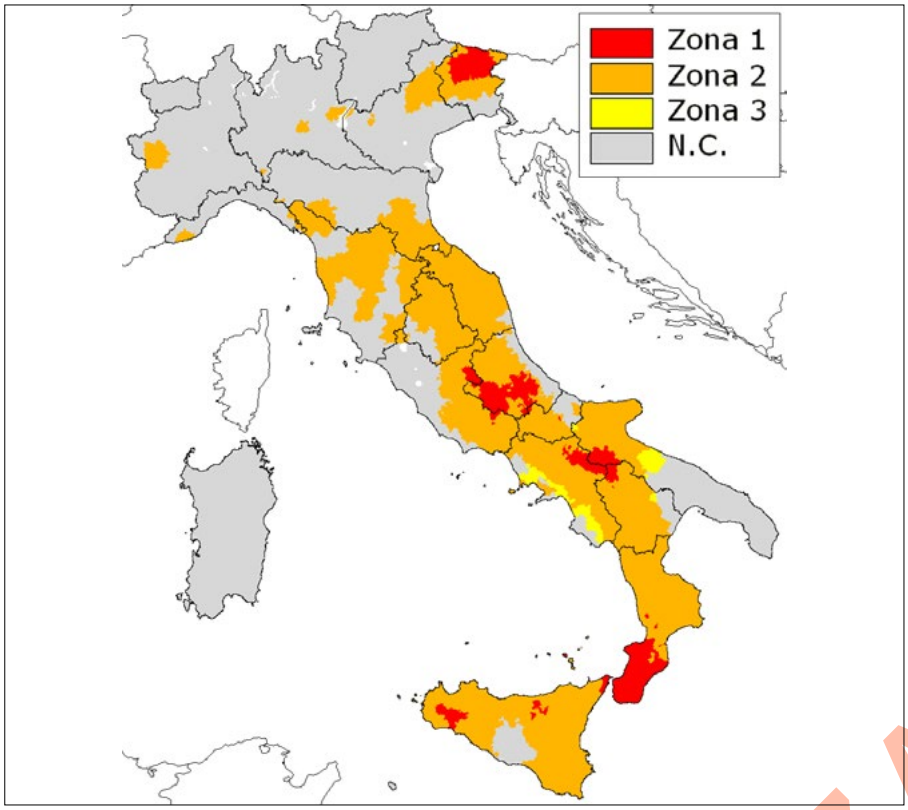


Figura 8 – Classificazione sismica dei comuni al 1984 (N.C. = non classificato

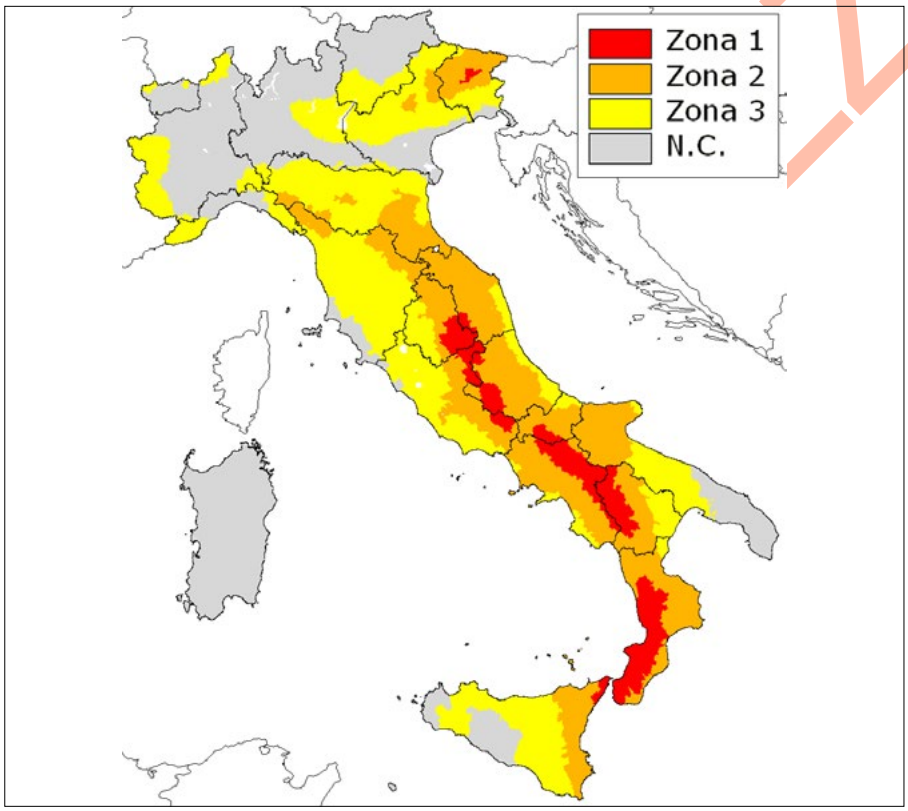


Figura 9 – Proposta di classificazione sismica del 1998 (Gruppo di lavoro, 1999)

2002, mentre lo sarebbe stato in forza della proposta del 1998.

Nel 2003, con l'Ordinanza PCM 3274/2003, fu rivisto l'intero corpo normativo sismico nazionale, che venne adeguato alla filosofia dell'EC8.

Per la prima volta in modo esplicito una legge dello stato definiva le modalità di inserimento dei Comuni in zona sismica sulla base di una valutazione di pericolosità sismica (*Tab.* 1), da compilarsi entro un anno secondo determinate specifiche.

Per quanto riguarda la mappa di classificazione sismica, venne provvisoriamente adottata la proposta 1998, che non era formulata nei termini richiesti ma era quanto di meglio immediatamente disponibile, con due aggiunte:

a) i Comuni non classificati in quella proposta, e mai classificati sismici prima, vennero inseriti in una nuova zona 4, eliminando in tal modo il concetto e l'impressione che potessero esistere zone "non sismiche" (alle Regioni venne tuttavia data la facoltà di imporre o meno la progettazione sismica in questa zona);
b) i Comuni che nel 1984 erano assegnati a una zona superiore a quella prevista dalla Proposta 1998 vennero mantenuti nella categoria originale, provvisoriamente, in modo cautelativo (*Figg.* 10A e 10B).

Tutto il territorio italiano venne pertanto associato a una delle 4 zone sismiche, ad ognuna delle quali competeva uno spettro di progetto in accelerazione (*Fig.* 11), ancorato al valore di accelerazione al terreno di *Tab.* 1.

Tutte le Regioni, sulla base del D.Lgs. 112/1998, recepirono entro il 2004 le mappe previste dalla Ordinanza PCM 3274/2003, che concedeva la facoltà di aumentare o diminuire di una zona la classificazione sismica dei singoli Comuni. Si avvalsero di questa facoltà le Regioni Sicilia, Basilicata, Lazio e la Provincia Autonoma di Trento, mentre la Regione Campania, che aveva aggiornato le zone sismiche prima dell'OPCM 3274 proprio sulla base della Proposta 1998, non procedette a ulteriori modifiche, giacché le differenze rientravano entro i margini di tolleranza. In totale per 98 comuni la zona sismica risultò diversa da quella proposta dall'Ordinanza 3274 (78 verso una zona sismica meno pericolosa, 20 verso una zona più pericolosa); la Sicilia assegnò 89 comuni alla zona 2, prescrivendo che gli edifici strategici fossero però progettati come se si trovassero in zona 1. Alla fine del 2004 la classificazione sismica nazionale di fatto non esisteva più, sostituita da 20 classificazioni regionali.

Va tuttavia osservato che l'applicazione della normativa per le costruzioni introdotta con l'Ordinanza PCM 3274/2003 fu accompagnata da una serie di deroghe che consentirono di progettare secondo le norme precedenti. Tale possibilità, in alcuni casi, venne interpretata

Tabella 1 – Valori di accelerazione che definiscono le 4 zone sismiche e relativi valori di ancoraggio dello spettro

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ag/g]	Accelerazione di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [ag/g]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

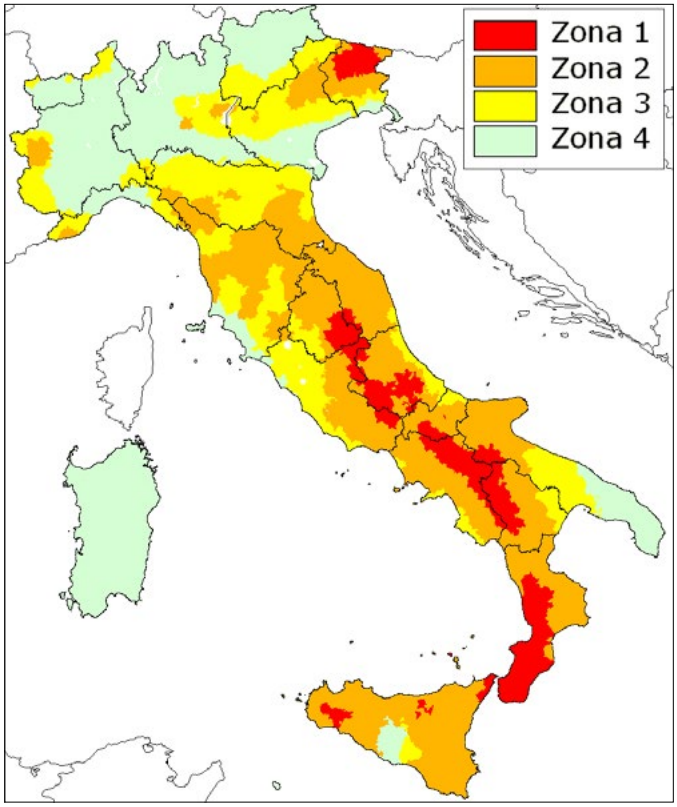


Figura 10A - Classificazione sismica dei comuni al 2003, ai sensi dell'OPCM 3274/2003.

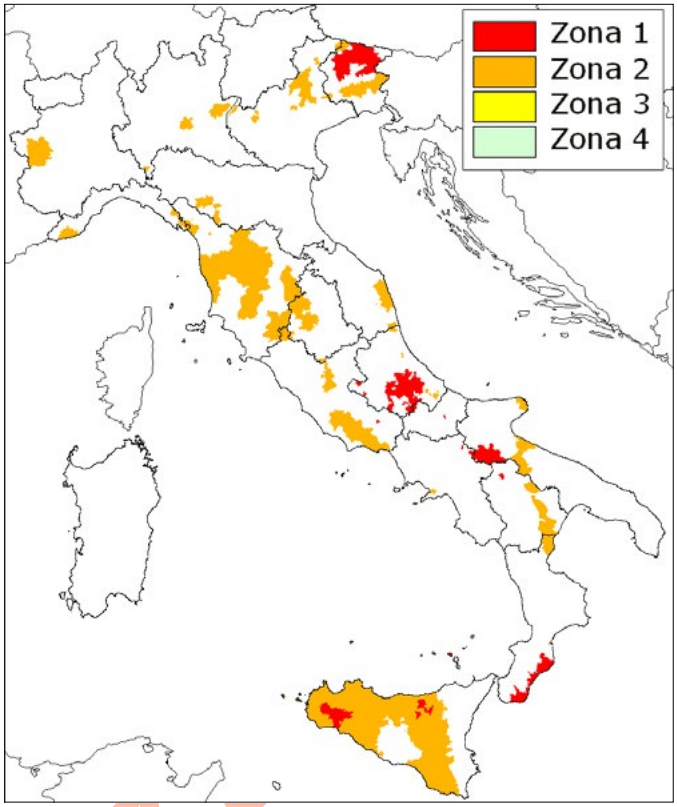


Figura 10B – Comuni per i quali l'OPCM 3274/2003 non ha abbassato la zona sismica rispetto alla proposta del 1998, mantenendo la zona sismica del 1984

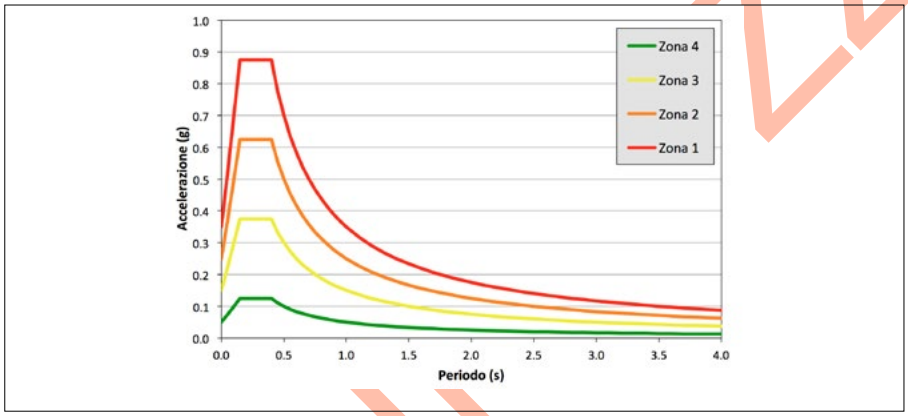


Figura 11 – Spettri di risposta per le 4 zone sismiche previsti dall'OPCM 3274/2003. Questi spettri sono riferiti a suolo rigido per edifici ordinari (es: abitazioni); le forme spettrali possono essere modificate in base al suolo, al coefficiente topografico e in base all'importanza dell'edificio

anche in relazione alla classificazione sismica precedente, consentendo pertanto di progettare – nelle zone fino al 2003 non classificate – senza l'applicazione di alcuna norma sismica. L'eventuale aggiornamento doveva avvenire utilizzando le stesse soglie di accelerazione che definiscono le quattro zone sismiche: rispetto a queste soglie, l'Ordinanza PCM 3519/2006 concedeva una flessibilità di 0,025 g.

A seguito della pubblicazione della mappa di *Fig.* 5, che concedeva alle Regioni una flessibilità di 0,025 g., alcune Regioni (ri)aggiornarono la classificazione sismica: Molise, Toscana e Provincia Autonoma di Bolzano.

Come detto sopra, con il rilascio delle NTC08, avvenuto nel 2008 e divenute obbligatorie solo il 1°luglio 2009 dopo il terremoto dell'Aquila, di fatto venne a interrompersi il legame diretto tra classificazione sismica e normativa delle costruzioni.

Comunque, le mappe regionali di classificazione vennero aggiornate da Friuli, Lazio, Liguria, Piemonte, Umbria, Molise, Valle d'Aosta e nuovamente Toscana. La Lombardia emanò, nel luglio 2014, un decreto di aggiornamento della classificazione sismica allineato con l'Ordinanza PCM 3519/2006, che inseriva tra l'altro tutto il territorio del Comune di Milano in terza categoria; l'entrata in vigore era prevista nell'ottobre 2014, ma fu prorogata di un anno.

In totale, dall'emanazione dell'OPCM 3519/2006 a oggi, 10 tra Regioni e Province Autonome hanno aggiornato la propria classificazione sismica dopo la pubblicazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (*Fig.* 12A, le informazioni derivano dal sito web del Dipartimento della Protezione Civile). In qualche caso (Lazio, Liguria e Provincia di Trento) le Regioni hanno ritenuto di introdurre sottozone a fini delle proprie politiche di prevenzione: per il significato di tali sottozone si rimanda ai siti web delle Amministrazioni Regionali. Per convenienza, nelle considerazioni che seguono abbiamo accorpato tali sottozone in una delle 4 zone sismiche previste dall'OPCM 3519/2006 - nello specifico in quella superiore - ottenendo così la mappa di *Fig.* 12B.

La situazione aggiornata delle zone sismiche è disponibile nel sito del Dipartimento della Protezione Civile [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/classificazione.wp].

4. SOVRASTIME E SOTTOSTIME?

Dopo la pubblicazione del modello MPS04, così come avvenuto in altri paesi, il modello stesso è stato criticato a varie riprese: inizialmente è stato accusato di "sovrastimare" la pericolosità sismica, in quanto avrebbe aumentato significativamente il numero di comuni in zona 2 e 3, se applicato integralmente. Successivamente, soprattutto dopo ogni terremoto forte, è stato accusato di "sottostimare" la pericolosità sismica e pertanto – quasi fosse automatico – di sottostimare la sicurezza degli edifici.

La discussione teorico-concettuale in materia è nutrita e comprende anche le modalità stesse di "validazione" delle stime di pericolosità sismica (vedi Albarello e D'Amico, 2015; Marzocchi e Jordan, 2017; Iervolino *et al.*, 2017). In particolare sembra necessario

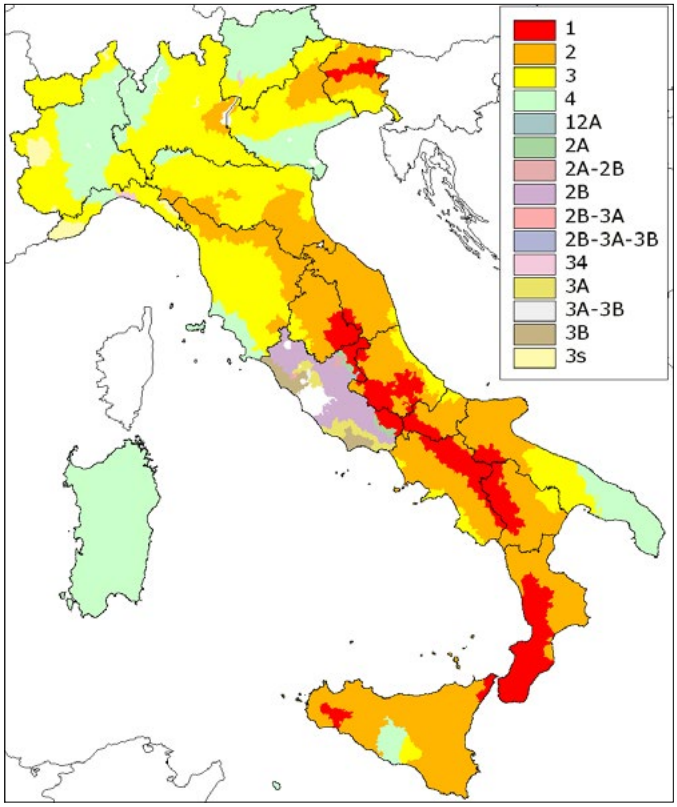


Figura 12A – Classificazione sismica dei comuni aggiornata al settembre 2014. In alcune Regioni sono state definite sottoclassi (es. 2A o 2B), per il significato delle quali si rimanda alle relative amministrazioni. Il comune di Roma è stato suddiviso in sotto-aree e appare bianco in questa rappresentazione (Meletti et al.*, 2014b).*

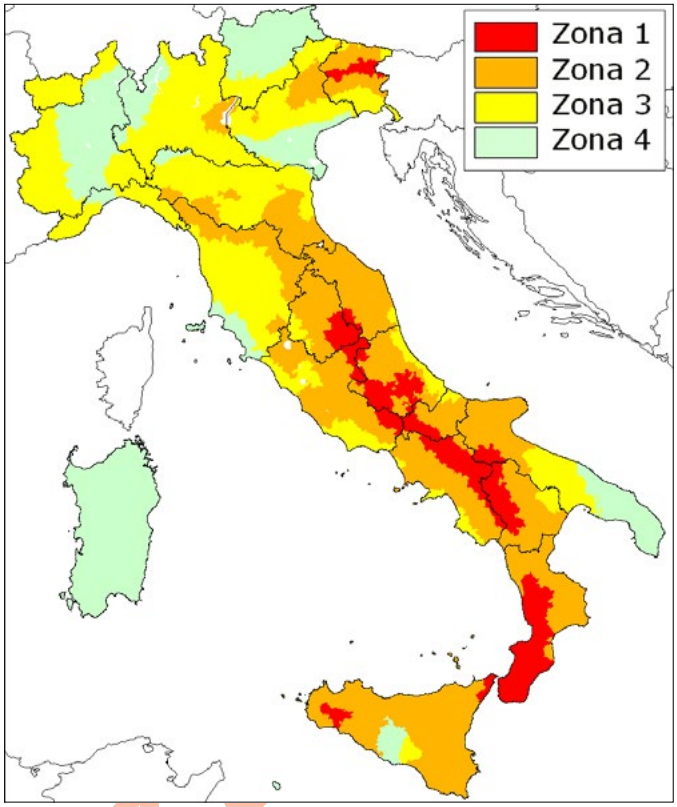


Figura 12B – Classificazione sismica dei comuni aggiornata al settembre 2014. Eventuali sottozone sono state accorpate alla zona di maggiore pericolosità sismica. Anche il comune di Roma è stato associato per intero alla zona a maggiore pericolosità (Meletti et al.*, 2014b).*

chiarire ancora una volta che, anche qualora la PGA o meglio lo spettro di risposta del moto del suolo in un punto superasse i valori adottati dalla norma, questo non comporterebbe automaticamente il crollo delle strutture progettate secondo le norme stesse, generalmente protette da diversi fattori di riduzione della stima della resistenza e dalla possibile applicazione di principi di gerarchia delle resistenze. I crolli di edifici in cemento armato analizzati a seguito di eventi sismici (contenuti in frazioni modeste del costruito) sembrano generalmente indirizzare verso difetti di progettazione o di costruzione piuttosto che verso sottostime delle azioni di progetto.

Se si prende in considerazione l'ambiente costruito, senza limitarsi a costruzioni relativamente recenti in cemento armato, è possibile esprimere ulteriori considerazioni:

a) il patrimonio edilizio italiano soffre del fatto di essere stato costruito in buona parte in assenza di normativa (vedi l'evoluzione della classificazione sismica) e relativi controlli. Questo è spesso associato ai ritardi, ai rinvii, all'inerzia con cui le amministrazioni competenti (centrali prima, regionali poi) hanno trasferito al piano applicativo le conoscenze sismologiche condivise ed applicabili. Ciò è stato particolarmente rilevante in territori non colpiti da terremoti recenti, per i quali la scienza difficilmente è riuscita a prevalere sulla cronaca (a ciò vanno associate le declassificazioni cui si è fatto cenno);
b) gli spettri di progetto associati alle norme non derivano direttamente e unicamente da valutazioni di carattere sismologico, quanto da valutazioni in cui vengono prese in considerazione contemporaneamente domanda e capacità. Teoricamente, la probabilità di collasso è associata al rapporto tra questi due parametri, non all'uno o all'altro individualmente. In tale contesto, non deve sorprendere che le NTC 2008 indichino forme spettrali meno conservative di quelle associate alla mappa del 2003, ovvero non considerino in modo esplicito i margini di incertezza offerti dai dati di MPS04. In un contesto ideale, si dovrebbe partire dalla probabilità annuale di collasso accettata e sulla base di tale valore tarare i fattori di protezione di azione (derivata dagli spettri di progetto) e capacità (derivata dalla risposta strutturale attesa). Solo studi molto recenti, ed ancora in corso, hanno iniziato valutazioni di questo tipo.

4a. L'Aquila, 2009

Il terremoto che colpì l'Aquilano nel 2009, oltre a favorire l'adozione dell'obbligatorietà dell'applicazione delle NTC08 (dal momento dell'emanazione convivevano con le normative precedenti e il professionista poteva scegliere quale applicare nella progettazione), determinò una serie di critiche di vario tipo su diversi fronti, in parte sostenute dallo sviluppo dei social media, culminate in particolare nel processo "Grandi Rischi" (Stucchi *et al.*, 2016). Per quel che riguarda il tema di questo articolo, la polemica più ostinata riguardò la presunta, mancata classificazione del territorio aquilano dalla zona 2 alla zona 1 (peraltro di competenza della Regione; Meletti e Stucchi, 2009). Le critiche in questione ignorarono che, quanto ricordato sopra in merito al confronto tra domanda e capacità. Si noti, in tale contesto, che lo spettro della zona 2 utilizzata dal 2003 al 2008 approssima quello attualmente associato alla zona 1. Questo argomento è stato trattato in dettaglio in "Progettazione Sismica" (Crowley *et al.*, 2009), anche se l'atmosfera di sospetto non è del tutto svanita e a volte ricompare.

4b. Emilia 2012

Il terremoto del 2012 indusse innumerevoli critiche, di varia provenienza, relative alla presunta sottostima della pericolosità o addirittura del rischio (Stucchi *et al.*, 2012). Ancora oggi politici emiliani ripetono che la zona non era considerata sismica, ignorando che la "Proposta 1998" già avrebbe inserito tutta l'area colpita in zona 3 e che, utilizzando i risultati del modello di pericolosità del 2004, gran parte dell'area colpita dal terremoto avrebbe potuto essere classificata in zona 2 (con l'utilizzo delle tolleranze previste dalla OPCM 3519).

In particolare questo evento fornì la base e lo spunto a numerosi articoli su riviste internazionali che utilizzarono questo episodio

in bozza

per dimostrare la "fallacia" del metodo probabilistico rispetto a quello deterministico. La maggior parte di questi articoli, tuttavia, eseguirono dei confronti fra il valore di PGA proposto da MPS04 e quelli registrati, dimenticando tra l'altro:

a) la non confrontabilità teorica di valori eventi con stime probabilistiche di probabilità (si veda Iervolino, 2013);
b) che i valori in questione si riferissero a due suoli di tipo diverso (come tali associati a parametri di correzione dell'azione molto diversi);
c) che il modello proponesse valori di scuotimento locale associati a periodi di ritorno fino a 2500 anni e pertanto i valori registrati non dovessero essere necessariamente confrontati con quelli associati a 500 anni;
d) come sia valore di accelerazione spettrale corrispondente al periodo di vibrazione della struttura e non il valore di accelerazione massima al terreno (PGA) che determina la capacità di progetto della struttura e conseguentemente la PGA non sia necessariamente un parametro di danno significativo;
e) che le attività di progettazione, valutazione, adeguamento si basino su fattori di protezione applicati anche alla risposta, non solo all'azione attese.

4c. Italia Centrale 2016

La sequenza che ha colpito l'Italia Centrale a partire dal 24 agosto 2016 è stata caratterizzata da 9 eventi di Mw superiore a 5. Il primo evento (Mw 6.0) ha prodotto danni gravissimi che poi si sono aggravati ed estesi ad un'area più ampia con l'evento del 30 ottobre (Mw 6.5). Il 24 agosto 4 stazioni accelerometriche hanno registrato valori di PGA superiori a 0.3 g, con il massimo nella stazione AMT (Amatrice) pari a 0.87 g; il 30 ottobre ben 15 stazioni hanno superato 0.3 g, con il massimo in una stazione temporanea (T1213) dove si è registrato un valore di PGA pari a 0.88 g. Il valore di 0.3 g è il valore massimo proposto dal modello MPS04 per il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.

Anche in occasione di questa sequenza si sono alzate le voci di chi ritiene che il modello di pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale sia inadeguato a rappresentare i valori registrati durante la sequenza. E anche in questo caso si è ignorato il fatto che il modello di riferimento è calcolato per suolo roccioso, mentre le stazioni sono nella stragrande maggioranza dei casi poste su suoli di tipo diverso che l'amplificazione sismica, che il modello propone valori per diverse probabilità. Meletti *et al.* (2016) hanno analizzato in dettaglio le registrazioni del 24 agosto mostrando il confronto tra modello e registrazioni, a parità di suolo (in questo caso B); come evidenziato in Meletti *et al.* (2014a) relativamente ai risultati del modello europeo SHARE, i modelli di attenuazione usati in MPS04 (definiti oltre 20 anni fa) si stanno rivelando poco cautelativi per le accelerazioni che si osservano in condizioni estreme di magnitudo elevata e piccolissima distanza dall'epicentro o addirittura in corrispondenza della faglia. Utilizzando lo stesso modello di sismicità di MPS04, ma con un modello di attenuazione più recente basato su dati italiani (Bindi *et al.*, 2011) si ottengono spettri a pericolosità uniforme compatibili con quanto registrato il 24 agosto 2016 (*Fig.* 13).

L'analisi dei terremoti dell'Italia centrale ha peraltro messo in evidenza fenomeni molto marcati di direttività dello scuotimento in corrispondenza della faglia, nonché la presenza di effetti di sito che giustificano ulteriormente gli alti valori di PGA verificatesi.

5. CONCLUSIONI

La valutazione della pericolosità sismica viene aggiornata con cadenza variabile nel mondo: negli USA ogni 6 anni, in Nuova Zelanda ogni 10 anni, in Canada ogni 5 anni, etc.

L'aggiornamento del modello di pericolosità sismica in corso per Italia (verrà denominato MPS18) non dovrebbe influenzare la classificazione sismica, in quanto – come detto sopra – la struttura attuale della normativa, basata su valori puntuali degli spettri di progetto, ha di fatto sottratto alla classificazione sismica lo scopo storico principale di determinare le azioni sismiche sulla base di classi, garantendo una opportuna omogeneità sul territorio nazionale. Le modifiche della normativa NTC, in corso di definizione, non dovrebbero modificare questa impostazione.

Per quanto riguarda le attribuzioni residue della classificazione sismica (severità dei controlli, determinazione delle priorità di intervento ecc.), è pensabile adottare indici differenti da quelli attuali.

Per quanto riguarda i controlli, è interessante notare come l'azione di controllo, sistematico o per campione, effettuata in modo serio e continuo per un lungo periodo di tempo, possa indurre un significativo miglioramento della pratica professionale, risultando quindi in un'efficace riduzione della vulnerabilità. In altre parole, un'azione di controllo in cui prevalga l'aspetto formativo su quello poliziesco può trasformarsi in un sistema di educazione professionale permanente, di grande valore applicativo. Purtroppo, in molte amministrazioni gli aspetti formali prevalgono su quelli sostanziali, anche a protezione delle proprie responsabilità.

Infine, per quanto riguarda la sensibilizzazione delle Amministrazioni e dei cittadini si può pensare di abbandonare le quattro zone sismiche, che rappresentano una descrizione decisamente semplificata del rischio sismico, in favore di indici più rappresentativi, quali ad esempio mappe di rischio, mappe di deficit di sicurezza (che in prima approssimazione potrebbe corrispondere alla differenza tra l'azione sismica adottata nel periodo di costruzione e quella prevista attualmente), o altre ancora. A titolo di esempio, vale la pena ricordare come nel modello di pericolosità sismica attuale alcune aree dell'Emilia (interessate dal terremoto del 2012) abbiano la stessa pericolosità sismica di ampie aree della Maremma Toscana, ma è indubbio che in termini di esposizione (popolazione, insediamenti industriali, ecc.) questa sia molto più elevata in Emilia. Una mappa di rischio enfatizzerebbe questo aspetto, richiedendo maggiore protezione laddove le conseguenze, a parità di input, sarebbero maggiori.

Viceversa, gli eventuali aggiornamenti della valutazione della pericolosità sismica potrebbero influire sulla determinazione degli

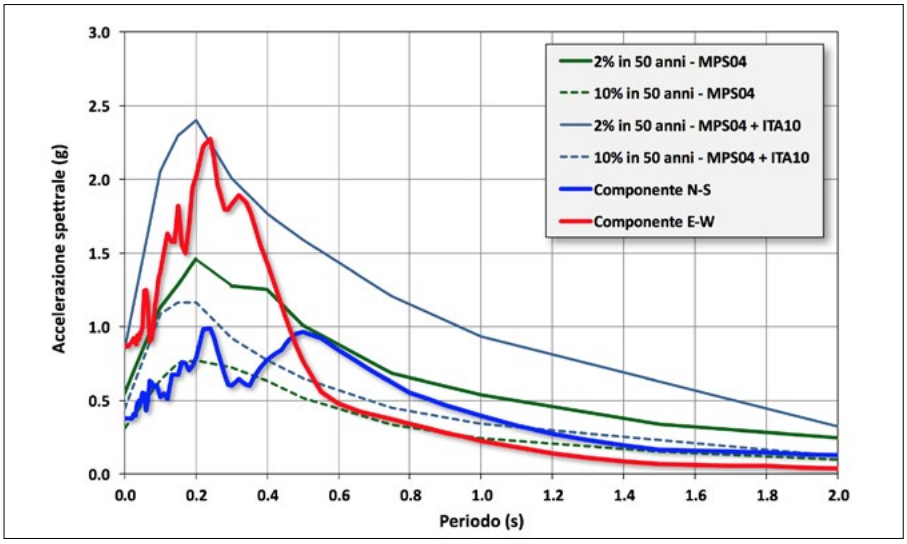


Figura 13 – Confronto tra le componenti orizzontali registrate dalla stazione AMT in occasione dell'evento del 24/08/2016 (Mw 6.0) e gli spettri proposti da MPS04 e dal modello MPS04 con modelli di attenuazione ITA10 (Bindi et al.*, 2011), per il 2% e il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni.*

BOZZA

spettri di progetto, come illustrato da Calvi *et al.* (2014) e da Meletti *et al.* (2014a) con riferimento ai risultati del progetto SHARE e, ovviamente, MPS18.

Per quanto riguarda il presunto antagonismo fra approccio probabilistico e deterministico, che secondo alcuni garantirebbe agli edifici quella "sicurezza" cui la società aspira, va osservato come non esista una definizione accettata di "massimo terremoto credibile", se non ricorrendo all'ironia ("è l'evento che ha una probabilità di verificarsi di appena un infinitesimo inferiore a quella del "minimo terremoto incredibile").

Si tratta in realtà di discutere quale probabilità di collasso si può ritenere accettabile, finita per quanto bassa, e sulla base di questo "patto sociale" definire i parametri di protezione da applicare a ciascuno dei lati dell'equazione capacità > domanda.

I confronti svolti tra il modello MPS04 e stime "deterministiche" dell'azione (Peresan *et al.*, 2010) rivelano come queste ultime siano confrontabili con quelle associate ad una stima probabilistica valutata per il periodo di ritorno di 2500 anni (Zuccolo *et al.*, 2010). Benissimo, si adotti questa azione, ma si definiscano anche i valori di riduzione della capacità media stimata.

In fondo un'operazione di questo genere non è concettualmente molto diversa dal passaggio da tensioni ammissibili ed azioni convenzionali con accelerazione al 12% della gravità a stime più ragionevoli di entrambi i lati dell'equazione.

Si tratta in fondo di scegliere quale punto della probabilità di verificarsi dell'azione si vuole adottare e quale probabilità di collasso si accetta di associarvi. Alzare la soglia comporta ovviamente costi maggiori, fino ad arrivare a soglie insostenibili.

E non può non sorprendere, a questo proposito, la posizione assunta da "Casa Italia" che, nel primo documento rilasciato (http://www.governo.it/sites/governo.it/files/Casa_Italia_RAPPORTO.pdf), oltre a proporre una discutibile e riduttiva lettura del modello di pericolosità sismica MPS04 e della sua applicazione, sostiene con forza che gli edifici dovrebbero essere progettati per resistere al massimo terremoto reale (quindi basandosi su uno scenario deterministico), mentre il modello probabilistico sottostimerebbe la pericolosità sismica "perché il catalogo storico dei terremoti è incompleto", rilanciando e facendo propria una analisi sommaria proposta a volte da valutazioni frettolose e di parte.

In un paese dove regnano abusivismo, mancato rispetto delle norme, edifici costruiti prima della entrata in vigore delle norme, edifici modificati senza rispetto delle norme, etc. la dicotomia probabilità – determinismo sembra assumere un sapore fortemente accademico, con riflessi trascurabili sul vero tema sociale: la riduzione del rischio.

BIBLIOGRAFIA E RIFERIMENTI NORMATIVI

Albarello D., Bosi V., Bramerini F., Lucantoni A., Naso G., Peruzza L., Rebez A., Sabetta F., Slejko D. (2000), *Carte di pericolosità sismica del territorio nazionale*, Quaderni di Geofisica 12, Roma, 7 pp., CD-ROM, 4 annexes.

Albarello D., D'Amico V. (2015), *Scoring and Testing Procedures Devoted to Probabilistic Seismic Hazard Assessment.* Surv Geophys. doi:10.1007/s10712-015-9316-4

Amato A., Barnaba P.F., Finetti I., Groppi G., Martinis B., Muzzin A. (1976), *Geodynamic outline and seismicity of Friuli-Venezia Giulia.* Boll. Geofis. Teor. Appl., 19, 217-256.

Bindi D., Pacor F., Luzi L., Puglia R., Massa M., Ameri G., Paolucci R. (2011), *Ground motion prediction equations derived from the Italian strong motion data.* Bull. Earthq. Eng., DOI 10.1007/s10518-011-9313-z.

Calvi G.M., Stucchi M., Bazzurro P. (2014), *Aggiornare norme tecniche e mappe di pericolosità: da che parte si comincia?* Prog. Sismica, 5(1), pp. 5-14.

Camassi R., Stucchi M. (1997), *NT 4.1.1, un catalogo parametrico di terremoti di area italiana al di sopra della soglia di danno.* GNDT Technical Report, Milano, 66 pp. http://emidius.mi.ingv.it/NT/home.html

Crowley H., Stucchi M., Meletti C., Calvi G.M., Pacor F. (2009), *Uno sguardo agli spettri delle NTC08 in relazione al terremoto dell'Aquila.* Prog. Sismica, 1(3), 75-83.

De Marco R., Martini M.G., Di Pasquale G., Fralleone A., Pizza A.G. (2000), *La classificazione e la normativa sismica dal 1909 al 1984.* Rapporto interno del Servizio Sismico Nazionale.

Gruppo di Lavoro (1980), *Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale.* CNR – Progetto Finalizzato Geodinamica, Pubbl. 361, ESA Editrice, Roma, 83 pp..

Gruppo di Lavoro (1999), *Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale.* Ingegneria Sismica, 16, 1, 5-14.

Gruppo di Lavoro MPS (2004), *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003.* Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp + 5 allegati.

Guzzoni D., Pizzigoni G. (2014), *La nuova classificazione sismica della Lombardia.* Structural, 190, paper n.23. DOI: 10.12917/Stru190.23

Iervolino I. (2013), *Probabilities and fallacies: why hazard maps cannot be validated by individual earthquakes.* Earthquake Spectra 29:1125–1136. doi: 10.1193/1.4000152

Iervolino I., Giorgio M., Cito P. (2017), *The effect of spatial dependence on hazard validation.* Geophysical Journal International 209 (3), 1363-1368

Marzocchi, W., T.H. Jordan (2017), *Experimental concepts for testing earthquake forecasting and seismic hazard models.* Submitted to Bull. Seismol. Soc. Am.

Meletti C., Patacca E., Scandone P. (2000), *Construction of a seismotectonic model: the case of Italy.* Pageoph, 157, 11-35

Meletti C., Stucchi M., Boschi E. (2006), *Dalla classificazione sismica del territorio nazionale alle zone sismiche secondo la nuova normativa sismica.* In: Guzzoni D. (a cura di), Norme Tecniche per le costruzioni. Il Sole 24 Ore editore, Milano, 139-160.

Meletti C., Stucchi M. (2009), *Pericolosità sismica, normativa e zone sismiche nell'aquilano.* http://www.mi.ingv.it/docs/Pericolo_aq_090416.pdf

Meletti C., Rovida A., D'Amico V., Stucchi M. (2014a), *Modelli di pericolosità sismica per l'area italiana: "MPS04-S1" e "SHARE".* Prog. Sismica, 5(1), 15-25. Doi: 10.7414/PS.5.1.15-25

Meletti C., Stucchi M., Calvi G.M. (2014b), *La classificazione sismica in Italia, oggi.* Progettazione Sismica, 5(3), 13-23. DOI 10.7414/PS.5.3.13-23 – http://dx.medra.org/10.7414/PS.5.3.13-23

Meletti C., Visini F., D'Amico V., Rovida A. (2016), *Seismic hazard in Central Italy and the 2016 Amatrice earthquake.* Ann. Geophys., 59, Fast Track 5, DOI: 10.4401/AG-7248

NTC08, Norme Tecniche per le Costruzioni (2008), *Norme Tecniche per le Costruzioni,* Decreto Ministeriale 14/01/2008, Gazzetta Ufficiale, N. 29, 4 Febbraio 2008.

Ordinanza PCM 3274 del 20/03/2003. *Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e di normative tecniche,* G.U. n.105 del 08/05/2003.

Ordinanza PCM 3519 del 28/04/2006. *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*, G.U. n.108 del 11/05/2006.

Peresan A., Zuccolo E., Vaccari F., Gorshkov A., Panza G.F. (2010), *Neo-Deterministic Seismic Hazard and Pattern Recognition Techniques: Time-Dependent Scenarios for North-Eastern Italy.* Pure and Applied Geophysics 168, 583–607. doi:10.1007/s00024-010-0166-1

PFG-CNR (1981), *Pericolosità sismica e politica di difesa dai terremoti in Italia* (a cura di V. Petrini. ESA Editrice, Roma, 16 pp.

Romeo R., Pugliese A. (1997), *La pericolosità sismica in Italia. Parte 1: analisi della scuotibilità.* Rapporto tecnico del Servizio Sismico Nazionale. SSN/RT/97/1, Roma.

Slejko D., Peruzza L., Rebez A. (1998), *Seismic hazard maps of Italy.* Ann. Geofis., 41, 183–214.

Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M., Boschi E. (2011), *Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code.* Bull. Seismol. Soc. Am. 101(4), 1885–1911. DOI: 10.1785/0120100130.

Stucchi M., Meletti C., Bazzurro P., Camassi R., Crowley H., Pagani M., Pinho R., Calvi G.M. (2012), *I terremoti del maggio 2012 e la pericolosità sismica dell'area: che cosa è stato sottostimato?* Prog. sismica, 4(3), 63-73.

Stucchi M., Pinho R., Cocco M. (2016), *After the L'Aquila Trial.* Seismol. Res. Lett., 87, 591–596. doi: 10.1785/0220150261

Taramelli T. (1888), *Relazione della R. Sotto Commissione Geodinamica sulla distribuzione delle aree sismiche nell'Italia superiore e media,* Annali dell'Ufficio Centrale Meteorologico e Geodinamico Italiano, serie II, vol.VIII (1886), parte IV, pp.129-154, Roma.

Zuccolo E., Vaccari F., Peresan A., Panza G.F. (2010), *Neo-Deterministic and Probabilistic Seismic Hazard Assessments: a Comparison over the Italian Territory.* Pure and Applied Geophysics, 168, 69-83. doi: 10.1007/s00024-010-0151-8.

IN BOZZA

Evoluzione delle normative sismiche in Italia dal punto di vista geologico

Evolution of seismic regulations in Italy from a geological point of view

Maurizio Lanzini
Geologo libero professionista
Presidente SIGEA Lazio
E-mail: lanzin@aconet.it

Parole chiave (*key words*): normativa sismica italiana (*seismic regulations*), storia (*history*), geologia (*geology*)

Si ripercorre brevemente la storia delle normative sismiche in Italia negli ultimi secoli, con riferimento prevalente all'evoluzione del pensiero scientifico e delle conoscenze geologiche.

SECOLI XVII-XVIII

Prima del XVII secolo non si ha documentazione di normative e/o decreti e/o leggi specifiche relative alla sismicità. Tale condizione è figlia di concezioni metafisiche e religiose di età medioevale dei fenomeni sismici che erano attribuiti ad una dimensione soprannaturale e come punizioni divine ai peccati umani. Si sottolinea che in epoca greco-romana si aveva invece sostanzialmente una concezione naturalistica dei terremoti, che via via si era persa dopo la caduta della cultura greco-romana.

È ovvio che In tale contesto storico- culturale, dopo eventi sismici, si reagiva con riti e cerimonie religiose finalizzate a placare la collera divina e non con editti o decreti del potere costituito.

Nel XVII secolo inizia il passaggio storico-filosofico verso concezioni illuministiche che portano a concepire i terremoti come fenomeni naturali e non più come soprannaturali e di origine divina; ciò si riverbera anche nei vari decreti che i vari stati, prevalentemente monarchici, hanno via via prodotto.

Le prime normative sono relative a terremoti che si sono verificati XVII e XVIII che hanno interessato il sud d'Italia: terremoti della Campania del 30 Luglio 1627 (XI scala MCS) e di Messina e della Calabria del 7 Febbraio 1783 (6,5 scala Richter). In relazione al terremoto dell'Aquila del 1703 non si ha storicamente notizia di appositi decreti da parte dello Stato Pontificio.

In genere queste normative erano successive agli eventi sismici molto forti e con migliaia o decine di migliaia di vittime ed avevano soltanto scopo prescrittivo sulle successive fasi di ricostruzione, senza alcun riferimento a problematiche di prevenzione o di carattere geologico-geomorfologiche per la scelta dei siti per le nuove costruzioni; è implicito pertanto che le case crollate e/o lesionate sono abbandonate o demolite.

Il primo decreto di cui si ha notizia è il Decreto del 1627, emesso dal Regno di Napoli, dopo il gravissimo terremoto che colpì la Campania con circa 4.500 vittime; in tale decreto sono, per la prima volta, date alcune empiriche indicazioni su metodi costruttivi antisismici, costituiti dal cosiddetto "*sistema baraccato alla beneventana*" che era realizzato con una armatura di pali infissi in un basamento di muratura e con pareti realizzate con materiali leggeri (canne, legname), cementate con malta ed intonacate.

Oppure si cita la Legge del Marzo 1784 emanata da Ferdinando IV di Borbone, "*Istruzioni per la ricostruzione di Reggio*", in cui, a seguito delle conseguenze del terremoto del Febbraio 1783 di Messina e della Calabria che aveva provocato circa 50.000 morti, venivano date alcuni elementi dimensionali minime delle strutture: si definiva una altezza dello zoccolo di fondazione (circa 130 cm), si fissava lo spessore delle murature (circa 65 cm), si imponeva l'uso di mattoni o di pietre di piccole dimensioni ("*Abbracciabili dalla mano*").

La struttura di copertura doveva poggiare su cordoli alla sommità della muratura, collegati in modo da formare "…. quasi un *telaro*".

Per comprendere il carattere empirico dei contenuti di tali decreti è necessario considerare il periodo storico-culturale di questi secoli, nei quali ancora non si aveva una chiara conoscenza scientifica dei meccanismi sismici ed erano ancora diffusi concetti mistico-religiosi di età medievale; in sostanza il terremoto era vissuto come punizione divina di fronte al quale l'umanità era inerte e non poteva che subirlo.

Pur tuttavia tali primi decreti fanno emergere come siano state esaminati da vari studiosi gli effetti di terremoti sulle strutture delle case crollate, anche alla luce del fatto che nei secoli XVII-XVIII iniziano a svilupparsi concetti filosofici illuministici ed un approccio scientifico verso i fenomeni naturali.

Come esempio di tale complesso passaggio fra concezioni religiose-metafisiche verso culture scientifico-illuministiche, si cita la straordinaria influenza che ebbe in Europa il grande terremoto di Lisbona del 1 Novembre 1755 (8,7-9,0 scala Richter), che portò alla distruzione di almeno la metà della città, con circa 70.000 morti dal Portogallo al nord-africa anche per estesi fenomeni di *tsumani,* e che fu risentito in tutta l'Europa (*Fig.* 1).



Figura 1 – Immagine del terremoto di Lisbona(1975)

ANTEPRIMA

L'eco dell'evento fu amplissima in tutta Europa, originando un diffuso dibattito fra pensatori e filosofi dell'epoca in cui si scontrarono concezioni sulla causa divina dei terremoti, come "punizioni" per i peccati degli uomini (alcuni fecero risalire la causa del terremoto alla punizione divina per il massacro degli indios in Sudamerica da parte dei gesuiti portoghesi durante le fasi di colonizzazione), a fronte di analisi già illuministe e concezioni naturalistiche: Voltaire (1694-1778) ad esempio ne fu profondamente colpito, stimolando il dibattito sull'illuminismo e inserendo l'avvenimento nel suo libro *Candido o l'ottimismo (1759).* Sempre Voltaire scrisse un famoso *Poema sul disastro di Lisbona* (1756; *Fig.* 2) con lo scopo di confutare la pretesa di "*vivere nel migliore dei mondi possibili"* e la concezione che nulla accade senza decisione divina, che rappresentava il fulcro della filosofia ottimistica-religiosa di Leibniz (1646-1716).

Si riporta uno stralcio significativo del *Poema sul Disastro di Lisbona*:

.....
Ai lamenti smorzati di voci moribonde,
alla vista pietosa di ceneri fumanti,
direte : è questo l'effetto delle leggi eterne
che a un Dio libero e buono non lasciano la scelta?
Direte, vedendo questi mucchi di vittime:
fu questo il prezzo che Dio fece pagar pei lor peccati?
Quali peccati ? Qual colpa han commesso questi infanti
schiacciati e insanguinati sul materno seno?
La Lisbona che fu conobbe maggior vizi
di Parigi e di Londra, immerse nei piaceri?
.....

In relazione alle cause del terremoto ci furono accese controversie anche fra Voltaire e Rousseau (1712-1778) sul tema dell'"ottimismo" e sul problema del "male sulla Terra", tema che suscitò numerosi dibattiti tra teologi, filosofi e saggisti del XVIII secolo, fino a Kant (1724-1804) e sino al XX secolo con riflessioni sulla diatriba sismico-filosofica settecentesca da parte dei filosofi W. Benjamin (1892-1940) e T. Adorno (1903-1969).

Il passaggio da una concezione soprannaturale ad una di carattere naturalistica si è sviluppata lentamente e con interpretazioni anche contraddittorie; per esempio Immanuel Kant raccolse tutte le informazioni disponibili sul terremoto di Lisbona e sviluppò, in vari scritti, la teoria che la causa dei sismi sia da addebitare alla presenza nel sottosuolo di gigantesche caverne riempite di gas caldi. Questa teoria, evidentemente "fantasiosa" evidenzia comunque un approccio scientifico in quanto non fa più riferimento a cause divine e soprannaturali. Infatti secondo il filosofo Walter Benjamin le interpretazioni di Kant sul terremoto di Lisbona «rappresentano probabilmente l'inizio della geografia scientifica in Germania, e sicuramente quello della sismologia».

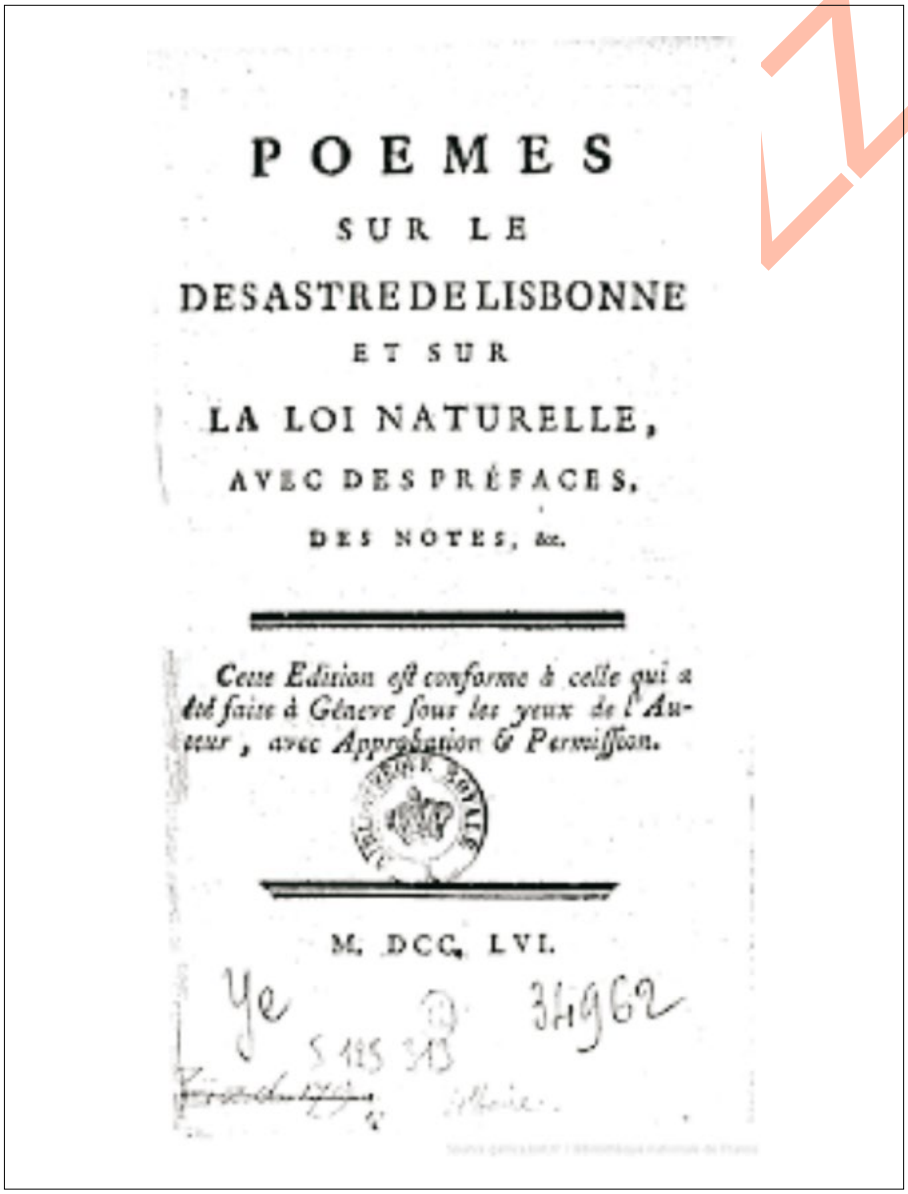

POEMES
SUR LE
DESASTRE DE LISBONNE
ET SUR
LA LOI NATURELLE,
AVEC DES PRÉFACES,
DES NOTES, &c.
Cette Edition eſt conforme à celle qui a été faite à Genève ſous les yeux de l'Auteur, avec Approbation & Permiſſion.
M. DCC. LVI.

Figura 2– Copertina del Poema sul Disastro di Lisbona (Voltaire, 1756)

SECOLO XIX

Le conquiste scientifiche illuministe dei secoli precedenti portano a significativi, se pur parziali, modifiche dei vari decreti, con riferimento specifico a più precise indicazioni sui metodi costruttivi post-terremoto, evidenziando una maggiore diffusione di studi ed osservazioni sulla risposta sismica delle costruzioni in muratura.

Nel contempo in questo secolo si realizzano sostanziali progressi nelle Scienze geologiche: in particolare in questo secolo ha operato Charles Lyell (1797-1875) che nel suo noto *Principi di geologia* (*Principles of Geology*), sviluppò nella sua versione definitiva la teoria dell'"attualismo" e del carattere naturale dei fenomeni tellurici, ponendo le basi della moderna geologia; anche Lyell studiò in modo analitico il terremoto di Lisbona.

Per quanto riguarda l'Italia è da ricordare in questo secolo in Italia l'apporto fondamentale sulla comprensione dei fenomeni sismici di M. S. De Rossi (1834-1898), che come geofisico studiò il terremoto di Casamicciola (28 Luglio 1883) e si distinse nella interpretazione dei meccanismi sismici e nella elaborazione e sviluppo delle scale di misurazione dell'intensità dei terremoti. Nell'ambito di tali studi arrivò alla messa a punto di una scala *Rossi-Forel*, sviluppata insieme allo svizzero François-Alphonse Forel, che è stata usata per circa due decenni fino all'introduzione della scala Mercalli nel 1902. M.S. De Rossi divenne direttore della Commissione Geodinamica, istituita da Quintino Sella e fu anche direttore, fino alla sua morte nel 1898, dell' Osservatorio Geodinamico di Rocca di Papa (ora Museo di Geofisica di Rocca di Papa).

Anche nel XIX secolo comunque i decreti emessi sono relativi soltanto a terremoti molto forti e distruttivi senza indicazioni di carattere preventivo: terremoti della Basilicata

del 16 Dicembre 1857 (6,9 scala Rchter) e di Ischia-Casamicciola del 28 Luglio 1883 (5,8 scala Richter).

Il Governo Pontificio di Pio IX, a seguito degli eventi sismici che colpirono il Napoletano nel 1857 (con 12.000 vittime) e il territorio di Norcia nel 1859, emanò un regolamento edilizio con le seguenti indicazioni costruttive per le case da realizzare nel post-terremoto:

- altezza massima del fabbricato non superiore a 8,5 m
- spessore minimo delle murature perimetrali ed interne di 60-65 cm
- zoccolo di fondazione di altezza non inferiore a 130 cm
- aperture delle porte a distanza opportuna dagli angoli delle murature esterne ed interne
- struttura di copertura poggiante su cordoli continui sulle murature

1900-1915

L'inizio del XX secolo è segnato dal disastroso terremoto di Messina del 28 Dicembre 1908 (7,2 scala Richter), associato a fenomeni di maremoto, che ha provocato più di 100.000 morti (*Fig.* 4).

A seguito di tale evento viene emesso il Regio Decreto n. 193 del 18 Aprile 1909 (G.U. n. 95 del 22 Aprile 1909) "*Norme tecniche ed igieniche obbligatorie per le riparazioni ricostruzioni e nuove costruzioni degli edifici pubblici e privati nei luoghi colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 e da altri precedenti elencati nel R.D. 15 aprile 1909 e ne designa i Comuni.*" A tale Decreto è associata una Circolare n. 2664 del 20 Aprile 1909 con "Istruzioni tecniche" che contemplano le seguenti prescrizioni:

- divieto di strutture spingenti
- esecuzione di collegamenti fra strutture murarie perimetrali portanti
- distanza massima di 5 metri fra le strutture portanti
- esecuzione di murature con "armature in legno, in ferro e con malte cementizie" per edifici con più di un piano
- esecuzione di murature con solo pietra e/o mattoni sono per edifici di un piano

Però, a differenza dei secoli precedenti, oltre le suddette prescrizioni, si fa riferimento, per la prima volta, ad alcuni vincoli progettuali di carattere, pur genericamente, geologico-geomorfologico, quali il "*divieto di costruzione su siti paludosi e franosi*". Si inizia perciò a comprendere, pur in maniera non sistematica, come l'entità dei danni sia conseguenza anche del tipo di substrato geologico.

Inoltre si danno per la prima volta alcune indicazioni tecnico-progettuali come quelle di considerare in maniera empirica e non quantizzata, nel calcolo delle strutture, una forza statica orizzontale e verticale proporzionale ai pesi, per simulare gli effetti delle azioni sismiche. In tale contesto si consigliano costruzioni con sistemi di "*muratura armata*", simili al "*sistema baraccato alla beneventana*" del secolo XVII.

Importante è invece il fatto che per la prima volta, dopo il terremoto di Messina, le normative individuano due zone sismiche limitatamente alle regioni che hanno subito il terremoto (Calabria e Sicilia), con il criterio empirico che le aree sismiche sono quelle che hanno storicamente subito terremoti distruttivi.

Inoltre iniziano qui le prime revisioni peggiorative delle normative pregresse come la modifica (Regio Decreto del 6 settembre 1912) di alcuni precedenti vincoli, come la possibilità di costruire strutture in sola muratura anche in edifici a 2 piani (anziché 1 piano), purché non più alti di 7 metri.



Figura 3 – Fotografia del terremoto di Casamicciola (1883)

A seguito del terremoto di Casamicciola (Isola d'Ischia) del 28 Luglio 1883 (*Fig.* 3), viene emesso il Regio Decreto n. 2600 del 29 Agosto 1884. In tale decreto venivano date le seguenti prescrizioni per le nuove costruzioni:

- limitate le altezze delle nuove costruzioni a 10 m;
- vietate le strutture spingenti;
- limitati gli aggetti dei balconi a 60 cm.

Pertanto anche nel corso del XIX secolo non esistono classificazioni territoriali di livelli di pericolosità sismica, anche su base storica, ma i vari decreti sono finalizzati a dare consigli empirici sulle nuove costruzioni che debbono sostituire quelle distrutte; similmente non sono ancora segnalate condizioni geologiche e geomorfologiche di pericolosità sismica.



Figura 4 – Fotografia del terremoto di Messina (1908)

1915-1950

In questo periodo si sono emessi norme e regolamenti, prevalentemente con riferimento al terremoto di Avezzano del 13 gennaio 1915 (XI scala MCS), sempre con il criterio di produrre decreti successivamente ai sismi; i decreti contemplano comunque importanti e significative novità quali una prima classificazione sismica del territorio italiano, oltre che indicazioni più precise in relazione agli aspetti progettuali sui nuovi fabbricati (*Fig.* 5).

Nel Regio Decreto n.431/1927 inoltre le azioni sismiche vengono differenziate a seconda della Categoria Sismica e dei diversi piani del fabbricato, come segue:

- Prima Categoria: C = 0,125 per il piano terra; C = 0,167 per piani superiori; azioni verticali aumentati del 50% dei pesi
- Seconda Categoria: C = 0,100 per il piano terra; C = 0,125 per piani superiori; azioni verticali aumentati del 33% dei pesi

Nel Regio Decreto n. 682 del 3 Aprile 1930

1950-2017

Nel dopoguerra, pur proseguendo l'uso di produrre decreti e leggi soltanto dopo il verificarsi di terremoti, si introducono via via diverse normative che portano finalmente ad introdurre concetti legati a problematiche geologiche, geomorfologiche e di risposta sismica locale.

In questo periodo si sono verificati i terremoti del Belice (14 gennaio 1968 – Mw = 6,4), del Friuli (6 Maggio 1976 – 6,4 scala



Figura 5 – Fotografia del terremoto di Avezzano (1915)

In particolare per la prima volta nel DL n. 1526/1916 vengono quantificate le forze orizzontali per simulare le azioni sismiche sulle strutture, utilizzando un Coefficiente di Sismicità (C) come frazione dell'accelerazione di gravità.

Nello specifico si sono individuati coefficienti di sismicità diversi per il primo piano (C = 0,125) e per i successivi piani (C = 0,167); inoltre per i moti sussultori si vincola un aumento dei pesi delle murature e dei sovraccarichi del 50%.

Altro aspetto innovativo è che per la prima volta, nel Regio Decreto n. 705/1926 (anche a seguito dei terremoti di Siena e Grosseto del 1920), si individuano 2 categorie sismiche, con indicazioni sulle tipologie edilizie da realizzare nelle due zone:

- Prima Categoria: fabbricati con massimo 2 piani e con altezza massima di 10 m; costruzioni in muratura ordinaria massima altezza di 8 m
- Seconda Categoria: fabbricati con massimo 3 piani e con altezza massima di 12 m; costruzioni in muratura ordinaria massima altezza di 12 m

"Nuove Norme tecniche ed igieniche di edilizia per le località sismiche" viene presentato l'elenco dei Comuni di 1ª e 2ª categoria in Italia e l'emanazione di specifiche direttive tecniche e con l'obbligo per i Comuni di approntare propri regolamenti edilizi.

Un elemento peggiorativo è che nel Regio Decreto n. 2105/1935 vengono ridotti a scapito della sicurezza i valori di legge delle azioni sismiche: C = 0,10 per la Prima Categoria e C = 0,07 per la Seconda categoria; inoltre si sono ridotte le forze verticali di legge dal 50% al 40% per le zone di Prima Categoria e dal 33% al 25% per le zone di Seconda categoria.

Dal 1930 al 1950 viene via via aggiornato l'elenco dei comuni sismici a seguito di vari terremoti (Irpinia, Marche, Maiella, ecc) ed in alcuni casi sono operate declassificazioni su richiesta paradossalmente degli stessi territori colpiti.

Anche in questi decreti comunque non sono date indicazioni circa gli aspetti geologici e geomorfologici che condizionano la sismicità locale.

Richter), dell'Irpinia (23 novembre 1980 – 6,5 scala Richter), Marche-Umbria (Settembre 1997-Marzo 1998 – M = 6,1), dell'Aquila (Dicembre 2008-Marzo 2009 – Mw 6,3) e del Centro Italia (2016-2017 – Mw = 5,5-6,5).

Innanzitutto si cita la Legge n. 1684 del 25 Novembre 1962 che per la prima volta introduce alcuni elementi normativi riguardo ad aspetti geologici-geomorfologici (art. 5), con il divieto di costruzione sul ciglio di dirupi, su terreni eterogenei, detritici e su versanti franosi.

Tali indicazioni sono ancora decisamente generiche e non viene mai usata la parola "geologia" ma si fa riferimento esclusivamente al termine "*terreni*"; l'aspetto più critico, che evidenzia ancora una sottovalutazione delle competenze geologiche, è che "*.. il controllo dei suddetti vincoli viene lasciato al costruttore, con verifica del Genio Civile*".

Inoltre in relazione alle indagini nell'Art. 24 si recita semplicemente che *"…la relazione tecnica, salvo che non si tratti di edifici speciali, deve anche tener conto della natura*

geomorfologica del terreno ed essere accompagnata dai necessari profili stratigrafici".

Gli aspetti contraddittori della Legge n. 1684 del 1962 stanno nel fatto che prevede anche una serie di declassificazioni di sismicità, come nel caso di 39 comuni dell'Irpinia, solo un mese dopo la loro classificazione avvenuta in seguito al terremoto di Ariano Irpino del 21 agosto 1962 (IX grado della scala MCS).

A seguito del terremoto del Belice (14 gennaio 1968), un relativo miglioramento normativo si evidenzia nella Legge n. 64 del 2 febbraio 1974, che abroga quella precedente n. 1684 e delega il Ministero dei Lavori Pubblici ad emanare, con appositi decreti ministeriali, le nuove norme tecniche e ad aggiornare la classificazione sismica, con l'importante collaborazione del CNR; un aspetto importante di questa legge è che viene sancita la possibilità di aggiornare le norme sismiche in relazione alla evoluzione delle conoscenze scientifiche, senza approntare nuove leggi.

Con la legge n.64 del 2 febbraio 1974 si stabilisce il fondamentale principio che la classificazione sismica, che ancora fa riferimento a due categorie sismiche, debba essere realizzata sulla base di comprovate motivazioni tecnico-scientifiche, attraverso decreti del Ministro per i Lavori Pubblici.

Comunque anche nella Legge n. 64 non viene mai citata la parola "geologia" e gli aspetti relativi alla interazione fra opera e terreno ed alla geomorfologia vengono citati con genericità, come mostrano i seguenti esempi:
Art. 4 -*"Le caratteristiche generali e le proprietà fisico-meccaniche dei terreni di fondazione, e cioè dei terreni costituenti il sottosuolo fino alla profondità alla quale le tensioni indotte dal manufatto assumano valori significativi ai fini delle deformazioni e della stabilità dei terreni medesimi, devono essere esaurientemente accertate."*
"Per le costruzioni su pendii gli accertamenti devono essere estesi al di fuori dell'area edificatoria per rilevare tutti i fattori occorrenti per valutare le condizioni di stabilità dei pendii medesimi."
ART.11 - *"I calcoli di stabilità del complesso terreno-opera di fondazione si eseguono con i metodi ed i procedimenti della geotecnica, ….."*.

Intanto nella legge n. 176 del 26 aprile 1976, poco prima del terremoto del Friuli del 6 Maggio 1976, viene istituito il "Servizio Sismico Nazionale".

A seguito del terremoto dell'Irpinia (23 novembre 1980) vengono emessi alcuni decreti ministeriali (7 Marzo 1981 e 3 Giugno 1981) che presentano una nuova classificazione sismica del territorio nazionale basata su studi del CNR (Progetto Finalizzato Geodinamica, 1980-1985) che, per la prima volta, è impostata su analisi di tipo probabilistico (questa classificazione sarà la base del successivo OPCM 3274 del 20 marzo 2003); inoltre viene introdotta per la prima volta una terza categoria a minore sismicità, oltre a quelle già stabilite nel 1974, da cui emerge che il 45% dei comuni italiani risulta classificato.

A questo punto si ha la seguente classificazione con relativi coefficienti di sismicità:

- Prima Categoria: C = 0,10
- Seconda Categoria: C = 0,07
- Terza categoria: C = 0,04

Nel DM del 19 Giugno 1984 viene per la prima volta introdotto il concetto di vulnerabilità, con la differenziazione fra "*opere strategiche*" e "*opere con particolare rischio d'uso*", rispettivamente con coefficienti i = 1,4 e i = 1,2.

Nel DM del 9 gennaio 1996 viene consentito l'uso degli Eurocodoci 2 e 3.

Nel DM del 16 gennaio 1996 vengono stabiliti i seguenti aspetti di carattere progettuale:

- non si fa più riferimento al numero di piani, ma di altezza globale dei fabbricati;
- nelle verifiche sismiche è possibile utilizzare modelli alla stato limite, oltre a quello delle tensioni ammissibili come era usuale nelle precedenti normative.

Nel Decreto Legge n. 112 (31 marzo 1998) viene conferita che la competenza per stabilire le zone sismiche, che fino al 1988 era del Ministero LLPP, passa dallo Stato alle Regioni (legge Bassanini, n. 59/1997); allo Stato rimane la competenza di definire i criteri generali da adottare per la definizione delle zone sismiche e le norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

Il Decreto legge n. 300 del 30 luglio 1999, istituisce l'Agenzia di Protezione Civile, alla quale è assegnata la competenza per la definizione delle zone sismiche e relativi aggiornamenti; tale competenza, nonostante il previsto passaggio alle regioni del DL n. 112 erano rimaste di competenza statale sino a questa data.

La Legge n. 401 del 9 novembre 2001, sopprime l'Agenzia della Protezione Civile e la trasforma in Dipartimento della Protezione Civile, attribuendo a questa la competenza, gestione e definizione delle zone sismiche.

Nell' OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 vengono ufficialmente recepiti i concetti degli Eurocodici (EC8) e, per la prima volta, si rendono obbligatori i modelli di calcolo semiprobabilistici agli stati limite e le analisi dinamiche tramite gli spettri di risposta.

Inoltre si realizza una nuova Classificazione Sismica, attualmente vigente, in cui il territorio nazionale viene definito interamente come sismico, introducendo, oltre alle 3 già stabilite, una 4ª Classe di Sismicità, demandando alle regioni la possibilità di introdurre vincoli di progettazione antisismica (in tale contesto il termine Classe di sismicità" viene sostituito con "Zona sismica").

La nuova classificazione sismica è basata su criteri innovativi di carattere probabilistico e con riferimento alla definizione dello spettro di risposta (*Tab.* 1).

In tale contesto il territorio italiano è stato articolato in una maglia con 10.751 nodi, in corrispondenza dei quali sono stati definiti i parametri che permettono di stabilire, per ogni punto tramite interpolazione, il relativo spettro di risposta.

L'OPCM 3274 è importante in quanto segna il passaggio definitivo tra vecchie norme con carattere prescrittivo verso norme caratterizzate da contenuti prestazionali dei fabbricati.

Tabella 1

Zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (ag/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (ag/g)
1	>0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

Inoltre nell'Ordinanza è prevista la realizzazione di alcuni elaborati sismologici da parte dell'INGV:

- mappa di pericolosità basata sui valori di a-max con probabilità di superamento del 10% in 50 anni
- zonazione sismo genetica ZS 9, a partire da un sostanziale ripensamento della precedente zonazione ZS4, alla luce delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni.

Il 14 gennaio 2008 vengono emesse le "*Norme Tecniche per le Costruzioni* " (testo unico) che sostituisce tutti di DM precedentemente emessi; tali Norme sono entrate in vigore il 1 luglio 2009 a seguito del terremoto dell'Aquila dell'Aprile 2009.

Fra gli aspetti principali di tali norme è che nei confronti delle azioni sismiche gli *stati limite*, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali e quelli non strutturali.

Gli Stati Limite sono definiti in base a criteri probabilistici di superamento (*Tab.* 2).

Tabella 2

Stati limite	Probabilità di superamento nel periodo di riferimento
Stati limite di Operatività - SLO	81%
Stato Limite di Danno - SLD	63%
Stati limite di Salvaguardia della Vita - SLV	10%
Stati Limite di Collasso SLC	5%

Nelle Norme NTC-2008 finalmente si tiene conto del fondamentale contesto geologico, con la prescrizione di definire il "*Modello geologico*" attraverso la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica.

Inoltre, dal punto di vista stratigrafico, si sottolinea che per la prima volta si fa riferimento agli "*effetti di sito*" con riferimento a fenomeni di amplificazione stratigrafica locale, attraverso la individuazione di 5 Classi di Sottosuolo, in base al valore Vs30 (velocità media delle onde di taglio nei primi 30 metri di profondità). Si individuano anche due Classi S1 ed S2 caratterizzate da terreni con valori di Vs30 inferiori a 100 m/s e depositi di terreni suscettibili di liquefazione e di argille sensitive, in cui è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche.

Altro elemento fondamentale è la presa d'atto della possibilità di amplificazioni topografiche.

In relazione agli effetti di sito, successivamente si sono sviluppate la normative regionali che predispongono le indagini dei 3 livelli di Microzonazione Sismica (Protezione Civile-Servizio Sismico, Conferenza delle Regioni e Province Autonome, 2008).

Inoltre vengono definite con maggiore precisione le indagini geognostiche da eseguire, le quali debbono essere modulate e programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento, devono riguardare il volume significativo e devono permettere la definizione del Modello Geotecnico.

Nella parametrizzazione geotecnica si fa riferimento ai *valori caratteristici* delle grandezze fisiche e meccaniche, che debbono essere definiti attraverso una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato, tale che la probabilità di superamento del valore stesso non sia superiore al 5% (5° percentile).

Similmente vengono definite le problematiche di stabilità dei pendii naturali attraverso la modellazione geologica e geotecnica del pendio stesso.

In definitiva la normativa vigente (NTC-2008) rappresenta un deciso miglioramento e finalmente viene esplicitamente considerata l'importanza degli aspetti geologici, stratigrafici, geomorfologici e geotecnici in ambito progettuale; pur tuttavia tale normativa va considerata ancora migliorabile e meglio definibile con riferimento ad alcune critiche che si sono nel tempo evidenziate da varie parti (Rigarli, 2008), come per esempio la validità scientifica della valutazione della Classe di Sottosuolo con il valore Vs30 (perché solo fino a 30 m ?).

Inoltre, nell'ambito delle competenze di classificazione sismica passate alle regioni, si rilevano alcune problematiche legate ad alcune diverse classificazioni di comuni fra la normativa nazionale e quella regionale. Come esempio personale si cita un caso della regione Lazio in cui un comune classificato di Zona 2 nella normativa nazionale (2003) è stato declassato dalla normativa regionale (2009) a Zona 3; in tale caso in ambito progettuale si è optato per la situazione più critica accettando la classificazione nazionale e non considerando quella regionale.

Dopo l'emanazione delle NTC-2008, dal 2009 al 2017 si sono verificati altri terremoti in varie parti d'Italia: Sequenza dell'Aquila – aprile-luglio 2009 (M=5,9 scala Richter), Sisma dell'Emilia - maggio-luglio 2012 (M = 5,9 scala Richter), Sequenza di Amatrice – 24 Agosto 2016-gennaio 2017 (Mw = 5,9-6,5 – magnitudo momento), Terremoto di Ischia – Casamicciola – 21 agosto 2017 (M= 3,6 scala Richter).

A seguito di questi terremoti che hanno causato alcune centinaia di vittime e notevoli danni ai fabbricati ed alle infrastrutture, nell'ambito della Legge di Stabilità 2017, approvata il 21 dicembre 2016, si è dato il via ad un piano volontario dei cittadini, con forti incentivi fiscali, di valutazione e prevenzione nazionale del rischio sismico degli edifici, conosciuto come "Sisma Bonus" e che rientra nel piano "Casa Italia" per la prevenzione sismica e la cura del territorio.

Il decreto "Sisma Bonus" (MIT - 28 febbraio 2017) presenta delle Linee Guida nelle quali vengono definiti i criteri per individuare la Classe di Rischio Sismico a cui attribuire i fabbricati, mediante un unico parametro che tenga conto sia della sicurezza sia degli aspetti economici.

In tale contesto sono state individuate otto classi di rischio sismico: A+, A, B, C, D, E, F e G con rischio sismico crescente.

Nel decreto si fa riferimento a verifiche strutturali, come è giusto, ma, come è stato sottolineato da alcuni Ordini Regionali dei Geologi, mancano specifici riferimenti al contesto geologico locale ed alla interazione fra terreno e fondazioni.

CONSIDERAZIONI FINALI

Da quanto precedentemente esposto emerge come i vari decreti sui terremoti che si sono succeduti nel tempo sono stati condizionati dalla evoluzione delle conoscenze scientifiche sui meccanismi e cause dei terremoti stessi, passando da interpretazioni mistico-religiose a interpretazioni naturalistiche; inoltre il grande impatto che avevano i terremoti, soprattutto quelli di maggiore intensità, sulla vita delle persone hanno essi stessi contribuito a tali cambiamenti culturali e scientifici.

Si accenna infine ad un aspetto poco studiato in relazione alle interazioni fra norme sismiche codificate e cultura popolare di tradizionale "convivenza" con i terremoti, con riferimento, per esempio, alle complesse problematiche emerse sulla comunicazione istituzionale del rischio nel corso della sequenza sismica dell'Aquila, da parte della Protezione Civile e della Commissione Grandi Rischi, che hanno portato a contenziosi legali.

Ciò a fatto emergere importanti problematiche di comunicazione e gestione dei rischi sismici, con possibili difformità di interpretazione delle norme e delicati rapporti fra scienza e giurisprudenza (Ciccozzi, 2013; Amato *et al.*, 2015).

BIBLIOGRAFIA

Amato A., Cerase A., Galadini F., (a cura di) (2015), *Terremoti, comunicazione, diritto. Riflessioni sul processo alla Commissione Grandi Rischi*, Franco Angeli Ed. 2015.

Castanetto S., Sebastiano M., Pizzaroni F., (2008), *La gestione dell'emergenza nel terremoto calabro-siculo del 28 Dicembre 1908*, Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento di protezione Civile, 2008.

Ciccozzi A., (2013), *Parola di scienza. Il terremoto dell'Aquila e la Commissione Grandi Rischi. Un'analisi antropologica*, DeriveApprodi Ed., 2013.

CNR, (1985), *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*, CNR, Progetto Finalizzato geodinamica, 1985.

Francois Marie Arouet De Voltaire (1756), *Poema sul disastro di Lisbona o analisi della filosofia del Tutto è bene.*

Protezione Civile – Servizio Simico, *Microzonazione Sismica* - Conferenza delle Regioni e Province Autonome, 2008.

Rigarli P., (2008), *Zone, griglie... o stanze ?, www.castaliaweb.it*

Tagliapietra A. (a cura di) (2004). *Voltaire, Rousseau, Kant. Sulla catastrofe. L'illuminismo e a filosofia del disastro*, Bruno Mondadori Ed., 2004

http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/leg_rischio_sismico.wp

http://www.ingegneriasismicaitaliana.com/it/24/normative/

Il Rovescio

La Microzonazione Sismica: prospettive e applicazioni nella pianificazione e progettazione

Seismic microzonation: perspectives and applications in the urban planning and buildings design

S. Castenetto
G. Naso
Dipartimento della Protezione Civile

Parole chiave (*key words*): pianificazione territoriale (*land use planning*), microzonazione sismica (*seismic microzonation*), amplificazione sismica (*seismic amplification*)

INTRODUZIONE

La Microzonazione Sismica (MS; Gruppo di lavoro MS, 2008), valutando gli effetti di un terremoto a una scala molto vicina a quella dei manufatti, è uno strumento utile per la valutazione del rischio sismico e la sua mitigazione, attraverso lo sviluppo di opportuni piani di governo del territorio, il supporto alla progettazione anti-sismica di opere e la pianificazione d'emergenza.

Nei piani di governo del territorio e in funzione delle diverse scale e dei vari livelli di intervento, gli studi di MS sono condotti sulle aree nelle quali le disposizioni normative prevedono l'uso o la trasformazione a scopo edificatorio, la messa in opera di infrastrutture o il dispiegamento di servizi di protezione civile.

Gli studi di MS, in questo ambito, sono importanti al fine di:

- orientare la scelta delle aree per nuovi insediamenti;
- definire gli interventi ammissibili in una data area;
- programmare le indagini e i livelli di approfondimento per una migliore conoscenza dei potenziali effetti sismici;
- stabilire orientamenti e modalità di dispiegamento delle azioni finalizzate alla mitigazione del rischio sismico nelle aree urbanizzate;
- definire priorità di intervento.

Per favorire la massima diffusione degli studi di MS, sono state definite procedure che, sulla base di dati litostratigrafici (spessore e geometrie delle coperture, profondità e tipo di substrato), geotecnici e geofisici (velocità di propagazione delle onde S nell'intervallo di copertura considerato), acquisiti con indagini di tipo corrente, permettono la caratterizzazione sismica del territorio. In particolare, le elaborazioni sviluppate forniscono due tipologie di risultati attesi:

- le amplificazioni del moto sismico
- i fenomeni di instabilità cosismiche permanenti (faglie attive e capaci, frane sismoindotte e liquefazioni dinamiche)

Le amplificazioni del moto sismico possono essere espresse con un parametro sintetico quale il Fattore di Amplificazione (FA) o lo spettro di risposta elastico calcolato in superficie. I FA sono determinati tramite specifici abachi o mediante metodi avanzati, quali le simulazioni numeriche (Gruppo di lavoro MS, 2008). I valori di FA forniscono indicazioni di tipo 'relativo' nel senso che valutano l'eventuale aggravio indotto dalle condizioni locali al moto sismico di riferimento atteso nelle diverse parti del territorio. Per moto sismico di riferimento quello dedotto dalla Carta di Pericolosità Sismica Nazionale valido per un affioramento di terreno rigido (V_{s30}>800 m/s) con morfologia piana. Nell'ambito degli studi di MS, le Carte dei Fattori di Amplificazione (da qui Carte dei FA) rappresentano, talora, uno degli strumenti utilizzati dalle Regioni e dagli Enti Locali per la pianificazione territoriale.

Un aspetto fondamentale nella mitigazione del rischio sismico è, quindi, la più adeguata conoscenza della pericolosità locale, sia in termini di amplificazione del moto sismico di base, sia di deformazioni permanenti attese.

Negli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS, Gruppo di lavoro MS, 2008) il tema delle instabilità cosismiche permanenti, rappresentate da fagliazione superficiale, fenomeni di liquefazione, instabilità di versante, cedimenti differenziali, è stato trattato ma in modo approssimativo e soprattutto, in quella sede, non si è affrontato il tema delle limitazioni d'uso del territorio da introdurre nelle aree interessate dai fenomeni indotti.

A seguito del terremoto aquilano del 2009 e, successivamente, del terremoto emiliano del 2012, il Dipartimento della Protezione Civile ha costituito un Gruppo di Lavoro formato da esperti di varia estrazione (geologi del terremoto, ingegneri strutturisti e architetti pianificatori) per affrontare il problema in termini generali e definire le linee guida per il trattamento della pericolosità collegata ai fenomeni cosismici ai fini della MS. La sintesi del lavoro svolto è stato articolato in forma di linee guida operative per amministratori e pianificatori del territorio, aventi l'obiettivo di:.

- definire una procedura per raccogliere accurate informazioni sul rischio derivato dalle deformazioni permanenti;
- pianificare processi di mitigazione del rischio derivato dalla presenza di possibili fenomeni cosismici per aree con previsioni di trasformazione e per aree edificate;
- proporre criteri generali e procedure operative, in coordinamento tra lo Stato, le Regioni e gli Enti Locali.

In questo articolo, dopo aver esposto sinteticamente come sono affrontati gli studi di MS in Italia, si propongono alcune modalità di utilizzo delle carte di MS e delle elaborazioni numeriche per il governo del territorio, ma anche in ambito di progettazione e in ambito tecnico amministrativo.

I LIVELLI DI APPROFONDIMENTO, LE ZONE E LE CARTE DEGLI STUDI DI MS

I risultati degli studi di MS sono sintetizzati e rappresentati su carte tematiche del territorio, carte delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) e carte di MS, distinguendo:

- le zone stabili, nelle quali il moto sismico non viene modificato rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida (una roccia lapidea e non pervasa da fratture e fenditure) e pianeggiante;
- le zone stabili con amplificazioni, nelle quali il moto sismico viene modificato, rispetto a quello atteso in condizioni ideali di roccia rigida e pianeggiante, a causa delle caratteristiche geologiche/geofisiche/geotecniche e morfologiche del territorio;
- le zone instabili, in cui si possono attivare (innescati dal sisma) fenomeni di deformazione permanente del territorio come le frane, la liquefazione del terreno, la fagliazione che rompe il piano campagna e i cedimenti differenziali del terreno che creano gradini morfologici.

In funzione dei diversi contesti geologico tecnici e dei diversi obiettivi, quindi, gli studi di MS possono essere condotti a vari livelli di approfondimento, con un impegno di risorse economiche e competenze crescenti, passando da un livello 1 ai livelli 2 e/o 3.

I livelli di approfondimento degli studi di MS sono:

- livello 1: livello propedeutico ai veri e propri studi di MS, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti (inventari) o risul-

IN BOZZA

tato di specifiche campagne di indagine di tipo estensivo e a basso costo di esecuzione per unità di area esplorata, elaborati al fine di suddividere il territorio in zone qualitativamente omogenee rispetto alle fenomenologie sopra descritte (amplificazioni e instabilità cosismiche permanenti); il livello 1 è finalizzato alla costruzione del modello geologico del sottosuolo (in prospettiva sismica) dell'area di studio

- livello 2: utilizzando ulteriori e mirate indagini di campagna e attraverso l'impiego di metodi semplificati (abachi), vengono associati valori di FA alle zone stabili soggette ad amplificazione definite dalle indagini di livello 1; questo livello può essere esperito solo nelle specifiche situazioni previste dagli abachi di volta in volta utilizzati
- livello 3: in tutte le condizioni escluse dal livello 2 (aree instabili o particolarmente complesse dal punto di vista sismo-stratigrafico e comunque non previste nella compilazione degli abachi) e attraverso l'esecuzione di nuove indagini e modellazioni numeriche (mono o bidimensionali), vengono definiti i valori di specifici parametri descrittivi dell'amplificazione dello scuotimento sismico atteso localmente (FA o altro) e dell'instabilità cosismica.

Laddove il livello 1 è obbligatorio in tutte le situazioni, gli altri due livelli sono localmente alternativi in funzione della complessità geologico-tecnica riscontrata dalle indagini di livello 1 nelle diverse parti del territorio.

Quindi, sulla base del livello di approfondimento adottato, per uno studio di MS si potrà avere come prodotto finale le 2 seguenti carte:

- Carta delle Carta delle MOPS, per il livello 1, obbligatoria per tutti gli studi;
- Carta di MS (Carta dei FA, per i livelli 2 e 3 e Spettri di risposta elastici in superficie, solo per il livello 3).

GLI STUDI DI MS IN ITALIA

Dopo il terremoto aquilano del 2009, con l'articolo 11 della legge n. 77 del 24 giugno 2009 per la ricostruzione in Abruzzo, lo Stato ha deciso di investire nella prevenzione del rischio sismico finanziando interventi su tutto il territorio nazionale, grazie ad un fondo istituito nello stato di previsione del Ministero dell'economia e delle finanze. L'utilizzo di tali fondi, 965 milioni di euro ripartiti su 7 annualità, è regolamentato da ordinanze del Presidente del Consiglio dei Ministri e, a partire dall'annualità 2012, dopo l'approvazione della legge 100/12 di riforma della protezione civile, da ordinanze del Capo del Dipartimento della Protezione Civile.

Gli elementi di novità introdotti dal piano nazionale di prevenzione del rischio sismico riguardano, in particolare, gli strumenti di prevenzione individuati. Tra questi, la microzonazione sismica.

Dopo l'emanazione della prima ordinanza di applicazione della legge 77/09, tutte le Regioni hanno legiferato per recepire nella pianificazione urbanistica le indagini di microzonazione sismica, vincolando l'approvazione degli strumenti urbanistici alla preventiva realizzazione e valutazione degli studi di MS. Inoltre, tutte le Regioni hanno adottato gli standard per le indagini di MS (il riferimento sono gli "Indirizzi e criteri", predisposti nel 2008 dal Dipartimento della Protezione Civile con le Regioni, ICMS; Gruppo di lavoro MS, 2008) e gli standard di archiviazione informatica definiti da una Commissione tecnica inter-istituzionale appositamente predisposta, garantendo l'omogeneità e la confrontabilità dei risultati sul territorio nazionale (Commissione tecnica MS3907, 2014).

L'attività istruttoria svolta dalla Commissione Tecnica ha consentito di validare ad oggi circa 1100 studi di MS relativi alle prime quattro annualità. Su un campione di 532 di questi studi sono state elaborate alcune statistiche (Commissione tecnica MS 3907, 2015 a,b,c).

Considerando la pericolosità sismica locale, dall'analisi degli studi pervenuti, è emerso che circa 64 kmq su un totale di 1.613 kmq circa ricadono in zone stabili, ossia meno del 4%. Circa 234 kmq ricadono in zona instabile (il 14%) e circa 1300 kmq sono classificati come zone suscettibili di amplificazione, ossia l'81% dell'intero territorio indagato.

L'analisi del numero e delle dimensioni delle zone evidenzia:

- le zone stabili suscettibili di amplificazione sono numericamente le più rappresentate e mediamente le più estese,
- anche le zone instabili sono numericamente significative, ma sono le meno estese (dimensione media inferiore ai 0,04 kmq);
- le zone stabili sono numericamente le meno rappresentate, con estensione media che varia tra 0,01 kmq e 0,18 kmq.

I FENOMENI DI INSTABILITÀ COSISMICHE PERMANENTI

Come detto, il tema delle instabilità cosismiche permanenti, già affrontato negli ICMS (Gruppo di lavoro MS, 2008), è stato oggetto di specifici gruppi di lavoro il cui obiettivo è stato quello di tracciare dei metodi di studio e delle procedure per l'identificazione e lo studio di tali fenomeni. In figura 1 è rappresentato uno schema, applicabile a tutte le possibili instabilità cosismiche (frane sismoindotte, liquefazioni dinamiche, faglie attive e capaci e cedimenti differenziali), che sintetizza le attività, i risultati attesi e il tipo di zona suscettibile di instabilità nell'ambito dei diversi livelli di approfondimento degli studi per la microzonazione sismica.

E' da sottolineare l'importanza di aver reso totalmente omogenea, per le diverse instabilità, l'identificazione, il significato e

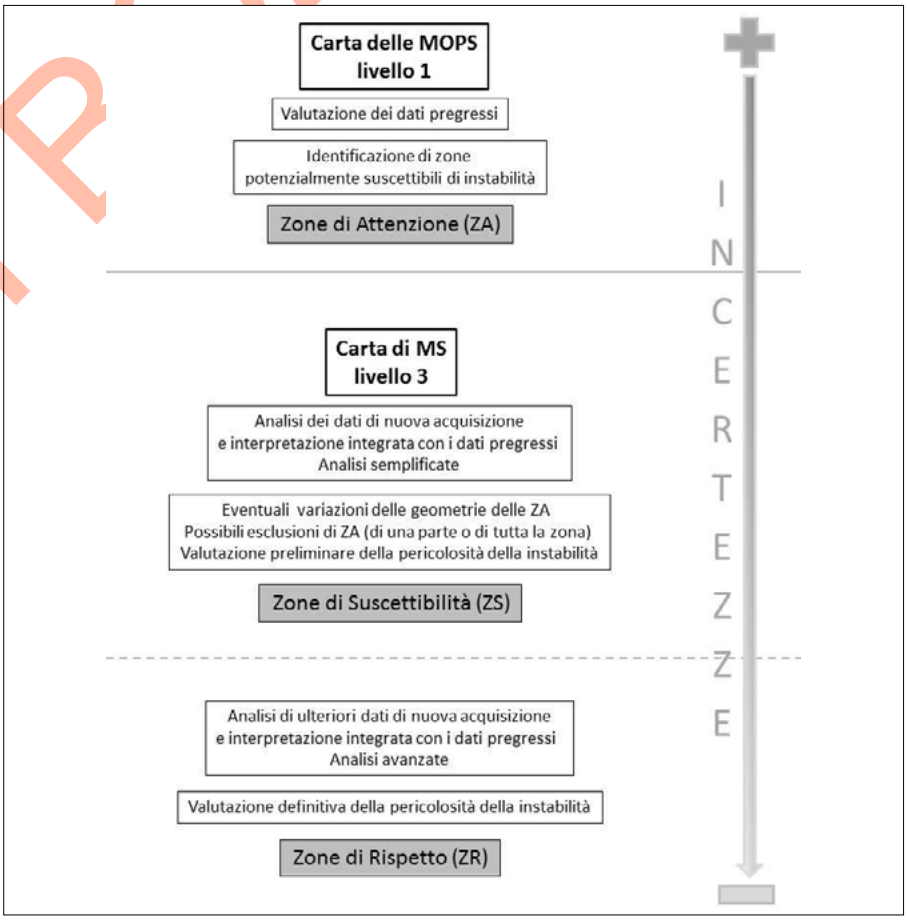


Figura 1 – Schema illustrativo del tipo di zona di instabilità nelle carte MOPS e MS. La raccolta dati e le analisi permettono di ridurre le incertezze dal livello 1 al livello 3

IPOZA

la denominazione delle zone suscettibili di instabilità che, come si evince dallo schema in *Fig.* 1, sono di tre tipi:

- Zone di Attenzione (ZA): sono zone nelle quali i dati a disposizione indicano la presenza di condizioni predisponenti l'instabilità in esame ma non sono sufficienti, in quantità e tipologia, per definire se l'instabilità possa effettivamente verificarsi in caso di evento sismico; è possibile, tuttavia, ad esempio attraverso la consultazione di inventari, stabilire la presenza e/o l'accadimento di eventuali fenomeni in occasione di eventi sismici passati. Resta comunque l'opportunità di produrre, anche in questa fase, dati originali in situ e in laboratorio se le informazioni disponibili non sono sufficienti.
- Zone di Suscettibilità (ZS): sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte semplificati (per permettere un'applicazione dei risultati a un'area estesa), è possibile fornire una stima quantitativa della pericolosità.
- Zone di Rispetto (ZR): sono zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di metodi di analisi il più delle volte avanzati (per analizzare dettagliatamente aree limitate e/o particolarmente importanti), è possibile quantificare in modo affidabile la pericolosità.

La differenza tra Zona di Suscettibilità e Zona di Rispetto, al termine dello studio, è data, oltre che dall'applicazione dei metodi diversi di analisi ("avanzati" in ZR), dal diverso livello di pericolosità (più elevato nella ZR), espresso attraverso uno specifico parametro descrittivo dell'instabilità considerata (faglia attiva e capace, liquefazione, fenomeno franoso).

Lo studio dei fenomeni cosismici si traduce poi in applicazioni concrete al territorio, con riferimento alle categorie urbanistiche.

La pianificazione urbanistica e territoriale è chiamata a disciplinare gli usi del suolo e le previsioni di trasformazione urbana, tenendo conto della relazione tra la pericolosità sismica e i diversi contesti insediativi. A tal fine, si fa riferimento convenzionalmente a tre categorie di aree urbanistiche:

- Aree edificate (recenti o consolidate)

Aree urbanizzate ed edificate di diverso livello di completamento, consolidamento e stratificazione. Comprendono centri storici, tessuti consolidati, aree in completamento con usi residenziali, produttivi, a servizio o misti.

- Aree non edificate (con previsione di trasformazione)

Aree non edificate, parzialmente edificate o con previsione di nuovi insediamenti - residenziali, produttivi, a servizio o misti - di manufatti edilizi, di infrastrutture e reti. Tali aree possono trovarsi sia in adiacenza ad aree edificate, sia in contesti ancora non urbanizzati.

- Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata

Aree non edificabili o con limitate previsioni di edificabilità, per destinazione d'uso (aree agricole).

La disciplina degli usi del suolo e delle previsioni di trasformazione nelle zone interessate da instabilità viene articolata in due tipi di indicazioni:

- indicazioni urbanistiche, che definiscono possibili regolamentazioni dallo strumento urbanistico anche in termini di categorie di intervento e di destinazioni d'uso e modalità attuative;
- indicazioni edilizie, che definiscono per l'edilizia esistente e di nuova costruzione, con riferimento alla normativa tecnica antisismica, quali categorie di intervento sono possibili e su quali classi d'uso.

LE AMPLIFICAZIONI DEL MOTO SISMICO

Come già esposto, i risultati di uno studio di MS possono essere sintetizzati in due modi:

- carta dei FA, nella quale ogni microzona è caratterizzata, rispetto allo scuotimento, da fattori di amplificazione (desunti da abachi, per le microzone analizzate con studi di livello 2, oppure calcolati con confronti tra spettri di risposta in superficie e al substrato sismico, per le microzone analizzate con studi di livello 3); le incertezze sui valori di FA desunti dagli abachi dovrebbero essere superiori a quelli calcolati con gli studi di livello 3;
- spettri di risposta sismica in superficie, solo per le microzone analizzate con studi di livello 3.

Analogamente alle modalità con le quali è stato affrontato il tema della gestione del territorio in aree interessate da fenomeni di instabilità cosismica (faglie attive e capaci, liquefazioni, instabilità di versante), nelle quali la pianificazione urbanistica e territoriale è stata disciplinata facendo riferimento alle categorie urbanistiche (Aree edificate, Aree non edificate con previsione di trasformazione, Aree non urbanizzate a trasformabilità limitata) e alle condizioni di maggiore o minore pericolosità (ZA, zona di attenzione; ZS, zona di suscettibilità; ZR, zona di rispetto), deve essere affrontato il tema della pianificazione urbanistica e territoriale in zone interessate da amplificazione, caratterizzate nella Carta di MS da diversi valori dei FA (Carta dei FA).

I FA sono utilizzati per costruire carte di pericolosità sismica che tengano conto di eventuali amplificazioni dovute alle caratteristiche geologico-tecniche del territorio.

I FA devono permettere di definire un parametro di pericolosità sismica che renda confrontabile la pericolosità sismica in aree diverse.

In particolare tale parametro dovrà:

- contenere il numero delle classi di FA
- permettere di stabilire una graduatoria assoluta di pericolosità sismica
- consentire la classificazione in classi discrete, definite, se possibile, con riferimento a processi fisici osservabili.

Considerando le diverse procedure di utilizzo dei FA previste nelle normative regionali (spettri, intervalli di periodi), affrontare la disciplina d'uso in aree caratterizzate da diversi valori dei FA implica stabilire, a monte, una procedura "standard" per la definizione di un parametro di pericolosità sismica che renda confrontabili tali valori. In tal modo potranno essere fornite indicazioni al pianificatore per l'attività edilizia e tipologia dell'edificato:

- definire priorità di intervento per la mitigazione del rischio sismico, in funzione delle categorie urbanistiche e del livello di pericolosità.
- considerare la pericolosità, alla stessa stregua dell'attuale classificazione sismica, per fornire una graduatoria alla quale il decisore associa determinate procedure tecnico amministrative: esempio procedure di verifica e controllo sui progetti.

APPLICAZIONE DEGLI STUDI DI MS NELL'AMBITO DELLA PROGETTAZIONE

Gli studi di MS di livello 3 forniscono, oltre alle carte dei FA, spettri di risposta elastici in superficie. Se sono disponibili spettri di risposta elastici in superficie è possibile un utilizzo più diretto e specifico degli studi di MS nell'ambito della progettazione.

L'utilizzo degli spettri caratteristici di MS di livello 3 per la progettazione deve essere doverosamente vincolato ad una verifica da parte del tecnico incaricato dell'affidabilità (grado di fiducia riposto nelle indagini ed elaborazioni eseguite), della significatività (valore che le indagini e le elaborazioni eseguite hanno per gli studi in essere) e della rappresentatività (capacità delle indagini e delle elaborazioni eseguite e conseguenti risultati acquisiti di rappresentare al meglio le problematiche alla base dell'amplificazione locale nel sito di progetto).

Tale valutazione sarà effettuata, da parte del tecnico incaricato, sulla base della tipologia degli studi effettuati e dalla distanza dal sito di progetto, nonché dei limiti di affidabilità delle analisi eseguite ed eventualmente di dati pregressi sul sito di progetto, non riportati nello studio di MS di livello 3. Solo se la predetta verifica dovesse dare esito positivo, si potranno utilizzare gli spettri caratteristici della MS di livello 3, effettuando un confronto tra lo spettro di MS e quello semplificato delle NTC08 (2008) nel *range* di periodi propri della struttura oggetto della progettazione, al fine di scegliere (in un'ottica doverosamente con-

ANTEPRIMA

servativa) lo spettro in grado di rappresentare al meglio l'azione sismica di progetto. I dati di base ed i risultati degli studi di MS, anche se non ritenuti adeguati, dovranno comunque orientare il progettista nella pianificazione di nuove indagini e nella valutazione dei risultati delle nuove elaborazioni.

In particolare gli studi di MS dovranno essere utilizzati per la definizione del modello del sottosuolo e del quadro geologico, geotecnico e geofisico areale.

CONCLUSIONI

Nell'ambito degli studi di microzonazione sismica, le Carte dei Fattori di Amplificazione sismica (Carte dei FA) sono uno degli strumenti di pianificazione del territorio. Gli spettri di risposta elastici in superficie, oltre che per il calcolo dei FA, possono essere utilizzati in maniera diretta e specifica per la progettazione e verifica dei manufatti.

Si ritiene che il progettista, sempre salvaguardando la sua indipendenza ed esclusività di giudizio, debba valutare i risultati della MS secondo tre requisiti:

- affidabilità delle indagini, delle elaborazioni e dei risultati;
- significatività delle indagini, delle elaborazioni e dei risultati che hanno valore, rilievo e interesse per gli studi in essere;
- rappresentatività delle indagini, delle elaborazioni e dei risultati che riproducono al meglio le problematiche di amplificazione.

Se gli studi di MS rispettano i tre requisiti, che sono in definitiva tre giudizi di qualità sugli studi, i risultati possono anche essere utilizzati in modo diretto nell'ambito della progettazione e della verifica dei manufatti.

La corretta e completa realizzazione di uno studio di MS di livello 3 permette di acquisire un quadro dettagliato e quantificato dell'amplificazione locale del sito d'indagine. Al contrario della MS dei livelli 1 e 2, l'output delle analisi non consiste solo in un parametro stimatore dell'amplificazione (tipicamente un fattore di amplificazione), ma è dato da accelerogrammi, spettri di Fourier, spettri di risposta elastici, funzioni di amplificazione spettrale, ecc. Pertanto, relegare l'utilizzo di tali studi alla sola fase pianificatoria sembrerebbe riduttivo, mentre al contempo sarebbe auspicabile un utilizzo diretto, impostato comunque su severi criteri di verifica, anche nella successiva fase progettuale. Il livello di approfondimento previsto in fase di MS di livello 3 per quanto attiene alla stima dell'amplificazione locale (che di norma viene determinata mediante analisi di risposta sismica in assetto 2D) porta ad una definizione rigorosa e sicuramente più attinente al contesto sismotettonico dell'area rispetto all'approccio semplificato previsto dalle NTC08 (2008). Tuttavia è necessario sottolineare alcune regole base per un corretto utilizzo degli spettri caratteristici:

- si ritiene opportuno che tale approccio sia consentito per progetti caratterizzati al massimo da classe d'uso II (opere ordinarie). Per opere caratterizzate da classe d'uso superiore (opere strategiche e rilevanti) e ricadenti in aree definite a elevata pericolosità sismica sarà necessario rendere obbligatoria la stima dell'azione sismica di progetto mediante adeguate analisi di risposta sismica locale;
- l'utilizzo degli spettri caratteristici dovrà essere vincolato alla verifica, a cura del professionista incaricato della stima dell'azione sismica di progetto, della conformità del modello di sottosuolo (in termini di affidabilità, significatività e rappresentatività delle analisi effettuate) in corrispondenza del sito di progetto con quello tipico della microzona, anche in riferimento alla quota di riferimento dell'opera in progetto (quota di imposta delle fondazioni);
- l'uso degli spettri caratteristici dovrebbe essere, inoltre, subordinato al rispetto di un indice di qualità, opportunamente definito, che valuti la qualità degli studi di livello 3 in particolare in ragione della densità e qualità delle indagini geotecniche e geofisiche utilizzate per la definizione del modello di sottosuolo.

L'utilizzo degli spettri caratteristici della MS di livello 3 a fini progettuali, fermo restando tutti i vincoli e le verifiche da effettuare preliminarmente, può determinare sicuramente un valore aggiunto alla definizione dell'azione sismica di progetto per opere ordinarie, poiché vengono esaminati aspetti geologici *s.l.* (soprattutto in riferimento alla topografia e alle geometrie sepolte) in grado di contribuire, talora pesantemente, all'azione sismica di progetto.

Tali aspetti non sono valutati nella normale pratica professionale (poiché richiederebbero una dettagliata parametrizzazione dei terreni oggetto di studio e l'utilizzo di metodologie di analisi approfondite) la quale si basa generalmente sulla stima semplificata dell'azione sismica mediante la definizione delle categorie di sottosuolo. Tale stima semplificata, come succede frequentemente dal confronto con le analisi *ad hoc*, non sempre corrisponde all'approccio più conservativo (Cherubini *et al.*, 2006; Baglione *et al.*, 2015; D'Intinosante *et al.*, 2015a, 2015b).

Di contro, non utilizzare le informazioni derivanti da uno studio di MS di livello 3 a fini progettuali comporterebbe stime di amplificazione sismica basate su un modello geologico-tecnico generalmente incompleto con conseguente bassa attendibilità in termini di stima dell'azione sismica.

BIBLIOGRAFIA

Albarello D., Baglione M., Bramerini F., Castenetto S., D'Intinosante V., Moscatelli M., Naso G. (2016), *Proposta di utilizzo della carta dei FA e definizione del parametro H_{MS}*, in "Microzonazione sismica di livello 3: il caso del centro abitato di Fivizzano (MS)". Regione Toscana, Firenze

Baglione M., D'Intinosante V., Fabbroni P. (2015), La conoscenza del rischio sismico attraverso gli studi di microzonazione sismica della regione Toscana: risultati, strumenti e metodologie proposte per la pianificazione territoriale. Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS, Trieste.

Bramerini F. e Di Pasquale G. (2002), *Contributo per la definizione di una proposta di criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche*. Ingegneria sismica, XIX, 3, 7-12. Bologna.

Cherubini C., D'Intinosante V., Ferrini M., Rainone M.L., Signanini P. e Vessia G. (2006), Approccio multidisciplinare per la valutazione della risposta sismica locale nell'ambito del progetto VEL: il caso dei comuni di Fivizzano e Licciana Nardi (Lunigiana). Giornale di Geologia Applicata 4 (2006) 169-174.

Commissione tecnica MS3907 (2014), *Microzonazione sismica. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica*, versione 4. 0, giugno 2015; Roma.
http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/commissione_opcm_3907.wp]

Commissione tecnica MS3907 (2015a), *Commissione Tecnica per la microzonazione sismica, Microzonazione sismica, Statistiche* , dicembre 2014, Roma. [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/commissione_opcm_3907.wp]

Commissione tecnica MS3907 (2015b), *Commissione Tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC).* [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/commissione_opcm_3907.wp]

Commissione tecnica MS3907 (2015c), *Commissione Tecnica per la microzonazione sismica, Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazioni (LQ).* [http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/commissione_opcm_3907.wp]

D'Intinosante V. e GdL Fivizzano (2015a), Analisi di risposta sismica locale del centro abitato di Fivizzano (MS). Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS, Trieste.

D'Intinosante V. e GdL Fivizzano (2015b), La microzonazione sismica nel centro abitato di Fivizzano (MS). Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS, Trieste.

Faenza L., Michelini A. (2010), *Regression analysis of MCS intensity and ground motion parameters in Italy and its application in Shake Map*. Geophys. J. Int. 180, 1138-1152.

Gomez Capera A.A., Albarello D., Gasperini P. (2007), *Aggiornamento relazioni fra l'intensità macrosismica e PGA*. Progetto DPC-INGV S1, Deliverable D11, http://esse1.mi.ingv.it/d11.html

Gruppo di lavoro MS (2008), *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)*, Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma.
[http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/view_pub.wp?contentId=PUB1137]

NTC08 (2008), *Norme Tecniche per le Costruzioni - DM 14 gennaio 2008*. Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4 febbraio 2008, Supplemento Ordinario n. 30, www.cslp.it, Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.

ANTEPRIMA

Le attività del Servizio Geologico d'Italia (ISPRA) a seguito della sequenza sismica del 2016-2017 in Italia Centrale

The activities of the Geological Survey of Italy (ISPRA) following the 2016-2017 seismic sequence in Central Italy

Gruppo di Lavoro SGI su Emergenza Terremoto[1]
E-mail: valerio.comerci@isprambiente.it

1 Il gruppo di lavoro comprende (in ordine alfabetico): Amanti M., Araneo F., Berti D., Blumetti A.M., Bonomo R., Brustia E., Calcaterra S., Campo V., Campobasso C., Capotorti F., Chiarini E., Chiessi V., Comerci V., Congi M.P., D'Ambrogi C., D'Orefice M., Delmonaco G., Delogu D., Dessì B., Di Leginio M., Di Manna P., Eulilli V., Ferri F., Fiorenza D., Fumanti F., Gafà R.M., Galluzzo F., Gambino P., Graciotti R., Guarino P.M., Guarneri E.M., Guerrieri L., La Posta E., Leoni G., Ligato D., Lucarini M., Lugeri F.R., Marasciulo T., Mariani E., Marino M., Martarelli L., Matarazzo D., Monti G.M., Muraro C., Niceforo D.M.A., Olivetta L., Pantaloni M., Papasodaro F., Perini P., Pirani G., Pistocchi L., Policicchio R., Pompili D., Pompili R., Porfidia B., Puzzilli L.M., Quadrozzi C., Ricci V., Roma M., Ruscito V., Silvestri S., Spiniello O., Spizzichino D., Traversa F., Troccoli A., Vita L., Vittori E.

Parole chiave (*key words*): Sequenza sismica (*Seismic sequence*), Italia Centrale (*Central Italy*), Servizio Geologico d'Italia (*Geological Survey of Italy*), Protezione Civile (*Civil Protection*), Rischio residuo (*Residual risk*), Effetti dei terremoti sull'ambiente (*Earthquake environmental effects*), Microzonazione sismica (*Seismic microzonation*)

ABSTRACT

Il Servizio Geologico d'Italia, dipartimento di ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale), sin dal primo evento del 24 agosto 2016 della sequenza sismica del Centro Italia, è stato coinvolto in attività emergenziali post-sisma, in supporto al Dipartimento della Protezione Civile (DPC), per la valutazione del rischio residuo incombente su infrastrutture e centri abitati. Successivamente, in qualità di Centro di Competenza del DPC, il Servizio Geologico d'Italia (SGI) è stato coinvolto in ulteriori attività funzionali a rispondere alle esigenze che progressivamente si manifestavano, come l'individuazione di siti idonei alla realizzazione di Moduli Abitativi Provvisori (MAP), Soluzioni Abitative in Emergenza (SAE) e Moduli ad Uso Scolastico Provvisorio (MUSP). La costante presenza sul territorio ha permesso la raccolta, poi sistematizzata, delle informazioni relative agli effetti dei terremoti sull'ambiente (frane, fratture, variazioni idrologiche, ecc.) nell'intero periodo 2016-2017 e, la mappatura, in collaborazione con INGV e altri Enti di Ricerca e Università, della fagliazione superficiale avvenuta a seguito degli eventi del 24 agosto e del 26 e 31 ottobre 2016. Tramite stazioni GPS continue è stato condotto il monitoraggio geodetico cosismico nell'area della sequenza, ed anche post-sismico, tramite l'installazione di stazioni GPS temporanee. Per alcune frane, come quella di Pescara del Tronto (AP), sono stati condotti studi di dettaglio finalizzati alla relativa messa in sicurezza. Infine, il SGI, in quanto membro del Centro di Microzonazione Sismica (CentroMS), è stato fortemente impegnato nelle relative attività (con decine di unità di personale per molti mesi), sia realizzando lavori di MS nei territori colpiti dalla sequenza e coordinando anche le azioni di altri Enti e Università nella Macroarea denominata Arquata del Tronto - Montegallo (AP), sia coordinando e supportando i Professionisti incaricati degli studi di MS di III livello di 30 Comuni nell'unità territoriale denominata "Marche 3".

INTRODUZIONE

Nel 2016, l'Italia centrale è stata colpita da una sequenza sismica iniziata il 24 agosto con un evento di Magnitudo momento (Mw) 6,0, con epicentro ad Accumoli, in provincia di Rieti, a cui ha fatto seguito, nello stesso giorno un evento di Mw 5,4, con epicentro in territorio di Norcia (PG); altri terremoti di magnitudo superiore a 5 sono avvenuti il 26 ottobre a Castelsantangelo sul Nera e Ussita, in provincia di Macerata, rispettivamente di Mw 5,4 e 5,9 e il 30 ottobre, quando a Norcia (PG) si è verificato l'evento più forte, di Mw 6,5. Gli ipocentri individuati dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV (ISIDe Working Group INGV, 2010) hanno profondità comprese tra 7,5 e 9,2 chilometri, risultando quindi abbastanza superficiali e in grado di indurre forti danneggiamenti. I meccanismi focali sono stati generalmente di tipo distensivo, in accordo con il regime tettonico estensionale a cui è soggetta la parte della catena appenninica sede dei terremoti. La sequenza è proseguita anche nel 2017, in particolare con quattro eventi avvenuti il 18 gennaio con epicentri a Montereale, Capitignano, Pizzoli e Cagnano Amiterno, tutti in provincia dell'Aquila, rispettivamente di Mw 5,1, 5,5, 5,4 e 5,0.

ISPRA è parte del Comitato Operativo del Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e come tale ha partecipato fin dall'inizio al coordinamento delle attività emergenziali post-sismiche.

In particolare, personale del Servizio Geologico d'Italia (SGI) ha contribuito, fin dal 24 agosto, alle attività del Comitato, presso la sede in Roma della Protezione Civile e, a partire dal 28 agosto ha presidiato stabilmente con propri rappresentanti il Comitato Operativo Permanente presso la Direzione Comando e Controllo (Di.Coma.C.) del DPC insediata a Rieti, fino alla sua chiusura del 7 aprile 2017.

Inoltre, come Centro di Competenza del DPC, il SGI ha svolto funzioni di supporto alla Funzione Tecnica del Dipartimento nelle attività sul terreno collegate al sisma, con particolare riguardo a:

- valutazione speditiva della stabilità dei versanti, al fine di supportare le decisioni per la gestione della viabilità (chiusura e/o riapertura della stessa) e suggerire, ove necessario, le opportune opere di mitigazione del rischio;
- valutazione della compatibilità geologico-idraulica di siti destinati a diversi usi, quali alloggi temporanei, casette, container, depositi temporanei di macerie, attività commerciali temporanee, scuole, ecc..

In queste vesti, personale del SGI (geologi, geofisici, ingegneri ambientali e tecnici) è stato presente, fin dai momenti immediatamente successivi al primo evento sismico, nei territori comunali di Amatrice e Accumoli (RI) e in quelli di Arquata del Tronto e Montegallo (AP).

A seguito dei forti eventi sismici di fine ottobre, a più di due mesi dal primo, le zone in cui si è reso necessario un intervento di tipo emergenziale si sono ampliate nelle province di Perugia e Terni, in Umbria, nelle province di Teramo e Macerata nelle Marche e nella Regione Abruzzo, coinvolgendo più di 140 territori comunali; ciò ha richiesto un ulteriore impegno al personale già impiegato nell'emergenza.

Inoltre, la Direzione Generale ISPRA ha deciso di sistematizzare il coinvolgimento (fino a quel momento solo episodico), delle Agenzie Regionali e Provinciali per la Protezione dell'Ambiente (ARPA-APPA) nell'ambito del nascente Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA). È stata pertanto chiesta alle Agenzie regionali la disponibilità

ANTEPRIMA

a fornire personale specializzato per offrire un supporto più completo possibile al DPC.

Si è sviluppata quindi, sotto il coordinamento di ISPRA, una collaborazione articolata tra personale delle ARPA e del SGI finalizzata a svolgere i compiti di volta in volta richiesti dalla Funzione Tecnica del DPC.

Nel periodo emergenziale, protrattosi in alcuni casi anche oltre la chiusura della Di.Coma.C., il SGI ha effettuato più di 420 sopralluoghi su altrettanti siti, di cui una cinquantina in collaborazione con le Agenzie regionali; in particolare 80 hanno riguardato problemi legati alla viabilità, principale e secondaria, con specifica attenzione ai fenomeni di crollo di massi ed alla valutazione del rischio residuo; 49 sono stati finalizzati a valutare l'idoneità di siti destinati all'ubicazione di Tendopoli, nella fase iniziale, o Container ad uso abitativo; 209 hanno riguardato la valutazione della idoneità geo-idrologica di siti destinati a MAP (Moduli Abitativi Provvisori) o SAE (Soluzioni Abitative in Emergenza); 9 sono stati dedicati alla valutazione della idoneità di siti destinati a scuole, mentre gli altri 70 hanno riguardato tematiche che spaziano dall'aumento della portata delle sorgenti del fiume Nera alla compatibilità geo-idrologica di siti destinati allo stoccaggio temporaneo di macerie, dalla viabilità sentieristica di montagna al rilievo di effetti sismoindotti e, in particolare, di effetti di fagliazione superficiale sui versanti del Monte Vettore (Figura 1) e Monte Bove.

A seguito dei sopralluoghi finalizzati alla valutazione geologico-idraulica dei siti, sono stati redatti specifici Report tecnici, utilizzati dalle autorità locali e dal DPC per la scelta definitiva dei siti stessi.

Grazie alla costante presenza sul territorio, è stato possibile raccogliere e catalogare molti dati relativi agli effetti geologici sismoindotti sull'ambiente, in particolare frane, variazioni idrologiche, *sinkhole*, vulcanelli di fango. Una parte importante dell'attività è stata dedicata alla raccolta delle evidenze di fagliazione cosismica (Figura 1), collaborando con INGV, CNR e gli altri enti operativi sul territorio per gli studi sulla tettonica dell'area; in questo ambito sono state anche installate stazioni GPS temporanee di alta precisione per la misura degli spostamenti del terreno ed è continuata l'elaborazione dei dati delle stazioni permanenti già esistenti nell'area e controllate dal SGI.

Su alcuni dei siti colpiti da fenomeni franosi di grande entità il SGI ha realizzato, inoltre, studi di dettaglio, sempre su richiesta della Funzione Tecnica del DPC, per contribuire alla messa in sicurezza definitiva della popolazione e dei beni esposti. Rientra in questa casistica la frana di Pescara del Tronto, frazione di Arquata del Tronto (AP), che ha coinvolto la SS 4 - Salaria, interrompendola ripetutamente a seguito di riattivazioni parziali (crolli). Il personale del SGI impegnato, in varia misura, nelle attività descritte è stato di oltre 70 unità, per un totale di circa 1000 giorni/uomo di missione, oltre al personale che dalla sede centrale ha fornito la documentazione cartografica e bibliografica, allestendo anche un web-gis dedicato.

Le ARPA (Toscana, Liguria, Puglia e Lombardia) direttamente coinvolte, come sopra descritto, hanno messo a disposizione ulteriori 15 unità di personale, per un totale di circa 90 giorni/uomo di missione.

Inoltre, è importante sottolineare che il SGI è membro del Centro di Microzonazione Sismica (CentroMS) e, come tale, ha eseguito rilievi e studi propedeutici alla realizzazione della microzonazione sismica (MS) nei comuni colpiti dal primo terremoto e ha coordinato anche le azioni di 15 diversi Enti e Università nella Macroarea denominata Arquata del Tronto - Montegallo (AP).

Infine, nell'ambito della successiva Convenzione tra Commissario del governo per la ricostruzione e CentroMS, a seguito del Decreto Legge n. 8 del 9 febbraio 2017, che prevede di "dotare i Comuni della cosiddetta Area 1 della MS di terzo livello", il SGI ha coordinato le attività nell'Unità Operativa Territoriale (UOT) di 30 comuni (denominata "Marche 3"), con l'obiettivo di supportare i Professionisti incaricati degli studi di MS.

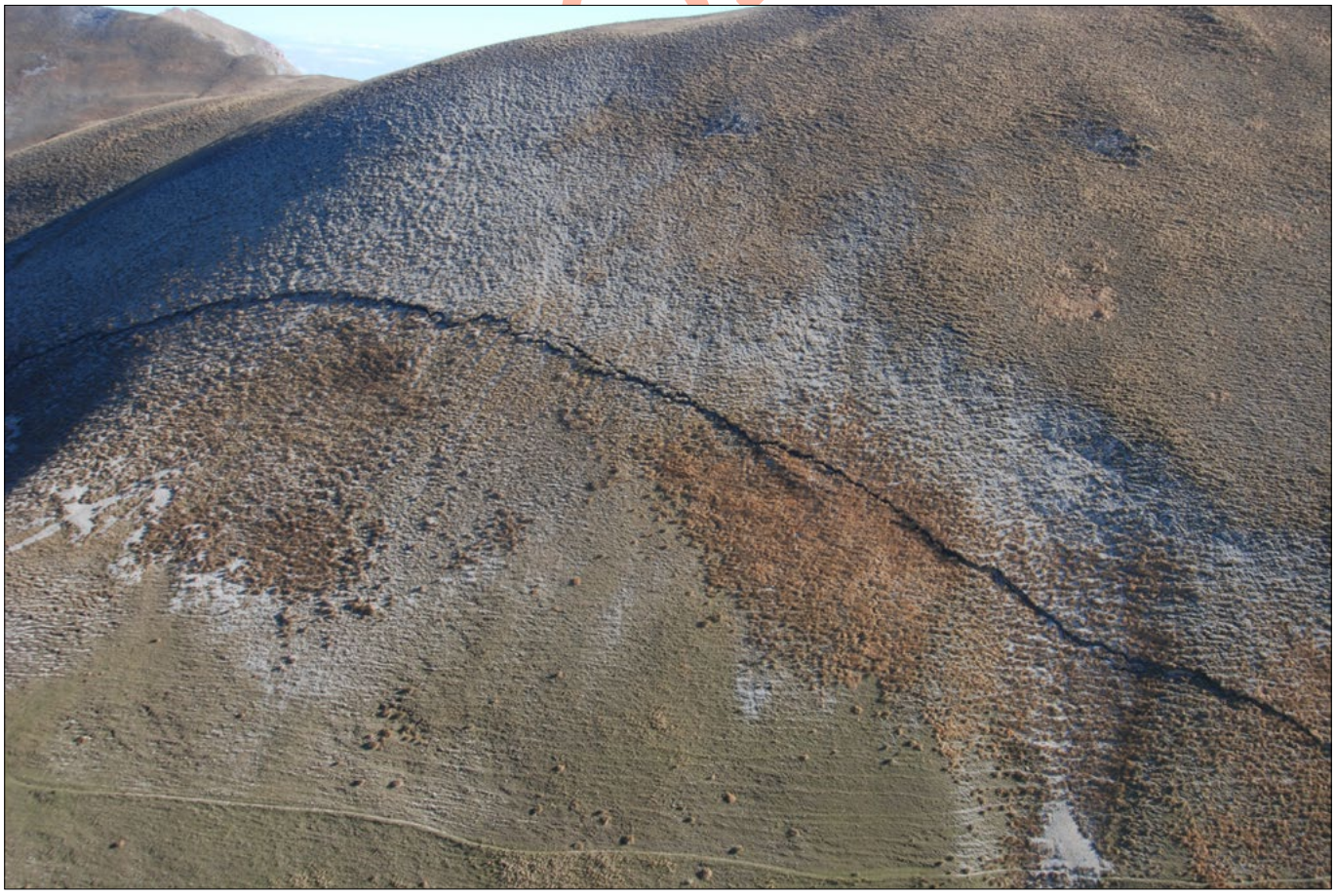


Figura 1 – Porzione del versante occidentale del Monte Vettore con la rottura cosismica generata sulla sua superficie dagli eventi cumulati del 24 agosto e del 30 ottobre 2016. Fonte: Volo DPC, 30 ottobre 2016 - Foto Marco Amanti

1. VALUTAZIONE DELLA IDONEITÀ GEOLOGICO-IDRAULICA DI SITI DESTINATI A MODULI ABITATIVI PROVVISORI (MAP), SOLUZIONI ABITATIVE IN EMERGENZA (SAE) E MODULI AD USO SCOLASTICO PROVVISORIO (MUSP)

A seguito dei pesanti danni procurati al patrimonio abitativo dalla sequenza sismica iniziata il 24 agosto 2016, in molte decine di centri abitati si è ricorso alla realizzazione di SAE, MAP e MUSP. I potenziali siti da destinare a tale uso sono stati indicati dai sindaci tra quelli ricadenti nelle disponibilità dei Comuni e che rispondessero maggiormente ad esigenze logistiche e socio-economiche della popolazione.

Tra questi, è stato necessario individuare, in modalità speditiva, quelli non affetti da pericolosità geologico-idrauliche. Al SGI è stato affidato questo compito tecnico, in qualità di Centro di Competenza della Protezione Civile. Le difficoltà che sono state riscontrate sono essenzialmente dovute alle caratteristiche del territorio, generalmente montano e quindi con poche aree pianeggianti e/o non affette da pericolosità geologico-idrauliche. In aggiunta, il verificarsi di forti eventi sismici a distanza di pochi mesi uno dall'altro, ha considerevolmente complicato il quadro iniziale, comportando un notevole incremento del numero di sopralluoghi da effettuare per la valutazione dei siti, talora in aree limitrofe a quelle già valutate.

L'attività di valutazione dell'idoneità geologico-idraulica è stata effettuata con una tempistica di estrema urgenza, con richieste di sopralluogo da parte di Funzione Tecnica del Dipartimento della Protezione Civile (DPC) e tempi di risposta, tramite emissione di pareri tecnici, dell'ordine di qualche giorno. Dopo la valutazione tecnica effettuata dal SGI, la scelta finale dei siti è stata demandata alle Regioni e ai Comuni.

Preliminarmente alle attività di sopralluogo, è stato condotto per ogni sito uno studio della documentazione esistente (carte geologiche, carte geomorfologiche, cartografie PAI, dati IFFI, sondaggi geognostici, etc.) ricavabile dal geoportale del Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia (http://sgi.isprambiente.it/geoportal), dai siti regionali e delle Autorità di Bacino e da dati bibliografici. Ciò al fine di avere un quadro dell'assetto geologico e geomorfologico generale delle aree da indagare, della pericolosità da frana o alluvione in base al PAI e dei dissesti inventariati nel database IFFI.

La successiva attività di sopralluogo è consistita nel rilievo geologico e geomorfologico speditivo per valutare le caratteristiche del sito, quali la morfologia, la natura dei depositi sui quali installare i moduli, la presenza di pericoli di alluvionamento, la presenza di versanti/scarpate e loro caratteristiche con particolare riguardo ai fenomeni di instabilità. I sopralluoghi hanno, inoltre, consentito di poter effettuare una verifica diretta sul terreno dei dati preesistenti, di segnalare fenomeni gravitativi o idraulici in atto o pregressi non menzionati nelle cartografie e database di riferimento, di segnalare eventuali criticità (anche in relazione alla viabilità, presenza di interferenze, ecc.). Tenendo conto di tutti i dati acquisiti indirettamente e direttamente, è stata poi definita l'idoneità secondo quattro categorie: "*Sito idoneo*", in cui non esiste alcuna forma di prescrizione; "*Sito idoneo* con prescrizione", dove occorre effettuare interventi minimi in un breve periodo di tempo (es. sistemi di regimazione delle acque superficiali, vincoli sulle distanze di sicurezza da impluvi, scarpate o altri elementi morfologici critici), prima di ritenere l'area idonea; "*Sito non idoneo a meno che vengano soddisfatte alcune specifiche condizioni*", in cui sono necessari importanti interventi da svolgere in un periodo di tempo relativamente ampio (es. gradonatura con muri di sostegno, costruzione di argini, opere di contenimento di scarpate, etc.); "*Sito non idoneo*", in cui non è possibile procedere con alcun tipo di installazione.

Per ogni sito è stato prodotto un parere tecnico redatto secondo modalità e standard concordati tra Funzione Tecnica del DPC e Centri di Competenza.

Di seguito sono descritti brevemente alcuni esempi di sopralluoghi effettuati nel Comune di Pievebovigliana, ora Comune di Valfornace (MC) e nel Comune di Amatrice (RI), rappresentativi dell'attività che è stata generalmente svolta dal SGI su tutto il territorio interessato dalla sequenza sismica del 2016-2017.

Nell'ex Comune di Pievebogliana sono stati effettuati, il 9 dicembre 2016, due sopralluoghi finalizzati alla verifica delle condizioni di sito per l'installazione di un MUSP (sito 1) e per l'installazione dei moduli SAE (sito 2) (Figura 2).

Il sito 1 (Figura 2) ricade in un'area pianeggiante, interessata, a seguito degli eventi sismici, da attività di rimodellamento antropico e delimitata, a nordest, da una scarpata antropica di raccordo alla sovrastante via Aldo Moro/SP99, mentre lungo il lato sudest è delimitata da una scarpata alta 2 metri che degrada fino a piano campagna all'altezza dell'incrocio tra la via Fornace e la via don Luigi Orione. A valle del sito c'è la confluenza del torrente La Valle con il torrente Fornace. In base al rilievo geologico speditivo il sito è posto su depositi alluvionali terrazzati, ricoperti da una coltre alluvionale attuale non direttamente osservabili a seguito del recente rimodellamento antropico.

Per quanto riguarda i pericoli geologici e idrogeologici, nel database IFFI non sono segnalati fenomeni franosi nell'area in esame, mentre in base al PAI della Regione Marche (aggiornamento 2016), il sito ricade all'interno di un'area classificata a rischio esondazione R4, essendo stata interessata nel novembre 2013 da un evento alluvionale, per cui si sono resi necessari interventi di sistemazione idraulica, quali opere di regimazione idraulica a monte del sito (arginature in terra sulle sponde fino all'altezza del ponte di via Fornace), in corso d'opera al momento del sopralluogo, e, come risultato da informazioni ricevute dal Comune, lavori di adeguamento della luce del ponte con la posa di tubi *by-pass* in sinistra idrografica, ancora da realizzare. Il tratto del T. Fornace a valle del ponte presenta una sezione minore ed una quota prossima alle aree esondabili attigue, per cui sembravano persistere condizioni di rischio al momento del sopralluogo.

Il sito è stato considerato "*Non idoneo a meno di soddisfare le seguenti condizioni*": a) completamento dei lavori programmati fino al ponte di Via Fornace; b) valutazione del rischio residuo da parte dell'Autorità di Bacino e dell'Autorità Idraulica competente a seguito del completamento di tali lavori; c) valutazione del rischio idraulico nel tratto a valle del ponte di Via Fornace da parte dell'Autorità di Bacino e dell'Autorità Idraulica competente.

Il sito 2 (campo adiacente Via Frontillo) ricade in un'area a debole pendenza verso nord, bordata a sud da una scarpata che raccorda l'area in esame a Via Frontillo e a nord da una scarpata, alta circa 7-8m, di raccordo all'alveo di un corso d'acqua. La porzione orientale dell'area è caratterizzata verso est da un aumento della pendenza fino a circa 20°. In base al rilievo geologico speditivo il sito è costituito prevalentemente da colluvi limosi con sparsi clasti calcarei subarrotondati da centimetrici a decimetrici al di sopra di depositi alluvionali terrazzati.

Non sono stati riscontrati pericoli geologici e idrogeologici né dal sopralluogo né dalla cartografia di riferimento (PAI Regione Marche e IFFI). Nonostante la vicinanza del corso d'acqua, infatti, non si evidenziano pericoli di alluvionamento data la quota dell'alveo (circa 7-8 m più in basso) e le ridotte dimensioni del bacino idrografico sotteso.

Il sito è stato considerato "*Idoneo con prescrizione*". Prima dell'installazione dei SAE sono state ritenute necessarie opere di regimazione delle acque superficiali sia sulla Via Frontillo, che alla data del sopralluogo non presentava una canaletta di raccolta delle acque in adiacenza all'area di interesse, sia all'interno dell'area in corrispondenza del cambio di pendenza e nella porzione più depressa dove si potrebbero verificare rista-

BOZZA

gni d'acqua. Inoltre, è stato raccomandato di ubicare i SAE nella porzione pianeggiante dell'area e comunque di mantenere opportune distanze sia dalla scarpata a monte, di raccordo a Via Frontillo, sia da quella delimitante il corso d'acqua.

Come da informazioni ricevute dal Comune di Valfornace, viste le problematiche riscontrate, il sito 1 è stato scartato ed il modulo MUSP è stato ubicato in prossimità del sito 2, ritenuto idoneo, dove è attualmente in corso di realizzazione l'istallazione dei SAE (Figura 2).

Nel Comune di Amatrice, a seguito della richiesta di Funzione Tecnica del DPC pervenuta al SGI il 22/09/16, sono stati effettuati, il giorno 23/09/16, ben 14 sopralluoghi finalizzati alla verifica delle condizioni geo-idrologiche di siti da valutare per l'installazione di moduli MAP. I relativi pareri tecnici sono stati elaborati e consegnati in parte il giorno stesso ed in parte il giorno successivo. Si riportano due esempi, uno della frazione di S. Lorenzo e Flaviano e uno della frazione di Rocchetta, in cui a seguito del giudizio di idoneità sono stati successivamente realizzati i moduli abitativi (Figure 3 e 4).

Il sito per insediamento MAP della frazione di S. Lorenzo a Flaviano (Figura 3) ha una superficie di circa 4.150 m^2, si tratta di un'area pianeggiante con debole pendenza verso O-SO. In base al rilievo geologico speditivo l'area in esame è costituita da depositi alluvionali sabbiosi e sabbioso-limosi terrazzati che poggiano su un substrato costituito da depositi terrigeni arenacei e arenaceo-pelitici (formazione della Laga).

Il sito per insediamento MAP nella frazione di Rocchetta (Figura 4) ha una superficie di circa 5.600 m^2; si tratta di un'area subpianeggiante, leggermente digradante verso ovest. A sud prosegue con una vasta piana, mentre a nord, oltre la strada, è presente



Figura 2 – a) Ubicazione dei siti 1 e 2; b) ubicazione del MUSP già realizzato e perimetrazione definitiva delle aree in cui è in corso d'opera l'installazione dei SAE. Google Earth, immagini luglio 2017



Figura 3 – Frazione di San Lorenzo a Flaviano del Comune di Amatrice (RI). a) Sito oggetto di sopralluogo; b) MAP installati. Google Earth, immagini luglio 2017

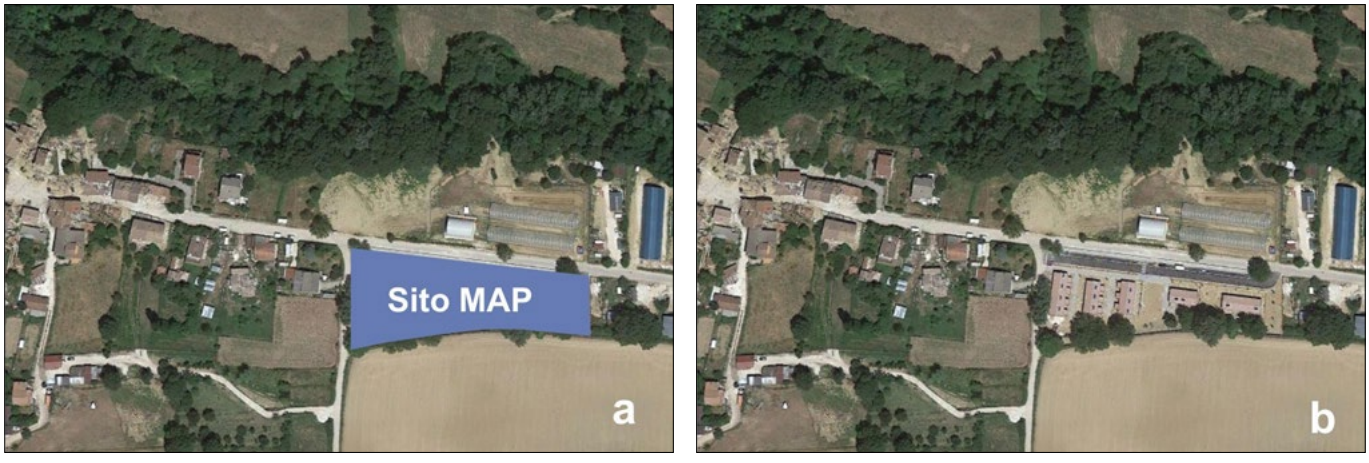


Figura 4 – Frazione di Rocchetta del Comune di Amatrice (RI). a) Sito oggetto di sopralluogo; b) MAP installati. Google Earth, immagini luglio 2017

un'altra area digradante verso l'impluvio posto a circa 80 m di distanza. In base al rilievo geologico speditivo il sito è costituito da depositi alluvionali sabbiosi e sabbioso-limosi terrazzati che poggiano su un substrato costituito da depositi terrigeni arenacei e arenaceo-pelitici (formazione della Laga).

Entrambi i siti non ricadono in aree perimetrate per rischio frana e per rischio alluvione in base al PAI del F. Tronto e nel database IFFI non sono segnalati fenomeni franosi. Anche in base ai sopralluoghi non sono stati evidenziati dissesti gravitativi o idraulici in atto o pregressi.

I due siti sono stati considerati "*Idonei con prescrizioni*" generiche, riferite ai normali livellamenti topografici e alle opere di regimazione delle acque superficiali, al fine di non instaurare condizioni di impaludamento o attivazione di fenomeni di erosione accelerata. I moduli abitativi sono stati installati.

2. RILEVAMENTO DEGLI EFFETTI AMBIENTALI DEI TERREMOTI

I terremoti, oltre a danneggiare direttamente il patrimonio edilizio, culturale ed infrastrutturale, provocano effetti sull'ambiente. Questi possono classificarsi in primari e secondari. I primi consistono in deformazioni permanenti della superficie topografica come la fagliazione superficiale, la subsidenza o il sollevamento di porzioni di territorio. Gli effetti secondari sono invece quelli legati essenzialmente allo scuotimento, come le frane sismoindotte, la liquefazione dei terreni granulari, le fratture. I terremoti generalmente inducono anche variazioni idrologiche nel regime delle sorgenti e possono generare onde anomale (tsunami) sia in mare che in bacini di minore dimensione.

A seguito degli eventi di più alta magnitudo occorsi in Italia Centrale nel 2016, in particolare a seguito di quelli del 24 agosto, 26 e 30 ottobre, si sono verificati numerosi effetti sull'ambiente, sia primari (fagliazione superficiale), sia secondari legati allo scuotimento.

A seguito della prima forte scossa del 24 agosto e delle successive, per tutto il 2016, i ricercatori del SGI hanno eseguito sopralluoghi per verificare gli effetti sismoindotti e fornire supporto al DPC. Un'analoga raccolta di informazioni sulle frane e le fratture sismoindotte è stata eseguita, oltre che da INGV, anche dal Centro di Ricerca sui Rischi Geologici (CERI) dell'Università "Sapienza" di Roma: i risultati della catalogazione sono disponibili sul sito http://www.ceri.uniroma1.it/index.php/web-gis/cedit/.

I dati dei rilievi sia del SGI che del CERI sono stati raccolti in uno specifico sistema informativo geografico. Nella Figura 5 viene riportata l'ubicazione di tutti gli effetti ambientali raccolti, distinti per tipologia. Gli effetti, in larga parte frane, ricadono nelle regioni Lazio, Abruzzo, Umbria e Marche, e sono maggiormente concentrati in un'area di oltre 1.300 km^2 che racchiude gli epicentri dei 5 terremoti di Magnitudo superiore a 5. Vista l'ampiezza dell'areale coinvolto dalla sequenza sismica, i dati rappresentati in Figura 5 pur essendo rappresentativi degli effetti indotti sull'ambiente non possono considerarsi del tutto esaustivi (eventi minori occorsi in aree disabitate o boscose possono essere passati inosservati). Nella stessa figura, nello zoom di sinistra sono rappresentati gli effetti osservati nell'area di Castelsantangelo sul Nera e Frontignano (MC), mentre in quello di destra gli effetti a Pescara del Tronto (AP). La Figura 6 mostra una porzione del versante, sopra cui sorgeva l'abitato di Pescara del Tronto, adiacente alla S.S. 4 Salaria e più volte interessato da fenomeni franosi sismoindotti. Una delle frane di più ampie proporzioni è quella avvenuta lungo la Valnerina e che ha anche deviato il corso del Fiume Nera, provocando l'interruzione della ex S.P. 209 che collega Visso (MC) a Norcia (PG) e Preci (PG) (Figura 7).

In Figura 8 viene rappresentata la distribuzione statistica di tutti i 926 effetti catalogati, di cui oltre l'86% è costituito da frane. Inoltre, c'è da considerare che anche parte delle fratture e dei cedimenti delle sedi stradali è presumibilmente da attribuire a ulteriori movimenti di versante. Dalla Figura 9 si può osservare che la maggior parte delle frane avvenute sono costituite da crolli in roccia (680; 84,9%) e da scorrimenti/scivolamenti in roccia (73; 9,1%); seguono gli scorrimenti/scivolamenti detritici (40; 5%). Sono state inoltre catalogate 7 variazioni idrologiche, tra

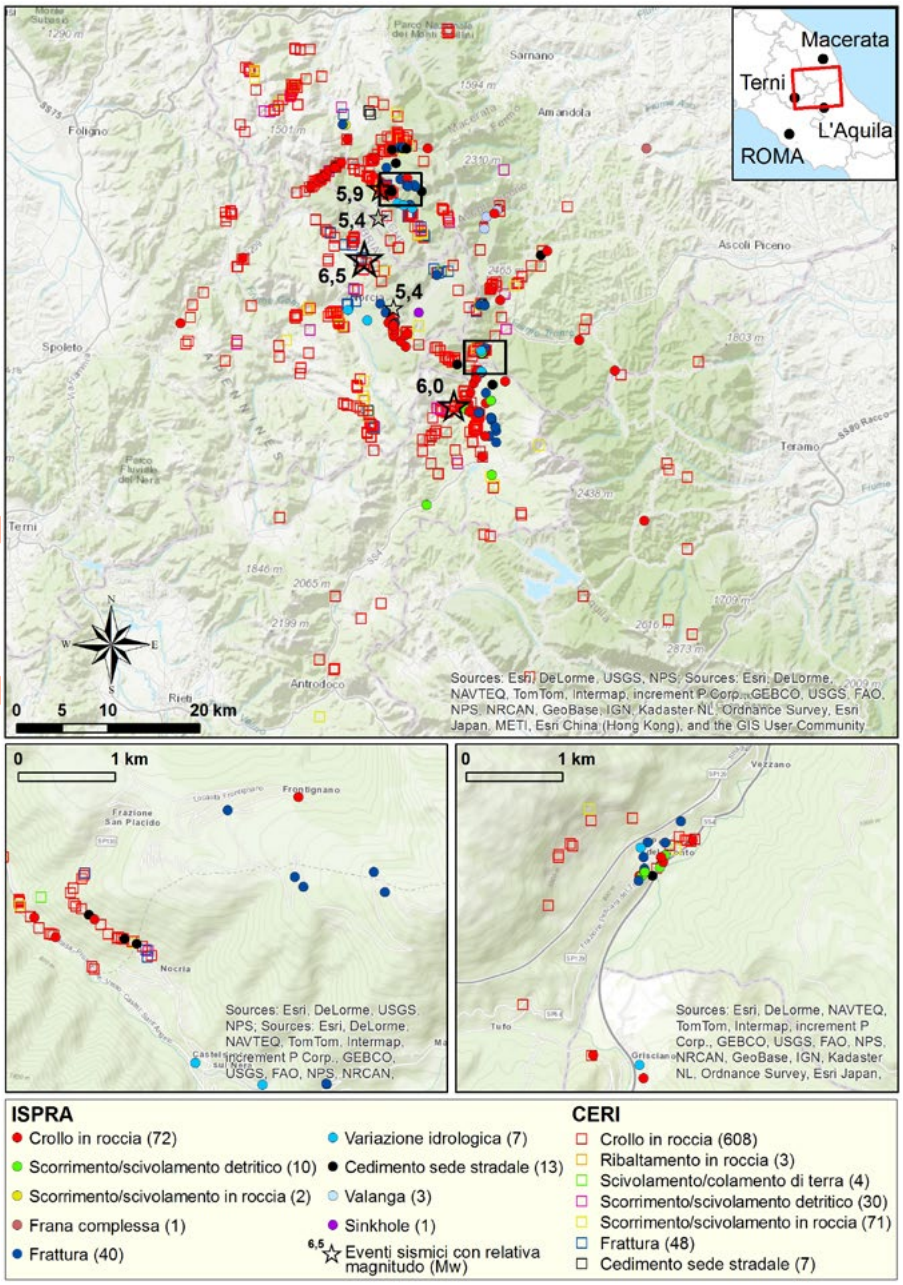


Figura 5 – Distribuzione areale degli effetti ambientali indotti dalla sequenza sismica del Centro Italia nel 2016. Le stelle indicano gli eventi sismici del 2016 di magnitudo superiore a 5. In basso, gli zoom sugli effetti indotti (box di sinistra) a Castelsantangelo sul Nera (MC) e Frontignano (MC) e (box di destra) a Pescara del Tronto (AP). Elaborazione di dati di SGI e CERI (Università Sapienza)



Figura 6 – Fenomeni franosi sismoindotti lungo il versante in sponda destra del Rio Cavone, adiacente alla S.S. 4 Salaria e sopra cui sorgeva l'abitato di Pescara del Tronto (frazione di Arquata del Tronto - AP)

Durante un sopralluogo ISPRA effettuato il 25 novembre 2016 (Martarelli e Gafà, 2016), è stata rilevata, alla quota di 620 m s.l.m., una emergenza diffusa su un'area di circa 0,2-0,3 km^2, con portata di circa 710 l/s (Figura 10). Per ulteriori informazioni si veda Petitta *et al.* (2017).

A seguito dell'evento del 30 ottobre si è verificato anche uno sprofondamento (*sinkhole*) nella Piana di Castelluccio di Norcia (PG), avente diametro di circa 5 m e profondità di circa 6 m (Figura 11).

Sempre a seguito della scossa del 30 ottobre, nella provincia di Fermo (Santa Vittoria in Matenano e Monteleone), si sono attivati 6 vulcanelli di fango (vulcanismo sedimentario), di cui tre di neoformazione. Per altre informazioni: https://ingvterremoti.wordpress.com/2016/11/11/sequenza-sismica-in-italia-centrale-i-vulcanelli-di-fango-in-provincia-di-fermo/; Maestrelli *et al.* (2017).

Infine, gli eventi di magnitudo maggiore della sequenza sismica hanno indotto deformazioni permanenti alla superficie topografica che è stato possibile stimare tramite le tecniche di interferometria satellitare (InSAR). A seguito della scossa del 24 agosto,



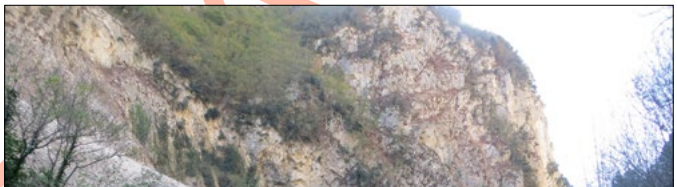


Figura 7 – La frana indotta dal terremoto del 30 ottobre che ha deviato il corso del fiume Nera e che ha interrotto la ex strada provinciale 209 Valnerina, che collega Visso (MC) a Norcia (PG) e Preci (PG). Foto A.M. Blumetti

cui, oltre agli incrementi di portata dell'alto corso del Fiume Nera di vari m^3/s, la più importante è la riattivazione della sorgente del Torrente Torbidone, affluente del Fiume Sordo, nel comune di Norcia (Piana di Santa Scolastica), a seguito della scossa del 30 ottobre; la sorgente aveva smesso di sgorgare dopo l'evento sismico di Norcia (Ms 5,8) del 1979.

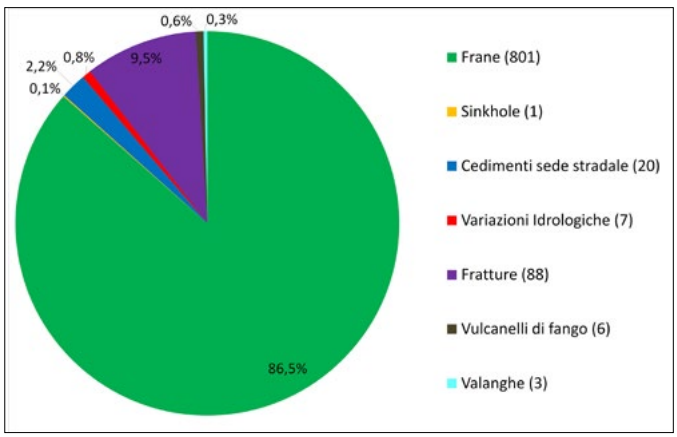


Figura 8 – Distribuzione statistica degli effetti ambientali, indotti dalla sequenza sismica del 2016 in Italia Centrale. Elaborazione di dati di SGI e CERI (Università Sapienza)

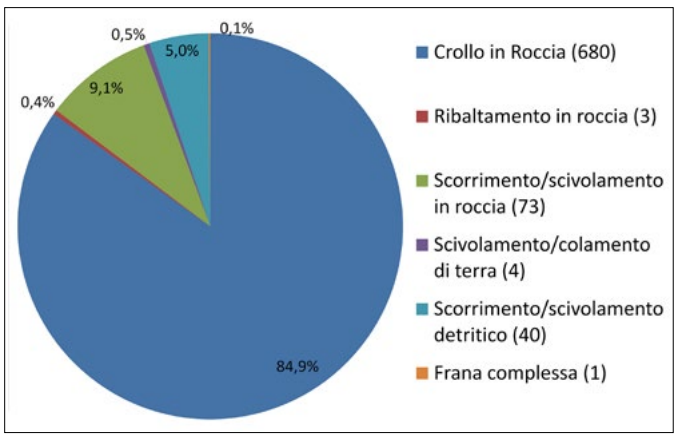


Figura 9: Distribuzione statistica delle tipologie di frane indotte dalla sequenza sismica del 2016. Elaborazione di dati di SGI e CERI (Università Sapienza)



Figura 10 – Riattivazione della sorgente del Torrente Torbidone, affluente del Fiume Sordo, nel Comune di Norcia (Piana di Santa Scolastica; 620 m s.l.m.), a seguito del terremoto del 30 ottobre (da Martarelli e Gafà, 2016).



Figura 11 – Sinkhole *del diametro di circa 5 m e profondo circa 6 m, formatosi a seguito della scossa del 30 ottobre nella Piana di Castelluccio (PG). Foto E. Vittori*

dall'analisi differenziale di immagini ALOS-2 (del 24/08/2016 e del 09/09/2016) è stata individuata una deformazione areale a forma di cucchiaio con un abbassamento fino a circa 20 centimetri nella zona di Accumoli (Gruppo di Lavoro IREA-CNR & INGV, 2016). Tale risultato è confermato anche dall'analisi di dati Sentinel-1 in banda C e Cosmo-Sky-Med in banda X effettuata da CNR-IREA e INGV (http://www.irea.cnr.it/index.php?option=com_k2&view=item&id=755:terremoto-di-amatrice). L'evento del 30 ottobre ha indotto deformazioni su un'area di circa 1.100 km^2 che sono state analizzate da CNR-IREA tramite immagini rilevate dai satelliti Sentinel-1 e Cosmo-Sky-Med. Nell'area di Castelluccio è stata rilevata una subsidenza di almeno 60 cm, mentre nell'area di Norcia un sollevamento di circa 12 cm. Sono stati osservati anche movimenti orizzontali, in particolare di circa 40 cm verso est nell'area di Montegallo (AP) e di circa 30 cm verso ovest nell'area di Norcia (http://www.irea.cnr.it/index.php?option=com_k2&view=item&id=761:nuovi-risultati-sul-terremoto-del-30-ottobre-2016-ottenuti-dai-radar-dei-satelliti-sentinel-1). Dalle immagini fornite dal satellite ALOS-2 è stato ricostruito il complesso quadro deformativo ed è stato stimato uno slip di quasi 3 m ad una profondità di circa 3 km (Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto in centro Italia, 2016).

Ad ogni grado di Intensità dei terremoti corrisponde un definito scenario di effetti ambientali. Questo è stato descritto, in termini di effetti primari e secondari, nella Scala ESI – Environmental Seismic Intensity (Vittori e Comerci, 2004; Guerrieri e Vittori, 2007; Guerrieri, 2015; Serva *et al.*, 2015). Gli effetti ambientali cominciano ad essere chiaramente apprezzabili a partire dal VI grado e si manifestano con sempre maggiore evidenza al crescere dell'intensità. Per i gradi dall'VIII al X gli effetti sull'ambiente naturale sono

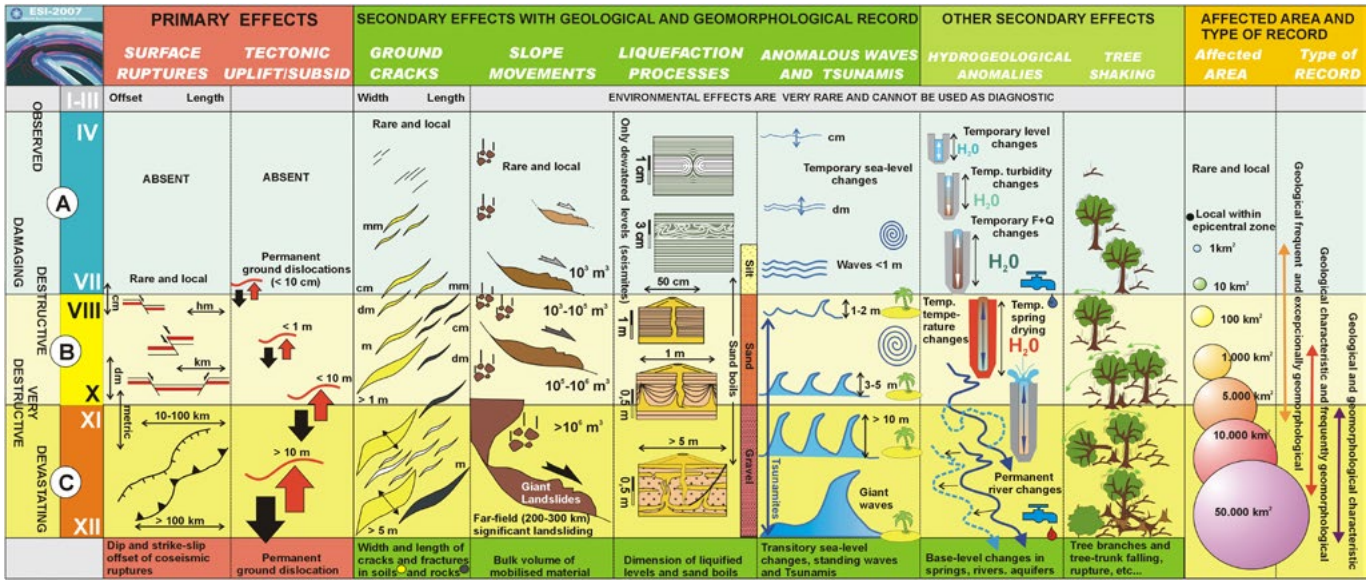


Figura 12 – Rappresentazione grafica dei gradi di Intensità della Scala ESI (Environmental Seismic Intensity). Modificata, da Silva et al. *(2008)*

una componente caratterizzante l'intensità dei terremoti; per i gradi XI e XII essi sono lo strumento più affidabile per la valutazione dell'intensità.

In Figura 12 viene riportata una rappresentazione grafica degli effetti sull'ambiente che possono essere indotti dai terremoti per diversa intensità.

Dal quadro complessivo degli effetti indotti sull'ambiente dalla sequenza sismica del 2016, compresi gli effetti primari come la fagliazione superficiale (descritta nel paragrafo 3.2), si evince che il massimo valore di intensità ESI raggiunto è pari al X grado, analogo a quello raggiunto nella medesima area in occasione di terremoti avvenuti nel passato (es. 1703).

La differenza di un grado tra il massimo valore di Intensità MCS, pari a XI secondo Galli *et al.* (2017), e di Intensità ESI (pari a X), è presumibilmente dovuta sia alla non corrispondenza tra ESI e MCS per i gradi più alti (ESI è tarata sulle scale MSK e MM), sia all'elevata fragilità del vecchio patrimonio abitativo in muratura, particolarmente vulnerabile alla sollecitazione della sequenza sismica (fattore che condiziona la scala MCS ma non la ESI, basata solo sugli effetti sull'ambiente).

2.1 Studio della frana di Pescara del Tronto, frazione di Arquata del Tronto (AP)

Tra le centinaia di frane indotte dalla sequenza sismica, una che ha destato particolari preoccupazioni è stata quella che ha interessato la propaggine terminale della rupe su cui sorgeva l'abitato di Pescara del Tronto, frazione di Arquata del Tronto (AP), posta a ridosso della S.S.4 Salaria (Figura 13). Il coinvolgimento dell'infrastruttura viaria più importante dell'intero comprensorio rischiava di compromettere la viabilità dell'unica arteria utilizzabile, mettendo in crisi l'intero sistema dei soccorsi, rallentando il ripristino delle pur minime condizioni di vita normale, presupposto fondamentale per la ricostruzione del tessuto sociale così duramente lacerato dagli eventi.

Pertanto al fine di constatare le condizioni generali di stabilità ed eventuali condizioni di rischio lungo la S.S.4 Salaria, su richiesta della Funzione Tecnica della Direzione di Comando e Controllo della Protezione Civile (Di.Coma.C), le scarpate prospicienti l'arteria stradale sono state oggetto di numerose indagini e sopralluoghi da parte del SGI, in qualità di Centro di Competenza.

Il SGI, in questa prima fase emergenziale, ha contribuito alla definizione di misure di mitigazione del rischio atte alla riapertura della viabilità, sia pure sotto condizioni di regimazione del traffico, lungo la Salaria.

Nel corso dei successivi approfondimenti richiesti dalla Funzione Tecnica e dalla Struttura Commissariale per la ricostruzione, è stato sistematizzato lo studio del versante in frana attraverso attività di maggiore dettaglio e valutazioni specifiche.

Lo studio è consistito in analisi documentale, fotointerpretazione multiscalare e multi temporale, analisi dei dati topografici, analisi di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica, rilevamento geologico e geomorfologico alla scala di dettaglio 1:2.000 lungo le scarpate e studio dei fenomeni franosi a ridosso della S.S.4 Salaria.

Dai rilievi svolti (maggiori dettagli sono riportati nel paragrafo 4.1) risulta che una parte del centro storico della frazione, per la presenza di numerose e ingenti sorgenti ricche in carbonati, poggia su un *plateau* costituito da travertini. Tale elemento risulta delimitato da scarpate rivolte verso la S.S.4 Salaria e la Valle del Rio Cavone, che costeggia a nord l'abitato: è proprio in corrispondenza di tali versanti che si sono attivati i fenomeni franosi che hanno investito la statale.

Per classificare correttamente gli eventi franosi in studio al fine di pianificare gli idonei interventi di mitigazione è stato costruito il modello geologico e geotecnico della scarpata in frana. La successione della parete sovrastante la Salaria è costituita, partendo dai termini più antichi, da arenarie della formazione della Laga a reggipoggio, ghiaie fluviali eterogenee, travertini sia semicoerenti (limi e sabbie) che litoidi (in facies di cascata), sovrapposti ai precedenti, fratturati e scomposti in diedri di dimensioni metriche, colluvi e infine riporti antropici eterogenei.

Riconosciuti i depositi e ricostruito l'assetto, con l'ausilio di foto satellitari e ortofoto realizzate in tempi diversi, si è passati all'analisi temporale dei fenomeni verificatisi, prestando particolare attenzione a tipologia ed entità di ogni singola deformazione.

Dopo l'evento del 24 agosto la scarpata lungo la Salaria risultava interessata, in due parti ben distinte, da frane di crollo di



Figura 13 – La frana lungo il versante incombente sulla S.S.4 Salaria e i container installati dall'ANAS a protezione della stessa

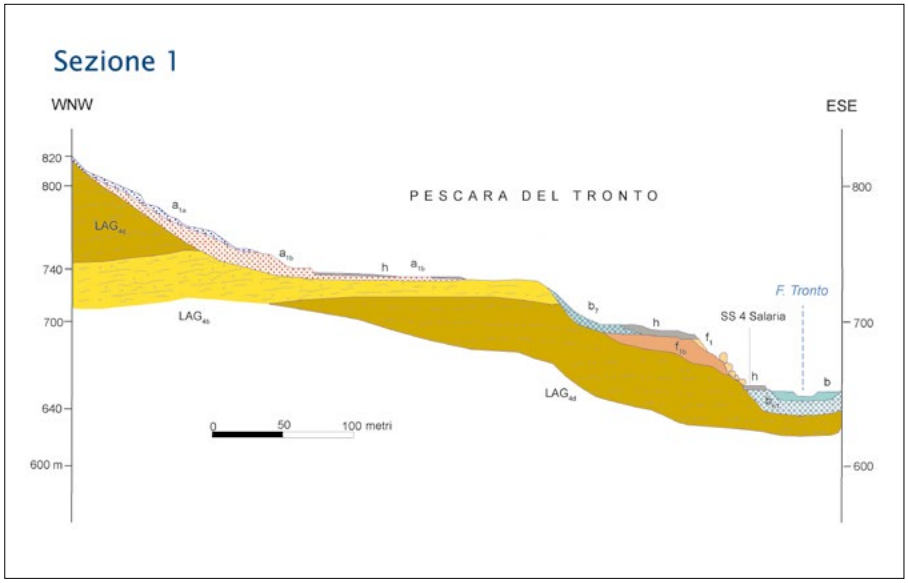


Figura 14 – Sezione geologica dell'area di Pescara del Tronto (AP), da monte dell'abitato al Fiume Tronto (per ubicazione si veda Figura 25). Legenda: h Riporto antropico; a Deposito di versante attuale; b Deposito alluvionale attuale e Olocenico; f_1 Travertino litoide micro e fitoermale in facies di sbarramento e cascata del Pleistocene Superiore-Olocene?; f_{1b} Travertino semicoerente limoso-sabbioso del Pleistocene Superiore-Olocene?; LAG_{4b} Formazione della Laga, arenaceo-pelitica II, del Messiniano Inferiore p.p.; LAG_{4d} Formazione della Laga, arenaceo-pelitica I, del Messiniano Inferiore p.p.

dimensioni ridotte: la prima localizzata nella porzione nord-orientale del pendio, costituita da travertini litoidi, mentre la seconda, ubicata nel settore sud-occidentale, dove affiorano le arenarie della formazione della Laga. I versanti lungo il Rio Cavone, costituiti dai travertini semicoerenti, sono stati, invece, interessati da estesi e diffusi scorrimenti di tipo traslativo. In questo settore, inoltre, la rimozione di detriti e vegetazione ha messo in luce la presenza di due depositi preesistenti originatisi per *debris-flow*. A protezione della Salaria, l'ANAS ha installato, ai piedi della scarpata, una lunga fila di container riempiti con inerti.

Gli eventi sismici del 26 e 30 ottobre 2016 hanno innescato ulteriori fenomeni gravitativi che hanno coinvolto blocchi anche decametrici del travertino litoide, sia sul versante a ridosso della Salaria che lungo il Rio Cavone. Per capire come sia avvenuta la messa in posto dei blocchi di maggiori dimensioni sul versante a ridosso della Salaria, sono state osservate le strutture (drappeggi e festoni isoorientati) caratterizzanti i travertini litoidi, le quali non mostrano variazioni post-evento. Ciò significa che durante il movimento il blocco non è stato soggetto a rotazioni, il che esclude si sia trattato di un crollo e/o ribaltamento. Nello stesso tempo, lungo il Rio Cavone, la componente incoerente del travertino, su cui poggia la frazione più litoide, è stata interessata da diffusi fenomeni di tipo scorrimento traslativo a testimonianza che questa è la tipologia di movimento con la quale questo litotipo incoerente si deforma. Se a ciò aggiungiamo che, lungo il versante a ridosso della Salaria, il rilevamento di dettaglio effettuato al di sotto dei blocchi franati ha messo in evidenza la presenza di abbondante detrito proveniente dalla facies incoerente del travertino, ecco che appare plausibile che le traslazioni impostatesi nella componente incoerente del travertino abbiano "indotto" e "guidato" il moto della maggior parte dei blocchi (sicuramente di quelli di maggiori dimensioni) soprastanti, i quali non sono rotolati ma hanno assecondato la deformazione sottostante "traslando in blocco". Inoltre, se il rotolamento che ha interessato blocchi di piccole dimensioni avesse coinvolto i blocchi di dimensioni maggiori non vi è dubbio che questi avrebbero superato la barriera dei container travolgendola e raggiungendo la strada. E così non è stato in quanto si è trattato di un "distacco" seguito da una "traslazione in toto", come risposta alle deformazioni che hanno interessato la facies incoerente sottostante.

Al fine di verificare la stabilità dell'area è stata eseguita una *back analysis* utilizzando come mezzo di calcolo Optum G2®. Per

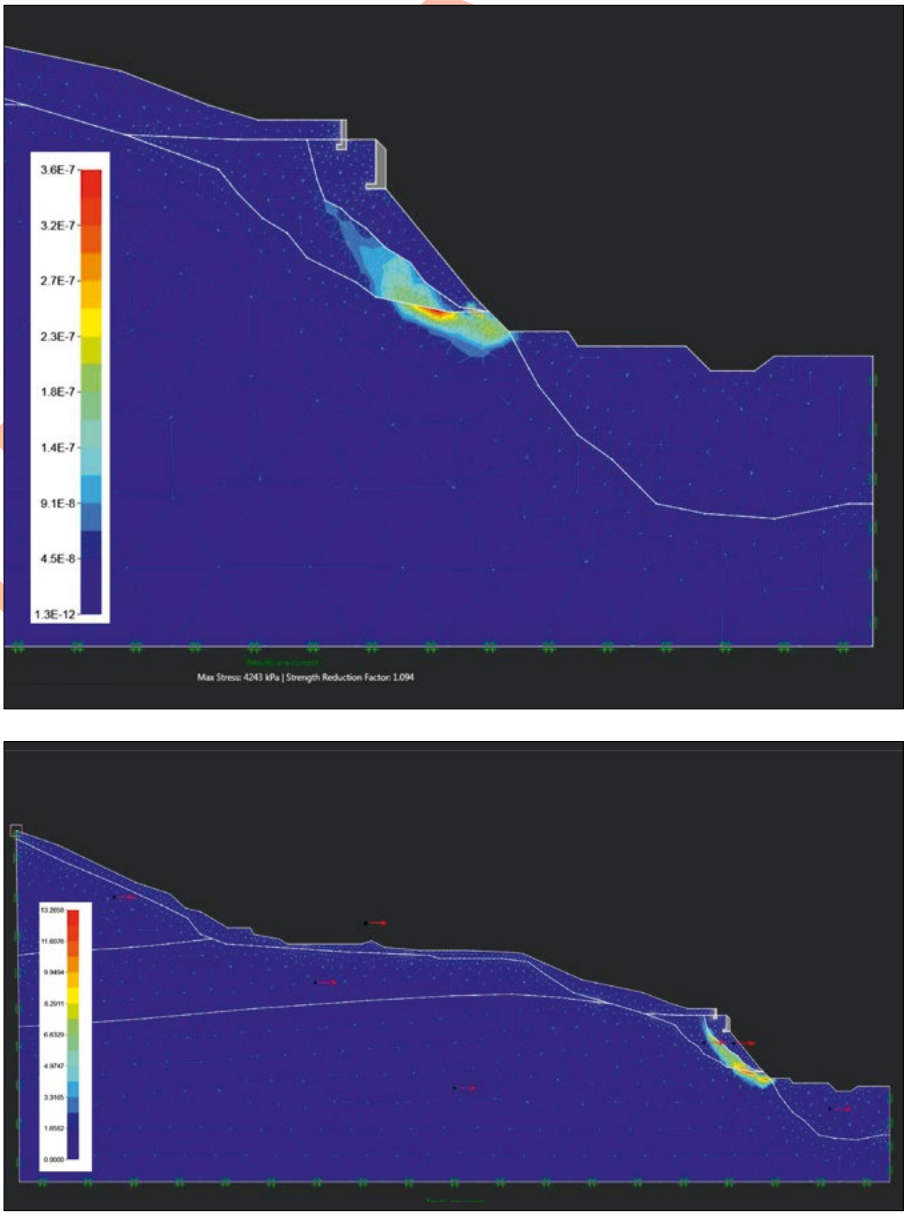


Figura 15 – a) Dettaglio del meccanismo di collasso all'analisi Strengt Reduction. Il valore di FoS è 1.09. Si evidenzia la superficie a massima sollecitazione di taglio; b) Analisi Pseudostatica. Il valore di coefficiente sismico pseudo statico a collasso Kc per la cinematica evidenziata è 0.05

la valutazione delle resistenza del materiale roccioso (di cui, nel calcolo, si è tenuto conto anche dell'assetto) è stato usato il Criterio di Hoek *et al.* (2002) e per i terreni sciolti il criterio Mohr-Coulomb. I parametri geotecnici dei terreni sono stati desunti da prove disponibili effettuate in precedenza nell'area in studio: per la caratterizzazione geotecnica delle rocce si è utilizzato il GSI proposto da Hoek e successivi aggiornamenti di Cai *et al.* (2004) utilizzando i dati ottenuti dai rilevamenti effettuati nell'area di studio integrati da prove di laboratorio. Per la valutazione del fattore di sicurezza, avendo utilizzato un metodo tensio-deformativo, si è fatto uso della "*strenght reduction tecnique*" (Dawson *et al.*, 1999), che prevede di portare il pendio in una situazione di equilibrio limite, mediante la progressiva riduzione della resistenza al taglio del materiale. Il calcolo è stato effettuato lungo la sezione di Figura 14, orientata WNW-ESE, redatta a seguito del rilevamento geologico.

Dall'analisi elastoplastica sono emersi spostamenti nella parte bassa del versante costituita dalla facies incoerente del travertino ed è stato ottenuto un valore del Fattore di Sicurezza pari a 1,09 (Figura 15a). La sezione a massima sollecitazione interessa i travertini poco coerenti.

Dall'analisi pseudostatica, con un coefficiente sismico critico (rapporto risultante tra le accelerazioni verticali e orizzontali) compreso tra 0,05<kc<0,008, è emersa, in condizioni dinamiche, una elevatissima suscettibilità a franare da parte dei travertini incoerenti posti sul fronte della scarpata (Figura 15b).

2.2 Rilievo della fagliazione superficiale cosismica

Durante le tre scosse principali del 2016, è stata osservata la riattivazione fino in superficie del sistema di faglie attive e capaci del M. Vettore - M. Bove (Calamita e Pizzi,1994; Pierantoni *et al.*, 2013) che ha originato l'intera sequenza sismica .

In particolare, in occasione del terremoto di Amatrice del 24 Agosto (Mw 6,0) si è riattivata la porzione sud-orientale del sistema (M. Vettoretto-M. Vettore), con dislocazioni verticali fino a 25 cm, più o meno continue per una lunghezza complessiva di almeno 5 km. La seconda forte scossa del 26 Ottobre, con epicentro vicino Visso (Mw 5,9), è legata alla riattivazione della porzione nord-occidentale dello stesso sistema di faglie, con dislocazioni verticali fino a una decina di cm osservate nella zona di Frontignano.

Infine, in occasione dell'evento sismico del 30 Ottobre (Mw 6,5), con epicentro a Norcia, si è osservata la riattivazione fino in superficie dell'intero sistema di faglie, con dislocazioni cosismiche continue per almeno 28 km con rigetti verticali medi di diverse decine di centimetri, localmente fino a due metri (Figura 16).

La fagliazione superficiale osservata in occasione dei terremoti del 2016 in Centro Italia ha riattivato un sistema di faglie capaci già conosciuto e descritto nel database ITHACA (ITaly HAzard from CApable faults), il catalogo delle faglie capaci che interessano il territorio italiano, gestito da ISPRA e consultabile tramite un visualizzatore dedicato (http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/). Tale sistema di faglie è noto come sistema M. Vettore – M. Bove, è lungo circa 30 km, ed è costituito da faglie dirette orientate NNO-SSE che ribassano verso Ovest la strutture dei Monti Sibillini (Calamita e Pizzi,1994; Pierantoni *et al.*, 2013). In Figura 17 è rappresentato il *pattern* della fagliazione superficiale 2016 nel contesto delle faglie attive e capaci note in letteratura e presenti nel database ITHACA (relativamente all'area del Centro Italia compresa tra le città di Camerino e L'Aquila).

La fagliazione prodotta dal terremoto del 24 agosto, così come gli altri effetti ambientali cosismici, è stata rilevata in dettaglio da alcuni geologi del SGI ed è stata oggetto di un rapporto tecnico specifico congiunto (AA. VV., 2016) e di una pubblicazione scientifica (Livio *et al.*, 2016).

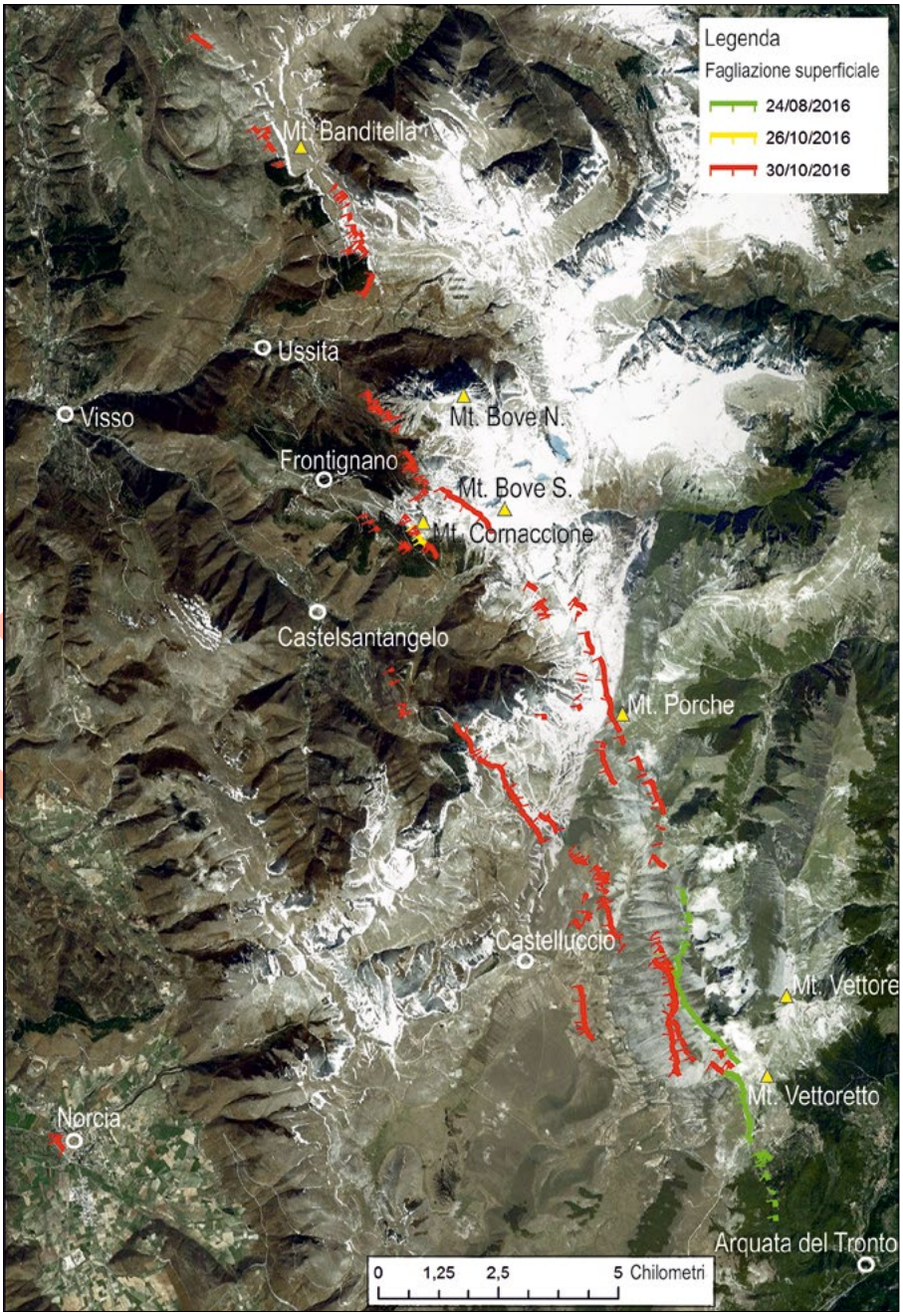


Figura 16 – Mappa di sintesi della fagliazione superficiale associata alla sequenza sismica del 2016 in Centro Italia. In verde sono rappresentate le rotture superficiali associate all'evento del 24 agosto (Mw=6.0), nella porzione sud-orientale del sistema (M. Vettoretto-M. Vettore) con rigetti verticali fino a 25 cm. In giallo sono riportate le rotture superficiali associate all'evento del 26 ottobre (Mw=5.9) nella zona del M. Cornaccione (Frontignano di Ussita). In rosso sono rappresentate tutte le faglie attivatesi in occasione dell'evento del 30 ottobre (Mw=6.5). Tale evento ha riattivato anche tutte le altre faglie interessate da precedenti rotture in superficie (quindi anche i tratti rappresentati in verde e giallo) producendo rigetti molto maggiori che in precedenza.

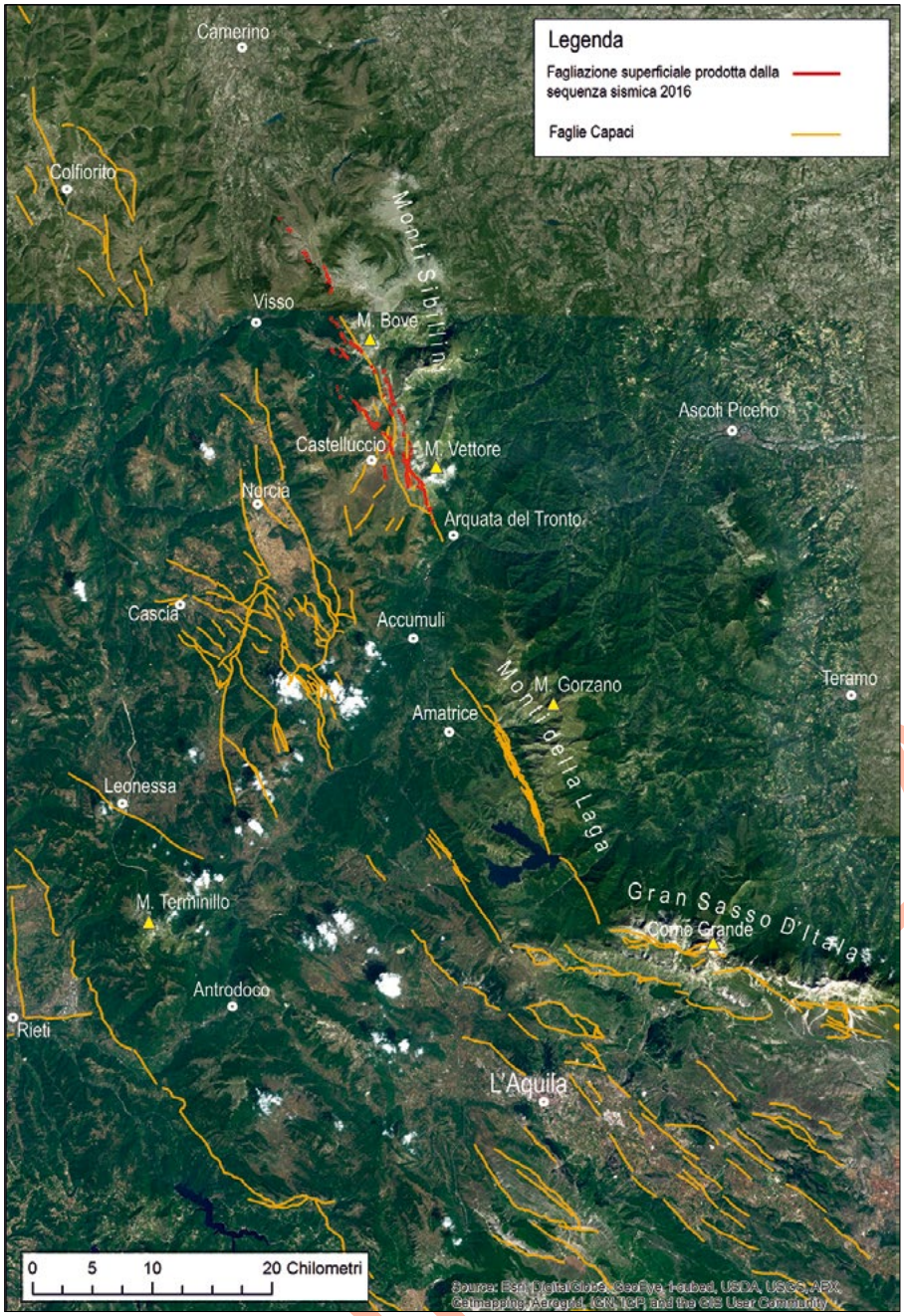


Figura 17 – Pattern *di fagliazione superficiale associato alle tre scosse principali della sequenza sismica del 2016 in Centro Italia (in rosso), nel contesto delle faglie attive e capaci note in letteratura e presenti nel database ITHACA, relativamente all'area compresa tra le città di Camerino e L'Aquila. Si noti come, nelle aree adiacenti l'area colpita dai terremoti del 2016, siano numerose le strutture tettoniche che sono potenzialmente attive e capaci di produrre fagliazione in superficie in occasione di forti terremoti (Mw>6).*

Successivamente alla scossa del 26 ottobre, il relativo *pattern* di fagliazione superficiale è stato immediatamente rilevato e opportunamente documentato nella zona di Frontignano (faglia Monte Cornaccione). Dopo la scossa del 30 Ottobre (Mw 6,5) non è stato più possibile distinguere il rigetto legato alla scossa del 26 da quello, molto maggiore, di quest'ultima. Non si può quindi escludere che alcune faglie non rilevate nel periodo tra il 26 ed il 30 Ottobre (p.es. la faglia di Monte Bove), si siano riattivate in superficie, sia pure con modesti rigetti, anche durante la scossa del 26 Ottobre.

In occasione di quest'ultimo evento si è infatti riattivato fino in superficie l'intero sistema M. Vettore – M. Bove, producendo nuove rotture in superficie (in rosso in Figura 16) e riattivando nuovamente le rotture già documentate in occasione delle due scosse precedenti, andando così ad aumentare notevolmente l'entità complessiva delle dislocazioni che hanno raggiunto un'estensione di circa 28 km, distribuite in una fascia ampia qualche km, in un settore compreso tra Arquata del Tronto e il M. Banditella (poco a Nord di Ussita).

Le rotture superficiali hanno andamento generale circa NNO-SSE, rigetti complessivi prevalentemente verso OSO, che localmente, nella zona del Cordone del Vettore, hanno raggiunto i due metri. Nella zona tra il bacino di Castelluccio di Norcia (PG) e Castelsantangelo sul Nera (MC) è stata osservata anche la riattivazione per alcuni km di una struttura antitetica che ha ribassato il settore ENE fino ad almeno 50 cm.

A seguito del terremoto del 30 ottobre, in considerazione della grande estensione della fagliazione prodotta, molti tra i geologi presenti sul campo si sono uniti in un'unica *Task Force* composta da esperti appartenenti a diversi enti di ricerca ed università, anche straniere, che, sotto il coordinamento dell'INGV e su mandato del Dipartimento della Protezione



Figura 18 – Rottura superficiale multipla lungo il versante sudoccidentale del massiccio del Vettore ("Cordone del M. Vettore"). A sinistra: rottura avvenuta in occasione della scossa del 24 agosto. A destra: riattivazione in superficie dello stesso tratto rappresentato sopra, durante la scossa del 30 ottobre, con dislocazione che ha raggiunto i due metri.



Figura 19 – Specchio di faglia in località Colli di Sopra prima (a sinistra) e dopo (a destra) la scossa del 30 ottobre.



Figura 20 – Riattivazione multipla della faglia di M. Cornaccione (a monte di Frontignano di Ussita), relativa alla scossa del 26 ottobre (circa 5 cm di rigetto; riquadri di sinistra) e 30 ottobre (circa 40 cm di rigetto; riquadri di destra).

Civile, ne ha effettuato il rilievo. Il risultato di tale lavoro coordinato è stato oggetto di due lavori scientifici in corso di pubblicazione su riviste internazionali (Civico *et al.*, 2018; Villani *et al.*, in stampa).

Le Figure 18, 19 e 20 documentano gli effetti verificatisi localmente in diversi siti durante la sequenza sismica. In particolare, la Figura 18 mostra un esempio di rottura superficiale multipla in corrispondenza di una evidente scarpata di faglia in roccia posta lungo il versante sudoccidentale del massiccio del Vettore ("Cordone del M. Vettore"). La rottura in questo tratto è stata continua per diversi km, con dislocazioni verticali fino a 25 cm in occasione della scossa del 24 agosto (sopra nella figura) e fino a due metri (sotto) a seguito della scossa del 30 ottobre.

La Figura 19 mostra uno specchio di faglia in località Colli di Sopra prima (a sinistra) e dopo (a destra) la scossa del 30 ottobre. La riattivazione cosismica è marcata da una striscia marrone (a causa del suolo trascinato) ampia circa 60 cm, posta alla base dello specchio di faglia ed estesa per molti metri.

La Figura 20 mostra la riattivazione multipla della faglia di M. Cornaccione (a monte di Frontignano di Ussita), relativa alla scossa del 26 ottobre (circa 5 cm di rigetto; riquadri di sinistra) e a quella del 30 ottobre (circa 40 cm di rigetto; riquadri di destra). Si nota come l'entità delle dislocazioni in superficie sia chiaramente proporzionale alla magnitudo di ciascuna scossa.

La Figura 21, infine, mostra i danni prodotti dalla fagliazione superficiale alla strada delle Tre Valli Umbre (SS685), nel tratto in galleria tra le frazioni di Capodacqua (AP) (in prossimità della Valle del Tronto) e San Pellegrino (PG) (nel bacino di Norcia).



Figura 21 – Lavori per i danni prodotti dalla fagliazione superficiale alla strada delle Tre Valli Umbre (SS685) nella tratto in galleria tra Capodacqua (AP) e San Pellegrino (PG). Foto: D. Spizzichino

2.3 Monitoraggio geodetico cosismico e post-sismico

Il SGI ha contribuito alla stima della deformazione cosismica e post-sismica attraverso l'analisi dei dati forniti dalle stazioni GPS continue (cGPS) e temporanee installate nei giorni immediatamente successivi al primo evento della sequenza sismica. In particolare, l'Area di Geofisica del SGI gestisce ormai da diversi anni tre stazioni GPS in acquisizione continua rispettivamente nei pressi del lago di Campotosto (CATO), nel Comune di Cagnano Amiterno (TERM) e nel Comune di Pescorocchiano, frazione di Leofreni (LEOF). Già da diversi anni, ISPRA insieme a INGV e al Dipartimento della Protezione Civile (DPC) ha avviato un progetto per monitorare attraverso stazioni GPS le aree dell'Appennino centrale interessate da sistemi di faglie attive, dove l'accumulo di stress tettonico costituisce una potenziale condizione di rischio. Si tratta, in generale, di stazioni con una lunga serie storica e, in particolare, le stazioni CATO e TERM sono funzionanti dal 2005, mentre la terza stazione fu installata immediatamente dopo il terremoto aquilano del 2009. In aggiunta alla rete di stazioni permanenti, pochi giorni dopo la scossa di agosto, si è provveduto ad infittire la rete di monitoraggio con stazioni temporanee, poste in corrispondenza di capisaldi della rete IGM95 già occupati in passato nell'ambito del Progetto "Deformazioni Appennino Centrale". Le nuove stazioni sono state distribuite nell'intera area epicentrale e incrementate durante l'evolversi della sequenza sismica. Nella figura 22 sono riportate le stazioni permanenti e temporanee installate da ISPRA.

Le stazioni cGPS, sia con campionamento a 30 sec sia in modalità High-Rate, con campionamento ad 1 s (1 Hz) o 0,1 s (10 HZ), sono state in grado di fornire informazioni utili per la ricostruzione della geometria della faglia, per la quantità di slip cosismico associato alla sequenza sismica in Italia Centrale (24 agosto, 26 e 30 ottobre) e per applicazioni sismologiche (Avallone *et al.*, 2016; Cheloni *et al.*, 2016; Cheloni *et al.*, 2017).

CATO, pur essendo la stazione di ISPRA più prossima agli epicentri dei tre eventi principali, dista comunque 24 km dall'epicentro dell'evento Mw 6.0 del 24 agosto, 48

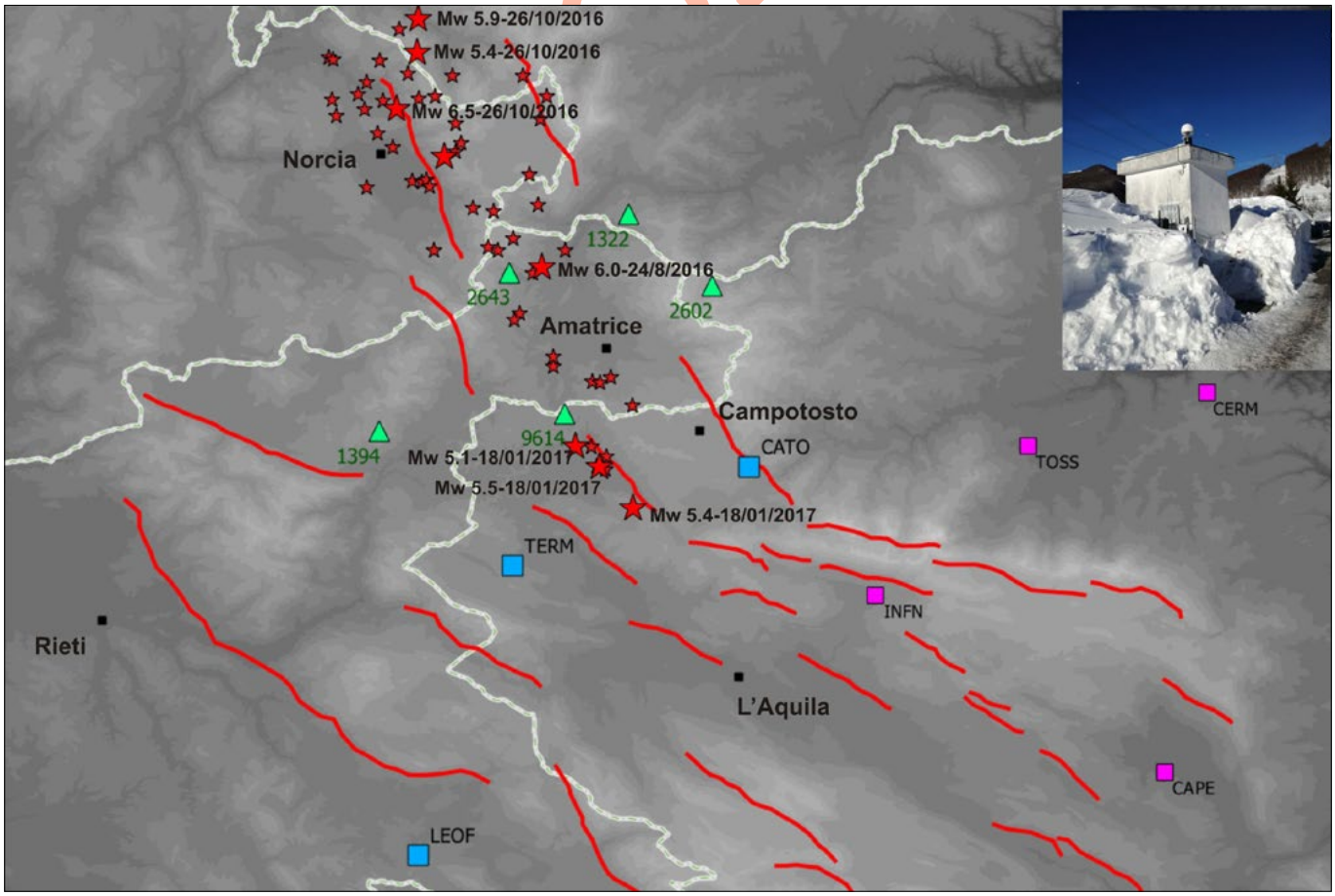


Figura 22 – Ubicazione delle stazioni cGPS (azzurre SGI, magenta DPC) e temporanee di SGI e DPC (verdi). Stelle rosse - epicentri con Mw>4; Linee rosse continue - principali faglie attive. Nel box la stazione permanente CATO fotografata pochi giorni dopo gli eventi del 18 gennaio.

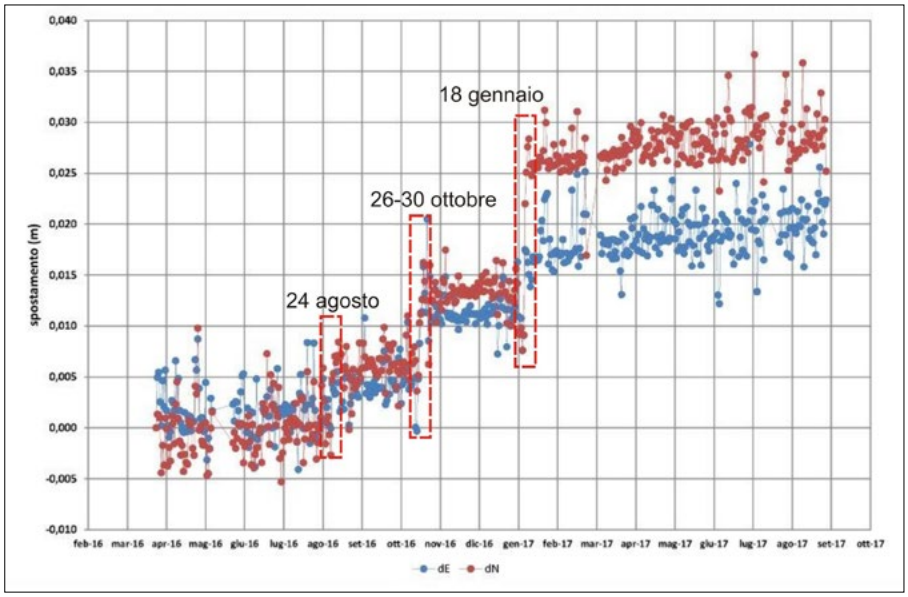


Figura 23 – Stazioni permanenti CATO e TERM: trend della variazione delle componenti dN (in rosso) e dE (in blu) della distanza relativa durante l'intera crisi sismica.

Le stazioni GPS temporanee sono state installate dal SGI a partire dal 26 agosto (stazione di Montereale) sui punti della Rete Nazionale IGM di I ordine (punti IGM95) selezionati sulla base della loro posizione rispetto all'epicentro del 24 agosto e sulla base delle condizioni di stabilità nell'intorno del punto. Le misure effettuate da ISPRA hanno riguardato i comuni di Montereale (stazione 9614 Case Inversi), Posta (1394 Monte La Cerasa), Arquata del Tronto (1322 Spelonga) e Valle Castellana (1322 Piana Cavalieri). Anche la stazione 1322, analogamente alla stazione VETT, ubicata anch'essa sul *footwall* del sistema di faglia principale, ha mostrato un sollevamento di circa 2 cm in corrispondenza dell'evento del 30 ottobre.

La collaborazione tra gli Istituti di ricerca e gli Enti che hanno fornito i dati High Rate, per gli eventi Mw>5, ha consentito di realiz-

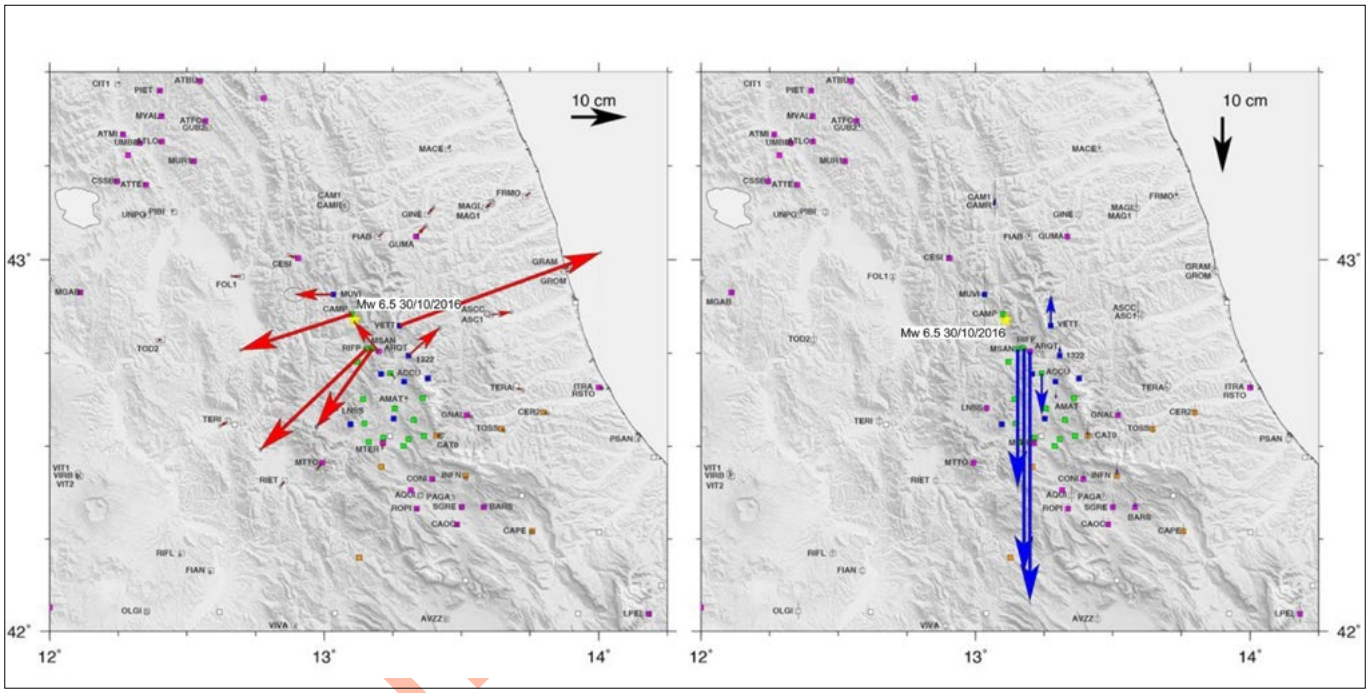


Figura 24 – Mappa dei movimenti co-sismici orizzontali (vettori rossi) e verticali (vettori blu) associati all'evento del 30 ottobre (da Working Group "GPS Geodesy - GPS data and data analysis center", 2016).

km dall'epicentro dell'evento Mw 5.9 del 26 ottobre e 41 km dall'epicentro dell'evento Mw 6.5 del 30 ottobre. Diversamente, gli eventi del 18 gennaio 2017 (Mw da 5.1 a 5.5) si sono verificati mediamente a soli 10 km dalle due stazioni di CATO e TERM. Tutte e tre le stazioni cGPS sono monumentate su pilastrino autocentrante posizionato sul tetto di strutture in cemento armato (box Figura 22). La strumentazione è costituita da ricevitori a doppia frequenza Leica ed antenna Chokering alimentati da rete elettrica o pannello fotovoltaico, e dotate di batterie tampone. Le misure GPS insieme con i dati INSAR hanno permesso di definire il campo di movimento al suolo e determinare i parametri sorgente associati agli eventi principali (Cheloni *et al.*, 2017). La Figura 23 mostra il grafico della lunghezza della base tra Campotosto (AQ) e Termine di Cagnano Amiterno (AQ) nel periodo aprile 2016 - ottobre 2017. Si evidenzia come in corrispondenza degli eventi sismici principali (box rossi) la strumentazione abbia registrato un allontanamento relativo tra le due stazioni.

I risultati dell'elaborazione complessiva di tutte le stazioni GPS ubicate nell'area della sequenza sismica (Cheloni *et al.*, 2017) evidenziano che lo spostamento massimo orizzontale è stato registrato presso la stazione di M. Vettore (VETT, 30 ottobre), pari a circa 40 cm verso NE, con sollevamento di 5 cm, mentre il movimento verticale maggiore è stato registrato presso la stazione di Arquata (ARQT, 30 ottobre) con una subsidenza di circa 44 cm (Figura 24).

zare un archivio di dati liberamente disponibili per la comunità scientifica (ftp://gpsfree.gm.ingv.it/amatrice2016/hrgps/data/).

3. LE ATTIVITÀ DI MICROZONAZIONE SISMICA

Nell'ambito delle attività del Centro di Microzonazione Sismica (CentroMS), il SGI ha effettuato studi e rilievi propedeutici alla realizzazione della MS nei comuni colpiti dal primo terremoto e coordinato le azioni di 15 diversi Enti e Università nella Macroarea denominata Arquata del Tronto - Montegallo (AP). Il SGI ha realizzato la MS degli abitati di Arquata del Tronto, Borgo, Capodacqua, Faete, Trisungo, Tufo, Vezzano e Pescara del Tronto. A titolo di esempio, viene di seguito illustrato il lavoro svolto in tale ultimo sito. Inoltre, a

seguito della Convenzione tra Commissario del governo per la ricostruzione e CentroMS e del Decreto Legge n. 8 del 9 febbraio 2017, che prevede di "dotare i Comuni della cosiddetta Area 1 della MS di terzo livello", ISPRA ha coordinato le attività dell'Unità Operativa Territoriale (UOT) denominata "Marche 3", composta da 30 comuni.

3.1 Microzonazione sismica della frazione di Pescara del Tronto (AP)

La frazione di Pescara del Tronto (comune di Arquata del Tronto – AP) è il centro abitato marchigiano che ha subito maggiori danni a seguito della sequenza sismica iniziata il 24 agosto 2016, sia in termini di vittime che di abitazioni distrutte, anche a causa dei rilevanti fenomeni franosi che si sono attivati. Nella fase post-evento, il SGI ha svolto una serie di rilievi geologico-geomorfologici, geotecnici e geofisici a supporto del DPC, in qualità di Centro di Competenza e, successivamente, nell'ambito della convenzione ISPRA-CNR IGAG, vari studi propedeutici alla Microzonazione Sismica (MS) delle frazioni abitate di Arquata del Tronto. Più recentemente, a seguito di ulteriori approfondimenti richiesti dal Commissario del governo per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016, il versante di Pescara del Tronto è stato zonato sulla base della suscettibilità geo-idrologica e sono state individuate nuove aree per una possibile futura urbanizzazione, individuate escludendo tutte le zone soggette a pericolosità geologico-idraulica. Su queste due aree (1 e 2 in Figura 25) si sono concentrate, successivamente, indagini geofisiche finalizzate alla valutazione della Risposta Sismica Locale (RSL).

La frazione di Pescara del Tronto sorge nel settore inferiore del versante che dalla sommità del monte Macchialta (1.750 m s.l.m.) degrada fino al fiume Tronto (circa 650 m s.l.m.). Questo versante, con acclività media intorno ai 30°, è caratterizzato da un profilo longitudinale complessivamente concavo nel settore medio-superiore e leggermente convesso in quello inferiore. L'assetto tettonico-strutturale è condizionato dalla presenza del sovrascorrimento dei monti Sibillini, poco a monte della frazione abitata, che provoca la sovrapposizione della successione carbonatica umbro-marchigiana meso-cenozoica sui sedimenti torbiditici miocenici appartenenti alla formazione della Laga. Il rilevamento geologico e geomorfologico eseguito alla scala 1:5.000, propedeutico agli studi di microzonazione sismica, ha permesso di ricostruire in dettaglio la successione stratigrafica dell'area (ISPRA, 2017a).

Il substrato affiorante nella frazione di Pescara del Tronto risulta costituito da litotipi appartenenti al membro pre-evaporitico della

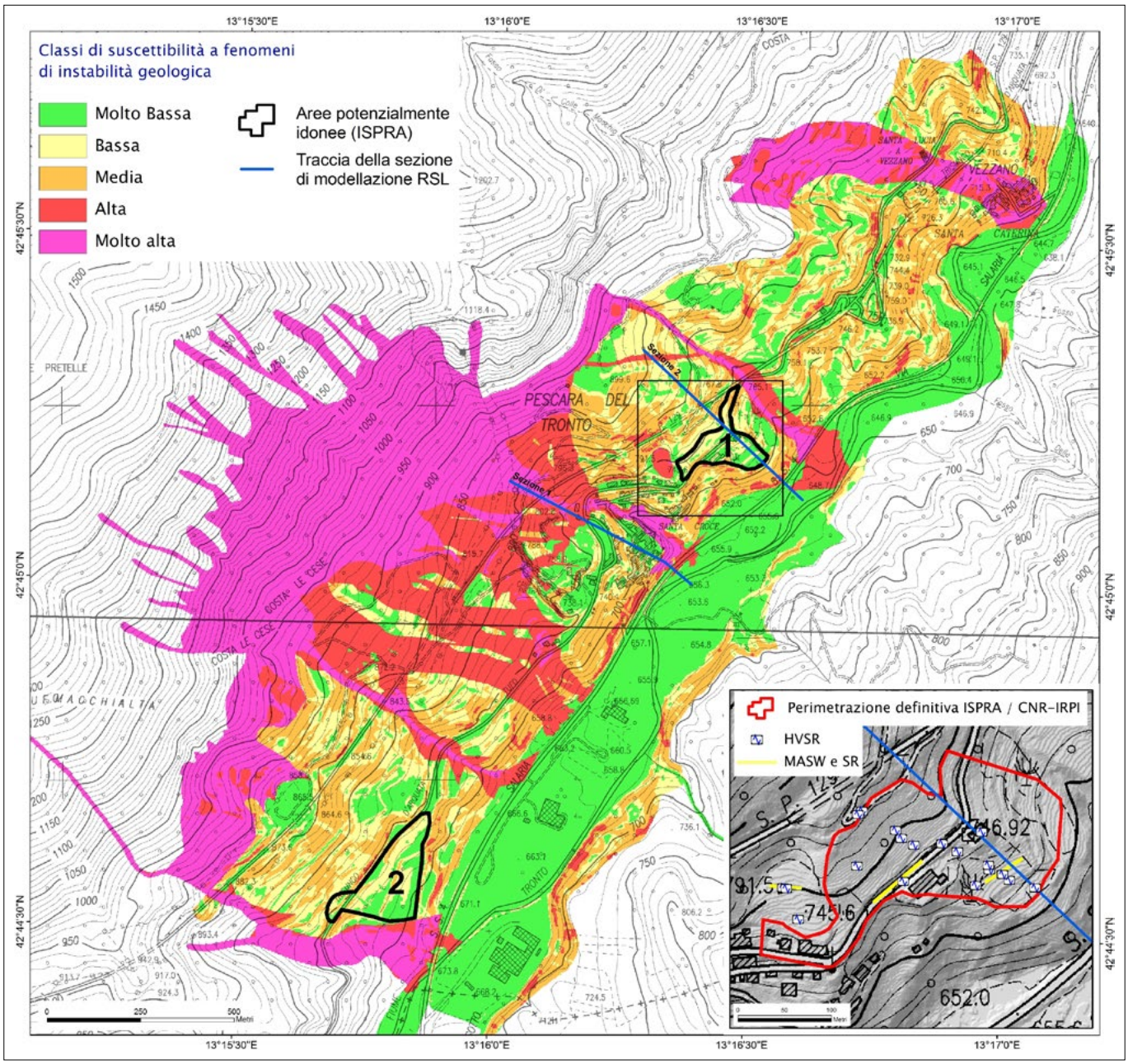


Figura 25 – Carta della suscettibilità ai fenomeni d'instabilità geologici nell'area di Pescara del Tronto, con indicate (in nero) le due aree potenzialmente idonee alla ricostruzione.

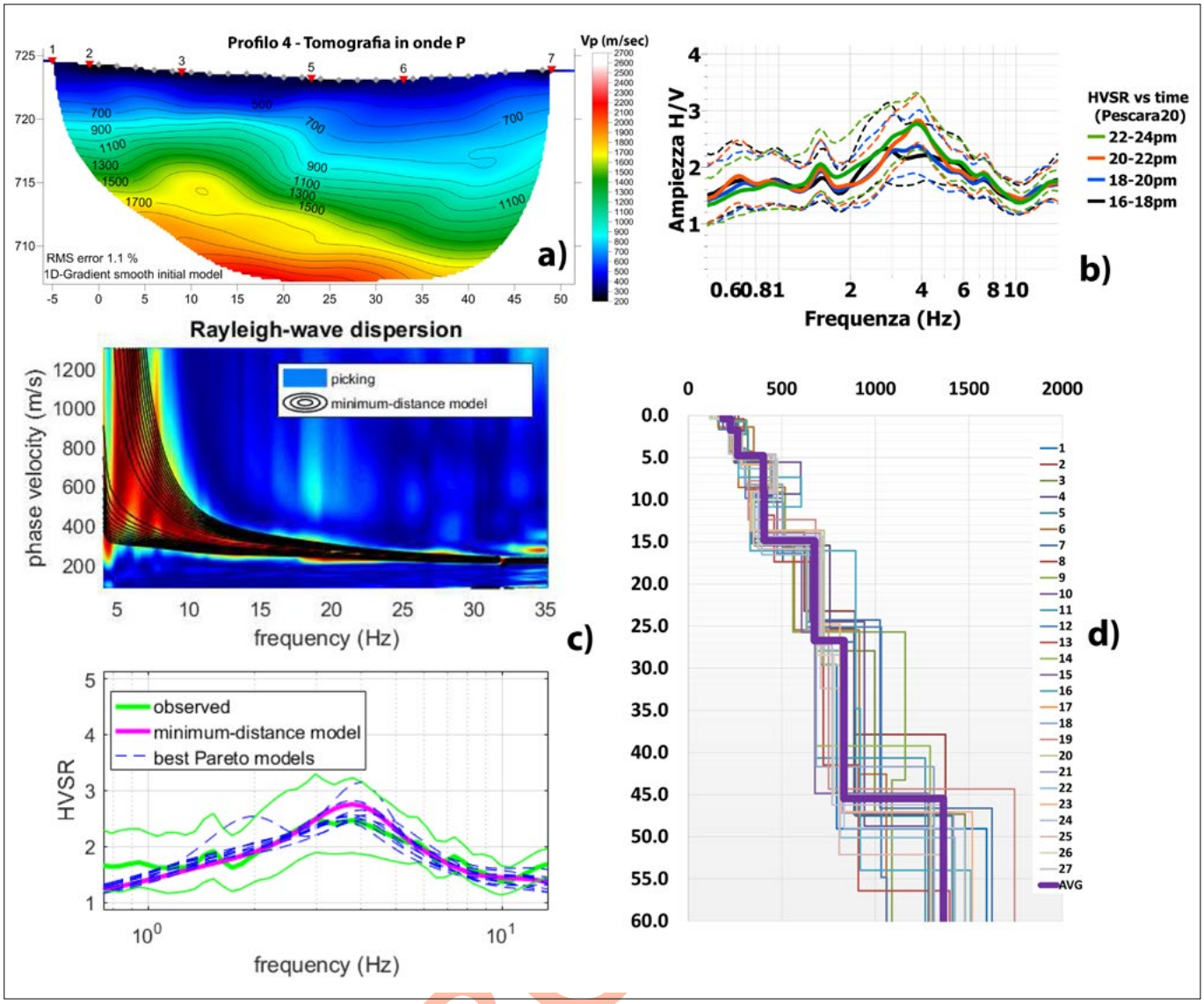


Figura 26 – Esempio di caratterizzazione geofisica - area 1. Tomografia in onde P(a), curve HVSR per differenti periodi della giornata sullo stesso sito di misura (b), risultati dell'analisi congiunta MASW HVSR per la linea 4 (c) e rappresentazione dei migliori 27 modelli Vs con misfit *<5% (d).*

formazione della Laga. Sul substrato torbiditico miocenico si è in seguito deposta una successione continentale quaternaria, in facies di versante e fluviale. I più antichi sedimenti di questa successione sono composti da accumuli di frane inattive, come quello ubicato a monte di Pescara del Tronto, oggetto di intensa attività estrattiva. Nello specifico si tratta di depositi caratterizzati da assetto caotico e costituiti da elementi eterogenei, eterometrici (delle dimensioni anche dei blocchi), a spigoli vivi, sia *matrix* che *clast supported*, naturalmente stabilizzati, a luoghi coperti da detriti stratificati di versante ascrivibili al Pleistocene superiore. La fascia altimetrica più elevata presenta invece depositi più recenti, costituiti da detriti di falda, che in parte si vanno a sovrapporre sui detriti stratificati di versante. I depositi colluviali al piede dei versanti hanno un'estensione modesta. Il settore medio-alto del versante a monte di Pescara del Tronto è, inoltre, attraversato da numerosi canali d'erosione colmati, nella maggior parte dei casi, da depositi da *debris flow* (ghiaie e blocchi poligenici subangolosi in matrice sabbioso limosa). In prossimità del fondovalle affiorano depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi e sabbioso-limosi, incisi e terrazzati dal fiume Tronto (terrazzo di I ordine), che lungo l'alveo attuale deposita principalmente ghiaie e sabbie e subordinatamente blocchi. Molto importanti, soprattutto ai fini della microzonazione sismica e della stabilità dei pendii, sono i depositi travertinosi, su cui sorge il nucleo storico di Pescara del Tronto, costituiti da differenti litofacies con caratteristiche di consistenza e compattezza molto variabili.

Il rilevamento geomorfologico, integrato da un'analisi fotogeologica e documentale, ha permesso d'individuare i principali processi che attualmente si manifestano nell'area, ovvero quello fluvio-denudazionale e quello gravitativo di versante.

In considerazione della loro potenziale pericolosità geo-idrologica, sono state identificate le tipologie franose presenti sul territorio, è stata fatta una valutazione della suscettibilità a franare sull'intero versante, con l'utilizzo di idonei software di modellazione (SINMAP, DFlowz, FlowR) e sono state perimetrate le aree in cui questi detrattori, da soli o combinati, possono interferire con il territorio. I fenomeni presi in considerazione nella modellazione sono stati le frane di crollo, le frane superficiali, le colate detritiche e le frane profonde; sono stati considerati anche i movimenti rilevati sul versante con tecnica InSAR (rapporto CNR-IREA, 2017). Utilizzando una matrice di confronto tra le varie tipologie di detrattori presenti, il territorio della frazione di Pescara del Tronto è stato classificato in aree con differente suscettività ai fenomeni d'instabilità di versante e sono state quindi identificate le due zone indicate nella figura 25 che ricadono nelle classi di suscettività da molto bassa a media ed hanno caratteristiche morfologiche (pendenze medie e superficie fruibile) comparabili con quelle del vecchio abitato (ISPRA, 2017b). Su queste aree, oltre che su quelle dell'abitato storico, sono state poi concentrate le indagini geofisiche per la valutazione della RSL.

Lungo il versante di Pescara del Tronto sono state realizzate 23 misure di rumore ambientale e n. 4 stendimenti lineari di si-

smica attiva. Le misurazioni di rumore sono state effettuate con l'obiettivo di stimare la frequenza di risonanza fondamentale della copertura sedimentaria (F_0) attraverso la tecnica dei rapporti spettrali *HVSR-Horizontal to Vertical Spectral Ratio* (Nakamura, 1989; 2000). Le acquisizioni hanno avuto durata variabile (minimo 30 minuti, massimo 18 ore), per consentire di investigare la possibile variazione dei valori di F_0 in funzione del livello di rumore ambientale, per differenti periodi di misura ed in differenti periodi del giorno, nello stesso sito. Lungo il versante di Pescara del Tronto (area 1 in Figura 1) il valore di F_0 oscilla nel range 2.0÷3.9 Hz con valori di ampiezza (A_0) variabili da 2.1 a 3.6, senza variazioni significative in funzione della durata delle registrazioni e del periodo del giorno. In soli 4 casi le curve HVSR sono risultate caratterizzate da un secondo picco di frequenza (F_1>F_0). Considerato l'assetto geologico-strutturale dell'area desunto dai dati di superficie, i massimi a più bassa frequenza delle curve HVSR (F_0) sono stati correlati al contrasto di velocità all'interno della formazione della Laga, in particolare in corrispondenza del passaggio tra le facies con differente rapporto arenaria/pelite. Il picco F_1, laddove presente, è stato messo in relazione al contrasto di velocità tra i depositi detritici recenti, poco consolidati, in diretto contatto con la Laga a consistenza litoide. Le indagini di sismica attiva sono state realizzate a supporto della modellazione geologico-tecnica del sottosuolo delle aree di studio in termini di velocità delle onde di compressione (Vp) e di taglio (Vs). Lungo le 4 linee sono stati utilizzati 24 geofoni verticali (10 Hz) ad una distanza intergeofonica variabile da 2 a 3 m. La durata delle registrazioni è stata fissata in 2 secondi al fine di utilizzare i sismogrammi per le analisi delle onde di superficie oltre che per la rifrazione. L'individuazione dei primi arrivi e l'elaborazione sono state eseguite tramite il software Rayfract (Rohdewald, 2006). Il modello iniziale di Vp per l'inversione è stato ricavato, quando possibile, dall'interpretazione a strati (Plus Minus), altrimenti utilizzando un gradiente 1D (Gebrande, 1986) esteso a tutto il profilo. Il modello iniziale viene poi ottimizzato mediante l'inversione tomografica 2D WET (Schuster & Quintus Bosz, 1993). Le tomografie in onde P hanno contribuito in modo significativo alla definizione del modello geologico-tecnico del versante entro i primi 15-20 metri di profondità, in particolare attraverso 1) definizione entro i primi 10-15 metri di profondità delle geometrie sepolte di unità quaternarie (debris, depositi colluviali ecc.) identificate in base al rilevamento geologico; 2) identificazione della profondità e geometria sepolta dei principali contrasti di impedenza; 3) identificazione di porzioni alterate (Vp relativamente basse) al tetto della formazione della Laga. La caratterizzazione del sottosuolo in termini di Vs è stata completata attraverso la determinazione dei profili di velocità delle onde Vs, tramite analisi della dispersione delle onde superficiali (Park *et al.*, 1999), utilizzando l'approccio *Full Velocity Spectrum* (FVS) descritto in Dal Moro (2014) e Dal Moro *et al.* (2014), basato sulla analisi/inversione dell'intero spettro di velocità, senza alcuna interpretazione del dato in termini di curve di dispersione modale. Le procedure di inversione sono state implementate in modalità congiunta con dati HVSR e le informazioni sulle velocità delle onde di compressione sono state utilizzate, al pari di quelle sulla litologia e spessore, per vincolare ulteriormente i modelli di velocità delle onde di taglio (Vs) durante il processo di analisi/inversione. Nell'immagine di Figura 26 viene proposto un esempio di caratterizzazione geofisica realizzata per l'area 1.

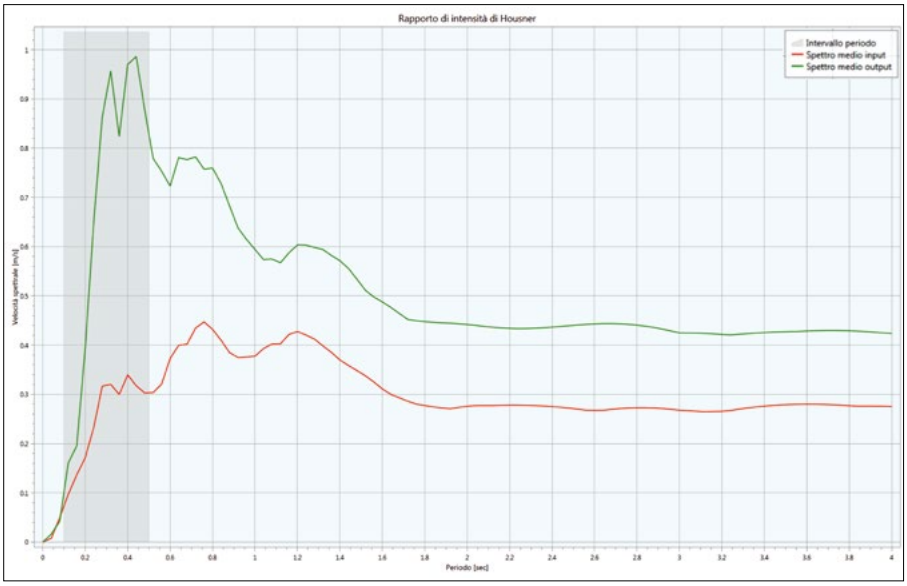


Figura 27 – Rapporto di intensità di Housner (media delle misure) calcolato per la zona urbanizzata di Pescara del Tronto (AP).

Attraverso l'ausilio dei codici di calcolo LSR2D e QUAD4M (Hudson *et al.*, 1994), sono state effettuate analisi di RSL di tipo bidimensionale, lineare equivalente, con il metodo agli elementi finiti. Le elaborazioni effettuate sono state ottenute come media di 7 analisi lineari equivalenti, eseguite con altrettanti accelerogrammi spettro-compatibili con lo spettro su roccia con tempo di ritorno 475 anni (INGV, 2017).

Il comportamento non lineare delle alluvioni è stato simulato mediante le curve medie di variazione del modulo di taglio normalizzato e del fattore di smorzamento proposte da Rollins *et al.* (1998) per terreni ghiaiosi, quelle proposte da Seed *et al.* (1986) per materiali sabbiosi ed un modello elastico per le rocce.

I fattori di amplificazione FHa (intensità di Housner) sono stati calcolati come rapporto tra l'integrale dello spettro di pseudo-accelerazione di output in un dato intervallo (0.1-0.5s) e l'analogo spettro di input per il medesimo intervallo.

In Figura 27 si osserva l'andamento del rapporto FHa per la zona centrale del vecchio abitato di Pescara: i valori calcolati oscillano tra 1.9 e 2.9 per il periodo 0.1-0.5, mettendo in evidenza il rilevante effetto di amplificazione dovuto soprattutto alla coltre di depositi incoerenti superficiali che caratterizza la vecchia zona urbanizzata.

I risultati delle indagini *Down Hole*, recentemente eseguite, supporteranno le successive modellazioni 1D e 2D della RSL nelle aree 1 e 2 di Figura 25.

3.2 Coordinamento e supporto alle attività di Microzonazione sismica in 30 comuni della Regione Marche colpiti dalla sequenza sismica del 2016-2017

Il Commissario del governo per la ricostruzione nei territori interessati dal sisma del 24 agosto 2016 ha emanato in data 12 maggio 2017 l'Ordinanza n. 24: "Assegnazione dei finanziamenti per gli studi di microzonazione sismica di III livello ai Comuni interessati dagli eventi sismici verificatisi a far data dal 24 agosto 2016 e proroga di termini di cui all'ordinanza n. 13 del 9 gennaio 2017". Tale Ordinanza, all'art. 1, prevede di "dotare i Comuni … di studi di microzonazione sismica di III livello come definiti dagli "Indirizzi e criteri per la micro zonazione sismica" … L'attività viene svolta con il supporto ed il coordinamento scientifico del Centro per la microzonazione sismica (CentroMS) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)".

Per l'attuazione di quanto previsto nell'Ordinanza è stata stipulata una apposita convenzione tra Struttura Commissariale e CNR-IGAG in rappresentanza del CentroMS. Il SGI-ISPRA è tra i membri fondatori del CentroMS e come tale è stato incaricato di svolgere e coordina-

WEB COPY

re le attività in una delle 6 Unità Operative Territoriali (UOT) in cui sono stati raggruppati i 140 comuni oggetto dell'Ordinanza. Tali attività hanno incluso il coordinamento generale e la collaborazione con altri Enti membri del CentroMS, ed in particolare UNIROMA1-DISG, CNR IAMC e POLITO-DISEG. L'UOT denominata Marche3 comprende i seguenti 30 Comuni: Acquasanta Terme (AP), Amandola (FM), Appignano del Tronto (AP), Arquata del Tronto (AP), Ascoli Piceno, Castel di Lama (AP), Colli del Tronto (AP), Castignano (AP), Castorano (AP), Comunanza (AP), Cossignano (AP), Folignano (AP), Force (AP), Maltignano (AP), Montalto delle Marche (AP), Monte Rinaldo (FM), Montedinove (AP), Montefalcone Appennino (FM), Montefortino (FM), Montegallo (AP), Montelparo (FM), Montemonaco (AP), Offida (AP), Ortezzano (FM), Palmiano (AP), Roccafluvione (AP), Rotella (AP), Santa Vittoria in Matenano (FM), Smerillo (FM), Venarotta (AP).

I compiti legati a tale attività, che sono stati regolati da apposita convenzione tra ISPRA e CNR-IGAG, si sono sostanziati nel Supporto e Coordinamento tecnico-scientifico a favore dei Professionisti che, per legge, sono stati incaricati dai Comuni della realizzazione della MS. Il supporto è consistito nello svolgimento di attività di formazione specifica, predisposizione di una tabella di correlazione tra le unità geologiche e quelle litotecniche da utilizzare nella redazione degli elaborati, valutazione delle cartografie realizzate, affiancamento nella pianificazione delle indagini, dirette, indirette e integrative, supporto alla modellazione 1D della Risposta Sismica Locale (RSL), realizzazione delle modellazioni 2D della RSL, validazione del risultato finale e valutazione delle modalità di applicazione della MS nella pianificazione per la ricostruzione.

Il SGI, in virtù delle proprie competenze multidisciplinari, ha svolto il supporto richiesto sull'intero flusso di attività, dal rilevamento geologico e geomorfologico di base alle indagini geofisiche, al supporto alla modellazione 1D ed all'esecuzione diretta della modellazione RSL 2D su 6 dei comuni compresi nella UOT. Ha inoltre curato il supporto geologico su tutti gli altri comuni, mentre gli altri Enti, ciascuno per le proprie competenze specifiche, hanno svolto il supporto ai rimanenti Comuni sulla Geofisica e la modellazione RSL 1D e 2D. Le attività del SGI si sono svolte sia direttamente, con sopralluoghi nelle aree oggetto degli studi di MS, o comunque in sedi nel territorio delle Marche (per formazione, coordinamento, contatti con Regione e Amministrazioni Comunali, supporto tecnico alla definizione del modello geologico, indagini geofisiche, etc.), sia in sede ISPRA, per le valutazioni sui materiali prodotti dagli affidatari e per le elaborazioni dirette di modellazione RSL 2D. Nei sei mesi di durata prevista dal progetto sono stati svolti circa 200 g/uomo di missione da parte del personale SGI, oltre ad altrettante giornate di lavoro in sede, da parte di circa 30 unità di personale altamente specializzato (geologi rilevatori, ingegneri, geofisici, geotecnici e informatici).

Pertanto, per ogni Comune suddetto sono stati prodotti, in conformità con i Protocolli derivanti dagli standard nazionali (ICMS Versione 4.0b e s.m.i.): Carta delle indagini in scala 1:5.000; Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica (CGT) in scala 1:5.000; Sezioni geologico-tecniche in scala 1:5.000; Carta delle frequenze naturali dei terreni in scala 1:5.000; Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) in scala 1:5.000; N. 3 Carte di microzonazione sismica di livello 3 in scala 1:5.000 per gli intervalli di periodo (T): 0.1-0.5 s, 0.4-0.8 s, 0.7-1.1 s; Relazione illustrativa; Archivio degli strati informativi. Per ogni microzona individuata nella carta di livello 3, sono stati inoltre prodotti: n. 3 fattori di amplificazione, uno per ognuno degli intervalli di periodo; n. 7 accelerogrammi calcolati in superficie, uno per ogni spettro di input; n. 7 spettri di risposta elastici al 5% di smorzamento in superficie, uno per ogni spettro di input; categoria di sottosuolo da NTC e valore di VS30.

In conclusione, il lavoro svolto dal SGI e dal CentroMS sulla base delle proprie esperienze tecnico-scientifiche ha permesso di supportare le attività necessarie a dotare (con estrema urgenza) i Comuni colpiti dagli eventi sismici della microzonazione sismica di livello 3, che sarà funzionale alle successive attività di ricostruzione e pianificazione territoriale.

CONCLUSIONI

Già a partire dal primo evento del 24 agosto 2016 della lunga sequenza sismica che si sta ancora protraendo in Italia Centrale, il SGI è stato coinvolto in molteplici attività di supporto al DPC. Ha preso parte al Comitato Operativo Permanente presso la Direzione Comando e Controllo (Di.Coma.C.) del DPC insediata a Rieti, fino alla sua chiusura del 7 aprile 2017. A seguito di ognuno degli eventi di magnitudo maggiore (24 agosto, 26 e 30 ottobre) il SGI ha svolto sopralluoghi per valutare il rischio residuo post-sismico e ha rilevato gli effetti procurati sull'ambiente. In collaborazione con INGV e altri enti di ricerca ed Università, ha mappato tutte le evidenze di fagliazione superficiale manifestatesi lungo la struttura del Monte Vettore – Monte Bove, per una lunghezza di circa 28 km ed una ampiezza di qualche km. Il SGI ha svolto funzioni di supporto alla Funzione Tecnica del DPC sia per la valutazione speditiva della stabilità dei versanti, al fine di supportare le decisioni per la gestione della viabilità (chiusura e/o riapertura della stessa) e suggerire le opportune opere di mitigazione del rischio che per la valutazione della compatibilità geologico-idraulica di siti destinati all'installazione di Moduli Abitativi Provvisori (MAP), Soluzioni Abitative in Emergenza (SAE) e Moduli ad Uso Scolastico Provvisorio (MUSP). Più di 420 sopralluoghi sono stati eseguiti su un territorio di oltre 140 Comuni, nelle Regioni Lazio, Umbria, Marche e Abruzzo, rilasciando pareri tecnici in pochi giorni. L'attività ha visto anche il coinvolgimento del Sistema Nazionale di Protezione dell'Ambiente, coordinato da ISPRA.

Facendo parte del Centro di Microzonazione Sismica (CentroMS), il SGI è stato impegnato intensamente nella realizzazione di carte di Microzonazione Sismica. In particolare, ha eseguito rilievi e studi nei Comuni colpiti dal primo terremoto e ha coordinato anche le azioni di 15 diversi Enti e Università nella Macroarea denominata Arquata del Tronto - Montegallo (AP); inoltre, nell'ambito della successiva Convenzione tra Commissario del governo per la ricostruzione e CentroMS, a seguito del Decreto Legge n. 8 del 9 febbraio 2017, il SGI ha coordinato e coadiuvato le attività nell'Unità Operativa Territoriale (UOT) di 30 comuni (denominata "Marche 3"), con l'obiettivo di supportare i Professionisti incaricati degli studi di MS di livello III.

L'impegno del SGI, così come quello degli altri Enti coinvolti nelle attività di supporto al DPC, si è dimostrato efficace per rispondere alle fasi emergenziali post-sismiche. Certamente, nei periodi di "quiete", l'Italia dovrebbe investire maggiormente in prevenzione in quanto, anche se la pericolosità sismica nel suo territorio non è tra le più elevate nel mondo (si pensi al Giappone, la Cina meridionale o la California), il rischio risulta alto a causa di un patrimonio edilizio e artistico-culturale molto vulnerabile. In particolare, tutti i borghi antichi, spesso costruiti in pietra locale, che costellano la catena appenninica, se da una parte contribuiscono a rendere l'Italia un Paese unico al mondo per bellezza, dall'altra costituiscono un pericolo per chi li abita, così come è stato purtroppo dimostrato durante la sequenza sismica del 2016-2017. Purtroppo, anche altre zone d'Italia hanno un potenziale sismico elevato, come l'Arco Alpino orientale o, ancor più, Campania, Basilicata, Calabria e Sicilia orientale, associato ad un patrimonio edilizio spesso sprovvisto degli adeguati requisiti di sicurezza. Per mettere in sicurezza i centri abitati italiani è necessario un enorme investimento economico, la cui distribuzione, comunque, potrebbe essere modulata in base alle buone conoscenze sulla pericolosità sismica in nostro possesso, che ci permettono di stimare, con soddisfacente approssimazione, qual è il terremoto di riferimento in ogni parte del nostro territorio. Pur essendo ancora lontani dal conoscere tutti i meccanismi che precedono la generazione di un terremoto,

ANTEPRIMA

la nostra capacità di monitorare il territorio nelle singole componenti che lo costituiscono sta aumentando sensibilmente, grazie al miglioramento delle tecniche di analisi sia da remoto (si pensi alla costellazione satellitare con i relativi sensori) che *in situ*. L'utilizzo integrato di dati provenienti da tecniche diverse ci consente ormai di comprendere con sempre maggiore approssimazione gli eventi sismici, sia in termini geodinamici che di variazione di singoli parametri sismici e geologici. Negli ultimi anni, si stanno poi sviluppando gli studi di Microzonazione sismica, descritti anche in questa nota, che sono molto importanti ai fini della pianificazione territoriale. Le basi conoscitive di cui siamo in possesso e che saranno certamente ampliate nel prossimo futuro, costituiscono uno strumento sempre più utile per modulare le politiche di riduzione del rischio sismico di cui il Paese ha bisogno.

BIBLIOGRAFIA

Avallone A. *et alii* (2016), *Coseismic displacement waveforms for the 2016 August 24 Mw 6.0 Amatrice earthquake (central Italy) carried out from High-Rate GPS data*. Annals of Geophysics, 59, Fast Track 5, 2016; doi: 10.4401/ag-7275.

AA.VV. (2016), *The August 24, 2016, Amatrice earthquake (Mw 6.0): field evidence of on-fault effects. Preliminary report.* http://admin.isprambiente.it/files/notizie-ispra/notizie-2016/sisma-italia-centrale/REPORT_Amatrice_en_2016_09_16.compressed.pdf

Cai M., Kaiser P.K., Uno H., Tasaka Y. and Minami M. (2004), *Estimation of Rock Mass Deformation Modulus and Strength of Jointed Hard Rock Masses using the GSI system*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences n.41, pp.3-19.

Calamita F. and Pizzi A. (1994), *Recent and active extensional tectonics in the southern Umbro-Marchean Apennines (central Italy)*. Mem. Soc, Geol. It., 48, 541-548.

Cheloni D. *et alii* (2016), *GPS observations of coseismic deformation following the 2016, August 24, Mw 6 Amatrice earth-quake (central Italy): data, analysis and preliminary fault model*. Annals of Geophysics, 59, Fast Track 5, 2016; doi: 10.4401/ag-7269.

Cheloni D. *et alii* (2017), *Geodetic model of the 2016 Central Italy earthquake sequence inferred from InSAR and GPS data. Geodetic model of the 2016 Central Italy earthquake sequence inferred from InSAR and GPS data*. Geophys. Res. Lett., 44, 6778–6787, doi:10.1002/2017GL073580.

Civico R., Pucci S., Villani F., Pizzimenti L., De Marti¬ni P.M., Nappi R. & the Open EMERGEO Working Group (2018), *Surface ruptures following the 30 October 2016 Mw 6.5 Norcia earthquake, cen¬tral Italy*. Journal of Maps, 14:2, 151-160, DOI: 10.1080/17445647.2018.1441756.

CNR-IREA (2017), *Analisi preliminare delle deformazioni superficiali dell'area intorno all'abitato di Pescara del Tronto (AP), tramite tecniche di interferometria differenziale SAR*. Dipartimento Protezione Civile, 18 marzo 2017.

Dal Moro G. (2014), *Surface Wave Analysis for Near Surface Applications*. Elsevier, ISBN 9780128007709.

Dal Moro G., Ponta R. and Mauro R. (2014), *Unconventional Optimized Surface Wave Acquisition and Analysis: Comparative Tests in a Perilagoon Area*. Journal of Applied Geophysics 114: 158-167.

Dawson E.M., Roth W.H., Drescher A. (1999), *Slope stability analysis by strength reduction*. January 1999 Géotechnique 49(6): 835-840

Galli P., Castenetto S., Peronace E. (2017), *The Macroseismic Intensity Distribution of the 30 October 2016 Earthquake in Central Italy (Mw 6.6): Seismotectonic Implications*. Tectonics,36. https://doi.org/10.1002/2017TC004583

Gebrande H. (1986), *CMP-Refraktionsseismik*. Mintrop Seminar/Uni-Kontakt Ruhr-Universitaet Bochum, Expanded abstract "Seismik auf neuen Wegen", p. 191-205.

Gruppo di Lavoro INGV sul terremoto in centro Italia (2016), *Summary Report on the 30 october, 2016 earthquake in Central Italy Mw 6.5*. doi: 10.5281/zenodo.166238

Guerrieri L., Vittori E. (Eds) (2007), *Intensity Scale ESI2007*. Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia, Vol. LXXIV. Servizio Geologico d'Italia, Dipartimento Difesa del Suolo, APAT, Rome, Italy.

Guerrieri (Ed.) (2015), *Earthquake Environmental Effect for seismic hazard assessment: the ESI intensity scale and the EEE Catalogue*. Mem. Descr. Carta Geol. It., XCVII.

Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. (2002), *Hoek-Brown failure criterion—2002 Edition* Proc. NARMS-TAC Conference, Toronto, 2002, 1, 267-273.

Hudson M., Idriss I.M., Beikae M. (1994), *Quad4M - A computer program to evaluate the seismic response of soil structures using finite element procedures and incorporating a compliant base*. University of California, Davis.

INGV (2017), *Rapporto tecnico sulla selezione di un insieme di 7 accelerogrammi compatibili con lo spettro di normativa (NTC08), da utilizzare come input per le simulazioni numeriche della microzonazione sismica di terzo livello (Ordinanza n. 24 del 12 maggio 2017)*. Report interno. Centro per la Microzonazione Sismica e le sue Applicazioni.

ISIDe Working Group INGV (2010), *Italian Seismological Instrumental and parametric database*: http://iside.rm.ingv.it

ISPRA – Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia (2017 a), *Sintesi delle conoscenze sull'evoluzione del pendio sottostante l'abitato di Pescara del Tronto, a seguito della sequenza sismica manifestatasi a partire dal 24 agosto 2016*. Prot. ISPRA 6432/2017 del 10/02/2017 – Rapporto inedito.

ISPRA – Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia (2017b), *Valutazione della suscettibilità a fenomeni di instabilità geologici nell'area di Pescara del Tronto (Comune di Arquata del Tronto - AP)*. Prot ISPRA 27229/2017 del 01/06/2017 - Rapporto inedito.

Livio F., Michetti A.M., Vittori E., Gregory L., Wedmore L. and Central Italy Earthquake Working Group (2016), *Surface faulting during the August 24, 2016, Central Italy earthquake (Mw 6.0): preliminary results*. Annals Of Geophysics, 59, Fast Track 5, 2016; doi: 10.4401/ag-7197.

Maestrelli D., Bonini M., Delle Donne D., Manga M., Piccardi L., Sani F. (2017), *Dynamic Triggering of Mud Volcano Eruptions During the 2016–2017 Central Italy Seismic Sequence*. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 122, 9149–9165. https://doi.org/10.1002/2017JB014777

Martarelli L., Gafà R.M. (2016), *Relazione di sopralluogo nell'area della sorgente del Torrente Torbidone (Norcia)*. ISPRA, Di.Coma.C, Funzione Tecnica di Valutazione e Pianificazione.

Nakamura Y. (1989), *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface*. Quarterly Report of RTRI, vol. 30, No. 1, 25 - 33.

Nakamura Y. (2000), *Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications*. Proceedings of 12th World Conference on Earthquake Engineering, New Zeland.

Park C.B., Miller R.D., Xia J. (1999), *Multichannel analysis of surface waves*. Geophysics, 64, 3, 800–808.

Petitta M., Mastrorillo L., Preziosi E., Banzato F., Barberio M.D., Billi A., Cambi C., De Luca G., Di Carlo G., Di Curzio D., Di Salvo C., Nanni T., Palpacelli S., Rusi S., Saroli M., Tallini M., Tazioli A., Valigi D., Vivalda P., Doglioni C. (2017), Water-table and discharge changes associated with the 2016–2017 seismic sequence in central Italy: hydrogeological data and a conceptual model for fractured carbonate aquifers. Hydrogeology Journal, Online First. https://doi.org/10.1007/s10040-017-1717-7

Pierantoni P., Deiana G. and Galdenzi S. (2013), *Stratigraphic and structural features of the Sibillini Mountains (Umbria-Marche Apennines, Italy)*, Ital. J. Geosci., 132(3), 497–520. doi: 10.3301/IJG.2013.08.

Rohdewald S.R. (2006), *Rayfract manual*. 1996-2006 Intelligent Resources Inc.

Rollins K.M., Evans M.D., Diehl N.B., Daily III W.D. (1998), *Shear modulus and damping relationships for gravels*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 124, n. 5, 396-405.

Serva L., Vittori E., Comerci V., Esposito E., Guerrieri L., Michetti AM., Mohammadioun B., Mohammadioun G., Porfido S., Tatevossian R. (2015), *Earthquake Hazard and the Environmental Seismic Intensity (ESI) Scale*. Pure Appl. Geophys. Springer Basel. doi 10.1007/s00024-015-1177-8

Schuster G.T. and Quintus-Bosz A. (1993), *Wavepath eikonal traveltime inversion: Theory*. Geophysics, volume 58, 1314-1323.

Seed H., Wong R., Idriss I., Tokimatsu K. (1986), *Moduli and damping factors for dynamic analysis of cohesionless soils*. J. Geotech. Eng., ASCE, 112 (11), 1016-1103

Silva, P.G., Rodriguez Pascua, M.A. *et alii* (2008), *Catalogacion de los efectos geologicos y ambientales de los terremotos en Espana en la Escala ESI-2007 y su aplicacion a los estudios paleosismologicos*. Geotemas, 6, 1063–1066.

Villani F., Civico R., Pucci S., Pizzimenti L., Nappi R., De Martini P.M., and the Open EME.RGEO Working Group (2018), *A database of the post-30 October 2016 Norcia earthquake coseismic effects in Central Italy*. Scientific Data, in stampa.

Vittori E., Comerci V., (Eds.) (2004), *The INQUA Scale. An innovative approach for assessing earthquake intensities based on seismically-induced ground effects in natural environment*. Special Paper, Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, Vol. LXVII, APAT, pp.118.

Working Group "GPS Geodesy (GPS data and data analysis center)" (2016), *Preliminary co-seismic displacements for the October 26 (Mw5.9) and October 30 (Mw6.5) central Italy earthquakes from the analysis of GPS stations*. doi: 10.5281/zenodo.167959.

II BOZZA

3. LA RICERCA SUI TERREMOTI IN ITALIA: METODI E PROSPETTIVE

II BOZZA

I caratteri della sismotettonica in Italia: osservazioni e modelli

Seismotectonics in Italy: data and models

Paola Vannoli
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma
E-mail: paola.vannoli@ingv.it

Pierfrancesco Burrato
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Roma
E-mail: piefrancesco.burrato@ingv.it

Parole chiave (*key words*): sismotettonica (*seismotectonics*), faglia attiva (*active fault*), sorgente sismogenetica (*seismogenic source*)

COS'È LA SISMOTETTONICA E SCOPO DEL LAVORO

La sismotettonica è la disciplina delle Scienze della Terra che si occupa dei rapporti intercorrenti tra la tettonica e la sismicità di un'area. In questo breve scritto proveremo a delineare, con la massima semplicità possibile, i caratteri principali della sismotettonica in Italia, con lo scopo di mostrare i caratteri "del primo ordine" della sismogenesi italiana, superando le peculiarità locali. Faremo un percorso attraverso quei dati e quelle osservazioni che concorrono alla valutazione del potenziale sismogenetico delle strutture geologiche attive, finalizzato alla caratterizzazione dei principali sistemi di faglie sismogenetiche presenti in Italia. In particolare, dettaglieremo alcuni terremoti recenti la cui cinematica e le cui caratteristiche sono ritenute esemplificative di sistemi di faglie attive estesi e omogenei.

Ma cos'è una faglia attiva? E cosa sono le sorgenti sismogenetiche? In letteratura nel tempo si sono susseguite numerose definizioni; si considera oggi "attiva" una faglia che si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 mila anni[1] e si considera "capace" una faglia attiva che raggiunge la superficie topografica, producendo una dislocazione del terreno. Una faglia attiva si definisce sismogenetica quando, muovendosi in maniera improvvisa, rilascia l'energia elastica accumulata nel tempo dando luogo al fenomeno del terremoto. La parametrizzazione della geometria e della cinematica di una faglia attiva e in grado di generare terremoti rappresenta una sorgente sismogenetica. Dobbiamo immaginare la sorgente sismogenetica localizzata tridimensionalmente all'interno della crosta terrestre; solo attraverso l'utilizzo di sorgenti sismogenetiche completamente parametrizzate si può arrivare a una previsione accurata dello scuotimento del terreno dovuto a un terremoto. Ricordiamo che questo scuotimento è in assoluto il principale responsabile del danneggiamento subìto dagli edifici, e in generale dalle opere antropiche, in occasione di un evento sismico (Bird e Bommer, 2004). Come abbiamo visto, qualora la sorgente sismogenetica arrivi ad intersecare la superficie topografica genererà fagliazione di superficie di tipo primario. Ciascuna sorgente sismogenetica posta in profondità può essere o non essere collegata ad una o più faglie attive e capaci secondo una relazione di uno a molti. Le faglie attive/capaci e le sorgenti sismogenetiche hanno utilizzi in parte complementari: entrambe vengono (o dovrebbero essere) utilizzate nell'ambito della pianificazione territoriale, inoltre le faglie capaci sono indispensabili negli studi di microzonazione sismica mentre le sorgenti sismogenetiche sono utilizzate nei modelli geodinamici e nelle valutazioni di pericolosità sismica da scuotimento.

La sismotettonica consiste, in definitiva, nell'individuazione e nella caratterizzazione delle strutture che generano i terremoti e il conseguente scuotimento, ossia le sorgenti sismogenetiche.

Negli studi sismotettonici usualmente si caratterizzano esclusivamente le faglie/sorgenti ritenute in grado di generare terremoti di magnitudo superiore a 5.5; per due principali motivi: 1) la magnitudo di 5.5 è considerata il valore "di soglia" oltre il quale la faglia assume dimensioni tali da poter essere identificata attraverso le metodologie geologiche; 2) in Italia, per via delle tipologie costruttive prevalenti, lo scuotimento generato da terremoti crostali con magnitudo superiore a 5.5 può creare danni significativi alle opere antropiche.

Un aspetto rilevante delle sorgenti sismogenetiche italiane, spesso poco noto ai "non addetti ai lavori", riguarda la loro profondità: se prendiamo in considerazione le faglie contenute nel *Database delle Sorgenti Sismogenetiche Italiane* prodotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (DISS Working Group, 2015) vediamo come la maggioranza (il 63%) delle faglie che generano terremoti in Italia è "cieca", ossia non arrivano ad intersecare la superficie topografica ma interessano un tratto di crosta che dalle profondità ipocentrali arriva sino a profondità di 2 o più chilometri. Difatti un volume considerevole di crosta in Italia è interessata da compressione attiva, ovvero da faglie inverse e trascorrenti profonde e, anche laddove è presente estensione attiva "superficiale", l'andamento della sismicità e l'utilizzo di moderni metodi di indagine consentono - più spesso di quanto usualmente ritenuto - di vincolare la profondità minima della struttura sismogenetica ben al di sotto della superficie topografica. La presenza di diffusa fagliazione cieca richiede inevitabilmente di affiancare, negli studi sismotettonici, agli usuali metodi diretti (quali per esempio lo studio di dettaglio della scarpata di faglia e la paleosismologia) l'utilizzo di opportuni metodi indiretti messi a punto di volta in volta a seconda del contesto geologico nel quale si sta operando (quali per esempio l'analisi dell'eventuale deformazione di elementi geologici e geomorfologici recenti, la variazione del pattern idrografico, la presenza di aree in sollevamento/abbassamento relativo recenti, ecc.). Ciò tenendo sempre bene a mente che, viste le grandi difficoltà insite nella ricerca di oggetti sepolti dai 2 ai 20 km di profondità, solo un'analisi congiunta tra le varie discipline che operano nel contesto sismotettonico può portare a risultati soddisfacenti.

CONTESTO GEODINAMICO

Per parlare della sismotettonica in Italia non possiamo prescindere dal dare un veloce sguardo al contesto geodinamico regionale. Come sappiamo tutto parte dal movimento delle placche; la geologia e la topografia italiana sono il risultato della deformazione, nel contesto di un margine di placca convergente, del margine mesozoico settentrionale della placca continentale africana, a sud, che si è mossa relativamente contro la placca continentale europea, posta a nord. Da questa convergenza hanno avuto origine le due catene montuose delle Alpi e degli Appennini, tuttora in sollevamento e i cui fronti compressivi esterni sono attivi coinvolgendo porzioni sempre più esterne delle rispettive

1 *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC)* pubblicate nel 2015 a cura della Commissione tecnica per la microzonazione sismica (http://www.protezionecivile.gov.it/resources/cms/documents/Linee_Guida_Faglie_Attive_Capaci_2016.pdf).

IN BOZZA

aree di avanpaese. Le due catene montuose sono costituite dalla sovrapposizione di unità tettoniche precedenti e contemporanee alla loro formazione (derivanti p.e. dalla litosfera oceanica dell'antica Tetide e dai depositi di avanfossa) che sono state coinvolte nella deformazione compressiva e sono state sollevate e sono ancora in sollevamento e, conseguentemente, hanno subìto e stanno subendo l'azione dell'erosione. Una rilevante differenza tra i due orogeni è rappresentata dalla presenza, esclusivamente nel caso dell'Appennino, di un bacino di retroarco, ovvero il Mar Tirreno (Malinverno e Ryan, 1986).

L'attuale moto relativo verso nordovest della placca adriatica (ovverosia della parte più settentrionale della placca africana) contro la placca europea (Devoti *et al.*, 2017) è il motore dell'attività recente del Sudalpino, la porzione di catena retrovergente delle Alpi (e.g. Doglioni e Castellarin, 1985), i cui fronti più esterni attivi sono sepolti al di sotto della coltre di sedimenti Plio-Pleistocenici della Pianura Padana, che rappresenta una regione ancora solo moderatamente deformata (Vannoli *et al.*, 2015a e bibliografia citata). La compressione attiva dell'Appennino sta progressivamente avanzando verso nordest (nel caso dell'Appennino settentrionale) e verso est, ossia verso l'*offshore* adriatico (nel caso dell'Appennino umbro-marchigiano e laziale-abruzzese; Vannoli *et al.*, 2015b; Kastelic *et al.*, 2013 e bibliografia citata). Non esistono evidenze certe relative all'attività in tempi recenti dell'Appennino meridionale, benché l'interpretazione di alcune linee sismiche nel Golfo di Taranto evidenzi il coinvolgimento nella deformazione dei depositi di avanfossa più recenti (Catalano *et al.*, 2001).

In corrispondenza della catena appenninica sono presenti numerosi bacini interni caratterizzati dalla deposizione di successioni clastiche continentali o marine; le età di questi depositi sono progressivamente più giovani procedendo dall'interno (ovest) verso l'esterno (est) della catena. Basili e Barba (2007) derivando i dati del coinvolgimento nella compressione dei depositi torbiditici neogenici dalla consolidata letteratura (e.g. Barchi *et al.*, 1998), mostrano che il sistema a pieghe dell'Appennino settentrionale sta migrando verso est con un rateo costante da circa 17 Ma (8,8 mm/a) e con un rateo di accorciamento di 2,9 mm/a; e che questo movimento ha determinato un raccorciamento cumulato di circa 45 km.

In definitiva, solo poche aree del territorio italiano sono al momento non coinvolte nei due eventi orogenetici: parte della Pianura Padana, parte del Mare Adriatico (perlopiù interessato dall'avanzamento *offshore* del sistema dinarico e dell'Appennino settentrionale), la Puglia e gli Iblei. Mentre le Alpi

Tabella 1 – Eventi sismici con $M_w \geq 5.5$ del periodo 1955-2014 rappresentati in *Fig.* 1 (CPTI15; Rovida *et al.*, 2016). Per ogni evento è indicato il tempo origine (orario UTC), l'area epicentrale, la localizzazione strumentale, l'intensità epicentrale (I_0), la magnitudo momento (M_w) e il dominio sismogenetico (DS; E: estensionale; C: compressivo; T: trascorrente; TR: transpressivo; S: subduzione)

Anno	Mese	Giorno	Ora	Minuti	Area	LAT (°)	LON (°)	Io	M_W	DS
1962	8	21	18	9	Irpinia	41.248	15.069	n.c.	5.7	T
1962	8	21	18	19	Irpinia	41.23	14.953	IX	6.2	E
1963	7	19	5	46	Mar Ligure	43.34	8.12	n.c.	6.0	C
1968	1	15	2	1	Valle del Belìce	37.756	12.981	X	6.4	C/T*
1968	1	15	13	42	Valle del Belìce	37.78	12.92	n.c.	5.5	T
1971	7	15	1	33	Parmense	44.814	10.345	VIII	5.5	C
1976	5	6	20	0	Friuli	46.241	13.119	IX-X	6.5	C
1976	9	11	16	35	Friuli	46.256	13.233	VII-VIII	5.6	C
1976	9	15	3	15	Friuli	46.285	13.203	n.c.	5.9	C
1976	9	15	9	21	Friuli	46.3	13.174	VIII-IX	6.0	C
1977	12	30	17	35	Tirreno meridionale	39.98	15.449	n.c.	5.9	S
1978	4	15	23	33	Golfo di Patti	38.385	15.086	VIII	6.0	T
1978	12	27	17	46	Tirreno centrale	41.078	13.557	n.c.	5.9	S
1979	9	19	21	35	Valnerina	42.73	12.956	VIII-IX	5.8	E
1980	5	28	19	51	Tirreno meridionale	38.483	14.27	V-VI	5.7	TR
1980	11	23	18	34	Irpinia-Basilicata	40.842	15.283	X	6.8	E
1984	4	29	5	2	Perugino	43.262	12.525	VII	5.6	E
1984	5	7	17	50	Monti della Meta	41.667	14.057	VIII	5.9	E
1990	5	5	7	21	Potentino	40.738	15.741	n.c.	5.7	T
1990	12	13	0	24	Sicilia sud-orientale	37.306	15.429	n.c.	5.6	T
1994	1	5	13	24	Tirreno meridionale	39.163	15.177	n.c.	5.8	S
1997	9	26	0	33	App. umbro-marchigiano	43.022	12.891	VII-VIII	5.7	E
1997	9	26	9	40	App. umbro-marchigiano	43.014	12.853	VIII-IX	6.0	E
1997	10	14	15	23	Val Nerina	42.898	12.898	n.c.	5.6	E
1998	4	12	10	55	Slovenia occidentale	46.31	13.63	VIII	5.6	T
1998	9	9	11	28	Appennino lucano	40.06	15.949	VI-VII	5.5	E
2002	9	6	1	21	Tirreno meridionale	38.364	13.687	VI	5.9	C
2002	10	31	10	32	Molise	41.716	14.893	VII-VIII	5.7	T
2002	11	1	15	9	Molise	41.741	14.843	VII	5.7	T
2006	10	26	14	28	Tirreno meridionale	38.761	15.395	n.c.	5.8	S
2009	4	6	1	32	Aquilano	42.309	13.51	IX-X	6.3	E
2009	4	7	17	47	Aquilano	42.303	13.486	n.c.	5.5	E
2012	5	20	2	3	Pianura emiliana	44.895	11.263	VII	6.1	C
2012	5	29	7	0	Pianura emiliana	44.841	11.065	VII-VIII	5.9	C
2012	5	29	10	55	Pianura emiliana	44.865	10.979	n.c.	5.5	C

* Presenza di meccanismi focali sia trascorrenti sia compressivi in letteratura

e gli Appennini sono costituiti da catene a pieghe e sovrascorrimenti, le aree di avampaese sono considerate aree prevalentemente non deformate al più soggette a fenomeni di subsidenza o sollevamento connessi alla continua migrazione dei fronti delle due catene (Carminati *et al.*, 2010 e bibliografia citata). Durante l'ultima fase contrazionale la porzione subdotta della *Piattaforma Apula* è stata coinvolta nella compressione e raddoppi di crosta apula si sono formati al di sotto della catena appenninica (Menardi Noguera e Rea, 2000).

I caratteri della sismotettonica recente quaternaria, sui quali vogliamo focalizzare l'attenzione, sono pertanto impostati all'interno – o al di sotto – dell'assetto compressivo dovuto alla formazione dei due principali orogeni.

Attualmente le aree di maggior sollevamento dell'Appennino sono contrassegnate da distensione con direzione nordest-sudovest dell'ordine dei 3 mm/a (e.g. Devoti *et al.*, 2017). Tale distensione viene da alcuni collegata al collasso dell'orogene, da altri al risultato del sollevamento di parte del cuneo di accrezione, al *rollback* della cerniera della subduzione della litosfera adriatico-ionica (e.g. Malinverno e Ryan, 1986; Doglioni, 1991) e all'apertura del bacino di retroarco tirrenico (e.g. Smeraglia *et al.*, 2017). L'eventuale relazione di causa-effetto tra il sollevamento regionale e l'estensione è da tempo argomento di discussione (p.e. Westaway, 1993; Bartolini *et al.*, 2003). In ogni caso la sismicità in atto ci documenta come nella parte interna - e più elevata - dell'Appennino le vecchie strutture compressive siano interessate da più recenti faglie estensionali (p.e. Elter *et al.*, 1975). L'età di inizio dell'estensione, e della conseguente fagliazione normale, in Appennino è usualmente datata al Pleistocene Medio (e.g. Hippolyte *et al.*, 1994; Galadini *et al.*, 2012). Per via dei moderati ratei dell'estensione e dell'inizio così recente della sua attivazione, possiamo affermare che il paesaggio italiano è stato creato primariamente dalla compressione e successivamente molto subordinatamente modificato dall'estensione (e.g. Valensise *et al.*, 2016).

I bacini continentali intrappenninici citati in precedenza hanno anch'essi origine dibattuta; secondo numerosi autori i bacini sono bordati da quelle faglie normali che ne controllano la presenza e l'evoluzione (vedi bibliografia all'interno di Vannoli *et al.*, 2012); secondo altri autori la loro creazione è meramente da imputare alla presenza delle aree depresse che si sono venute a creare durante la costruzione a falde della catena appenninica (e.g. Valensise e Pantosti, 2001). Coloro che collegano la presenza dei bacini all'attività dell'estensione usualmente concordano nel ritenere le faglie normali affioranti lungo i versanti dei rilievi, dove sono spesso presenti i cosiddetti "nastrini di faglia", ossia scarpate di faglia in roccia di altezza generalmente al massimo di pochi metri che presentano una direzione parallela alla linea di cresta principale e una geometria ad alto angolo. Coloro che ritengono la formazione dei bacini intramontani precedente e indipendente dall'estensione trovano a loro supporto i valori molto bassi della profondità dei riempimenti dei bacini, che molto raramente supera i 200 m. Da osservare infatti che, in base ai principi comunemente accettati del modello di dislocazione elastica, una faglia estensionale crea subsidenza e, a fronte di un'area subsidente profonda 200 m, una faglia normale dovrebbe creare un'area in sollevamento relativo elevata di circa soli 70 m. Queste diverse ipotesi sulla genesi e il significato dei bacini e dei "nastrini di faglia" hanno importanti ricadute in termini di valutazioni di tassi di movimento ed età di inizio dell'attività delle faglie estensionali. In ogni caso, nella valutazione del tasso di movimento (*slip rates*) di una faglia affiorante in superficie, non si può mai trascurare l'entità dell'imprescindibile erosione (Kastelic *et al.*, 2017).

Indipendentemente dalla natura dei bacini intramontani, è assodato che l'evoluzione tettonica dell'Appennino è caratterizzata dalla contemporanea attività, e conseguente migrazione verso est, di compressione (esternamente) ed estensione (internamente; p.e. Doglioni, 1991).

Sia le strutture compressive sia le strutture estensionali sono segmentate da faglie trasversali alle catene; l'origine, il ruolo e la capacità sismogenica di queste strutture sono ancora dibattuti. Ciononostante in Italia settentrionale alcuni terremoti sia strumentali sia storici (per via della loro posizione, piano quotato delle intensità macrosismiche e, se noti, profondità e meccanismo focale) sono stati associati all'attività di queste strutture trasversali (vedi Vannoli *et al.*, 2015a).

In Italia meridionale importanti terremoti, sia strumentali sia storici (vedi Fracassi e Valensise, 2007), sono localizzati a est della catena in estensione; nel caso dei terremoti recenti i dati strumentali attestano la loro cinematica trascorrente (Vallée and Di Luccio, 2005; Di Luccio *et al.*, 2005; Di Bucci *et al.*, 2010). L'eventuale limite tra la trascorrenza e l'estensione non è noto ed è usualmente ritenuto correre a est delle massime cime del rilievo appenninico (p.e. DISS Working Group, 2015). Nell'Appennino meridionale i terremo-



Figura 1 – Eventi sismici con magnitudo maggiore o uguale a 5.5 in Italia nel periodo 1955-2014 (CPTI15; Rovida et al., 2016; Tab. 1). Per ogni evento è indicato l'anno di accadimento e la sua magnitudo; sono rappresentati in rosso i terremoti crostali, in grigio i terremoti profondi dovuti alla subduzione della litosfera ionica al di sotto dell'Arco Calabro. In questo scritto ci interessiamo esclusivamente di strutture crostali.

ti strumentali caratterizzati da cinematica trascorrente interessano generalmente uno spessore sismogenetico più profondo (ca. 15-30 km di profondità; e.g. Di Bucci *et al.*, 2006) dei terremoti con cinematica estensionale che caratterizzano esclusivamente i primi chilometri di spessore crostale (ca. 0-15 km di profondità; Vannucci e Gasperini, 2004). Non è noto se, ed eventualmente in quale misura, i due regimi siano sovrapposti in profondità in corrispondenza della zona assiale della catena appenninica (come alcuni recenti lavori ipotizzano: Adinolfi *et al.*, 2015; Vannoli *et al.*, 2016; Ferranti *et al.*, 2017; De Matteo *et al.*, 2018).

In definitiva ogni terremoto, sia storico sia strumentale, ci fornisce preziose informazioni sul contesto geodinamico regionale e sui meccanismi che guidano l'evoluzione della geologia recente.

PRINCIPALI DATI DI BASE DEGLI STUDI SISMOTETTONICI

Dati geologico-geofisici

I classici dati geologico-geomorfologici di base sono informazioni indispensabili, frutto di almeno un secolo di rilevamenti di campagna, tuttavia hanno la caratteristica di contenere un numero assai elevato di faglie che solo molto raramente corrispondono a faglie attive. Se prendiamo in considerazione l'ultima versione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15; Rovida *et al.*, 2016), che copre una finestra temporale dall'anno Mille al 2014, vediamo che nell'ultimo sessantennio rappresentato nel catalogo (anni 1955-2014) si sono verificati 35 eventi sismici con M ≥ 5.5 in Italia (*Tab.* 1; *Fig.* 1). Tra questi l'unico terremoto che ha dato luogo a manifesta e condivisa fagliazione superficiale (la faglia dell'Irpinia del 23 novembre 1980, M_w 6.8) è stato generato da una faglia non rappresentata nelle carte geologiche; altri due eventi hanno generato rotture cosismiche superficiali dalla genesi non condivisa e/o non rappresentate nella cartografia geologica ufficiale (sequenza dell'Umbria-Marche del 1997 e il terremoto de L'Aquila del 6 aprile 2009); e la restante trentina di eventi è stata generata da faglie cieche o profonde, o comunque da faglie non presenti nella cartografia geologica tradizionale.

I dati geologici sono insostituibili ma debbono essere adeguatamente interpretati nell'ambito dell'analisi sismotettonica. La conoscenza della geologia può consentirci di comprendere la posizione e le caratteristiche di quelle sorgenti sismogenetiche che stanno attualmente deformando il paesaggio italiano; ciononostante numerosi fattori rendono molto complessa questa individuazione: 1) la presenza di numerose faglie preesistenti, oggi inattive, che non dobbiamo confondere con le odierne sorgenti sismogenetiche; 2) problemi di convergenza morfologica, non è raro p.e. confondere una scarpata di faglia o delle faccette triangolari con morfologie dovute alla normale erosione fluviale; 3) la presenza di un'articolata topografia ereditata dalle fasi tettoniche precedenti, che "maschera" le deformazioni oggi in atto; 4) l'età recente di inizio dell'attuale regime tettonico (per il regime distensivo che caratterizza l'asse della catena appenninica successiva a 800 ka; Galadini *et al.*, 2012); 5) i bassi tassi di deformazione in atto (per le zone in estensione ca. 3 mm/a; Devoti *et al.*, 2017); 6) la presenza di prevalente fagliazione cieca (e.g. DISS Working Group, 2015; per una approfondita *review* di questi argomenti si veda Valensise e Pantosti, 2001).

Uno studio che consenta l'individuazione di sorgenti sismogenetiche in un contesto così complesso quale quello italiano richiede inevitabilmente l'utilizzo di un approccio non convenzionale, con l'applicazione delle metodologie e delle tecniche della *Geologia del terremoto* e della *Tectonic geomorphology*.[2] Per esempio, l'applicazione di queste tecniche ha consentito di individuare, nel 2000, la faglia cieca responsabile del terremoto dell'Emilia del 29 maggio 2012 attraverso lo studio di anomalie del drenaggio posizionate in corrispondenza di un'anticlinale profonda in un'area pianeggiante priva di sismicità storica e strumentale nota (Burrato *et al.*, 2003; 2012; https://ingvterremoti.wordpress.com/2012/06/19/terremoto-in-pianura-padana-lindividuazione-geologica-delle-sorgenti-sismogenetiche/).

Come visto nel caso dell'individuazione della faglia di Mirandola del 2012, i dati geologico-geomorfologici sono, se possibile, sempre affiancati dai dati ottenuti attraverso le più recenti tecniche geofisiche. Di fatto è indispensabile ricorrere all'integrazione dei dati geologici di superficie con i dati provenienti da metodi geofisici specifici, come lo studio di anomalie gravimetriche, magnetiche, dei dati relativi al flusso di calore e di profili sismici. Sappiamo che i risultati dei metodi geofisici indiretti devono sempre essere "tarati" da altri dati (normalmente da perforazioni), pertanto ogni risultato geofisico è il frutto di una sorta di interpretazione integrata.

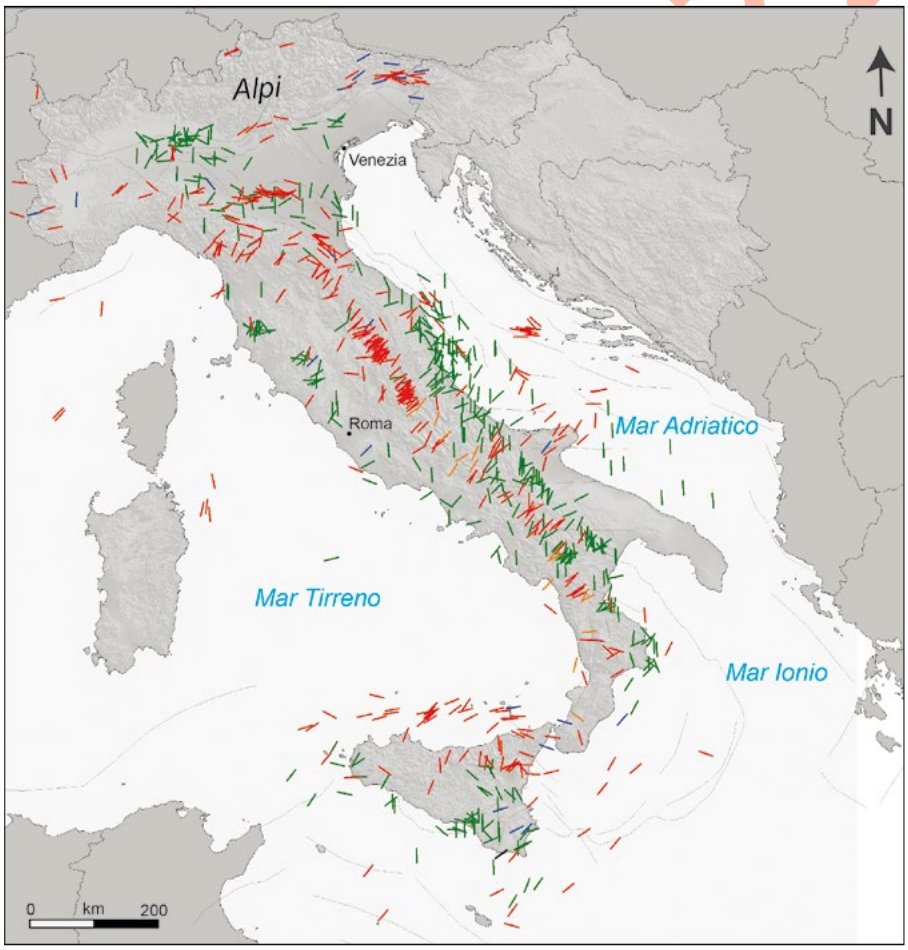


Figura 2 – Carta dell'orientazione dello stress orizzontale minimo (S_h; Montone e Mariucci, 2016). Sono rappresentati in colori diversi i dati di S_h ottenuti dalle diverse fonti: in rosso dai meccanismi focali, in verde dai breakouts, in blu dalle inversioni, in arancione dalle faglie. Si può osservare come lo stress orizzontale minimo sia ortogonale all'asse della catena appenninica (indicativo di estensione con direzione anti-appenninica) e parallelo al margine meridionale delle Alpi e al margine dell'Appennino (indicativo di compressione ai fronti alpino e appenninico)

2 In questo breve scritto non abbiamo modo di approfondire questo affascinante argomento; per una *review* si veda il testo *Tectonic Geomorphology* di Burbank e Anderson, edito nel 2012 da Wiley-Blackwell.

Le anomalie gravimetriche rivelano in superficie le variazioni di densità in profondità; una forte anomalia positiva p.e. caratterizza il bacino tirrenico per via della presenza di crosta oceanica sottile mentre anomalie regionali negative possono indicare la presenza di bacini sedimentari.

Due potenti metodi di studio della parte profonda della crosta sono rappresentati dalla sismica a rifrazione e dalla sismica a riflessione. La sismica a rifrazione ha fornito dati fondamentali, come l'andamento delle discontinuità principali (la Moho fra crosta e mantello, la Conrad fra crosta inferiore e superiore) e la velocità delle onde sismiche. La sismica a riflessione è stata utilizzata nella sismica di prospezione per ottenere riflessioni profonde fino alla base della crosta; in Italia il Programma CROP (CROsta Profonda; CNR-AGIP-ENEL) ha fornito risultati che hanno profondamente modificato e incrementato le conoscenze geologico-geodinamiche (e.g. Barchi *et al.*, 1998).

La prospezione sismica ci fornisce ineguagliabili e preziose informazioni su aree inaccessibili al rilievo geologico diretto, quali le aree *offshore* o le aree sepolte al di sotto della coltre dei depositi padani. Oltre 70 anni di dati (sia prettamente sismici sia relativi a perforazioni) finalizzati all'esplorazione per ricerca idrocarburi ci consentono da un lato di avere una valida ricostruzione della crosta più superficiale p.e. dell'avampaese adriatico (e.g. Fantoni e Franciosi, 2009), dall'altro di poter vincolare la geometria e gli *slip rates* di lungo termine di faglie attive (e.g. Maesano *et al.*, 2015).

Due rilevanti limitazioni di questa tipologia di dati sono: 1. la limitata profondità di penetrazione dei profili commerciali; usualmente permettono di indagare sino a circa 5 km di profondità e la maggioranza delle faglie italiane responsabili di eventi con magnitudo superiore a 5.5 è localizzata anche - o esclusivamente - al di sotto di questa profondità; e 2. la risoluzione non sempre adeguata per gli scopi della sismotettonica; per esempio la già citata faglia responsabile del forte terremoto dell'Irpinia del 23 novembre 1980 non è visibile attraverso questo metodo di indagine (vedi sezioni geologiche in Menardi Noguera e Rea, 2000).

Dati di *stress* e *strain*

In Italia disponiamo di un'aggiornata mappa del campo di *stress* attivo. Ricordiamo che lo *stress* è una grandezza fisica definita come la forza applicata per unità di area; e che una roccia sottoposta a *stress* differenziale subisce delle deformazioni o cambiamenti della sua forma definiti *strain*. Conoscere il campo di *stress* attuale della litosfera ci fornisce delle preziose informazioni sulle deformazioni in corso alle diverse scale (dal movimento delle placche sino alla scala regionale e locale). In Italia sono preponderanti quelle eterogeneità dello *stress* a scala locale (Pierdominici e Heidbach, 2012) che possono essere determinate dalla presenza di fagliazione attiva. Pertanto identificare le variazioni di *stress* consente una migliore comprensione dei meccanismi di fagliazione.

Diverse indagini possono contribuire al riconoscimento del campo di *stress* attivo, quali per esempio le analisi geologico-strutturali su unità di età recente, le osservazioni di allineamenti di bocche vulcaniche, e l'ampia tipologia di misure di *stress* in situ; le indagini che vengono utilizzate nella mappa dello *stress* italiana sono le determinazioni dei meccanismi focali dei terremoti (indicatori in realtà dello *strain* e per questo motivo inseriti con basso fattore di qualità in accordo con la World Stress Map; http://www.world-stress-map.org/; rappresentano il 46% dei dati totali) e le analisi di *breakouts* in pozzo (che rappresentano il 49% dei dati totali). Questi ultimi consistono nella misura delle perturbazioni indotte dallo *stress* sulla sezione trasversale di un pozzo alle modeste profondità attraversate (soltanto il 17% dei pozzi utilizzati supera la profondità di 4 km). In ogni caso l'insieme di questi dati (*Fig.* 2) mostra la presenza di 1. *stress* orizzontale minimo parallelo al margine meridionale delle Alpi e al margine padano e adriatico dell'Appennino, relativo alla tettonica a *thrust* compressiva e 2. *stress* orizzontale minimo ortogonale all'asse della catena appenninica relativo al regime estensionale (Montone e Mariucci, 2016 e bibliografia citata).

La geodesia spaziale e lo sviluppo di reti GNSS (Global Navigation Satellite System) negli ultimi anni hanno avuto grande sviluppo e diffusione, consentendoci di avere misure sempre più accurate e significative dei movimenti della superficie terrestre e dei tassi di deformazione in corso (*strain*).

La deformazione in atto rappresenta l'evidenza che si sta accumulando energia elastica che potrebbe essere rilasciata da eventi sismici. La presenza di una fitta rete di stazioni operanti in Italia e ai suoi confini da più di dieci anni ci permette di disporre di dati omogenei con una decorosa risoluzione spaziale e tempi di osservazione "significativi". In Italia l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è il principale ente di ricerca che si occupa anche della raccolta,

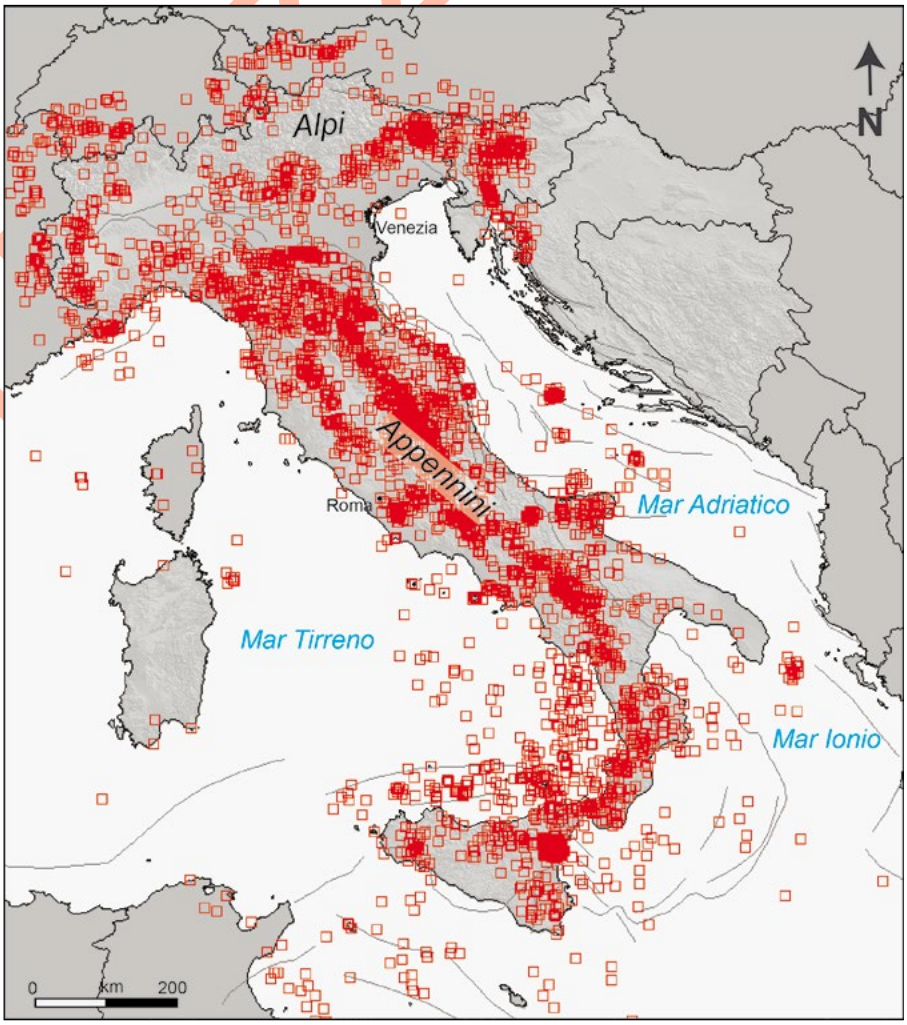


Figura 3 – Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15) contenente dati parametrici omogenei, sia macrosismici sia strumentali, relativi a terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014 (Rovida e tal., 2016).



Figura 4 – Carta sismica d'Italia redatta da Torquato Taramelli nel 1886, pubblicata negli Annali dell'Ufficio Centrale di Meteorologia e Geodinamica del 1888. La carta, che segue di tre anni un'analoga mappa pubblicata da Giuseppe Mercalli, delinea aree che hanno sperimentato terremoti da forti a distruttivi a partire dal 1300.

gestione e analisi di misure GPS e sta archiviando tutti i dati disponibili a livello nazionale, provenienti da più di 760 stazioni. Circa un quarto di queste stazioni GPS appartengono all'infrastruttura realizzata e messa a punto dall'INGV nel corso degli ultimi anni (Rete Integrata Nazionale GPS; INGV RING WG, 2016).

Nel tempo sono stati pubblicati numerosi lavori con dati di movimenti crostali orizzontali e verticali che vincolano sempre meglio la convergenza tra Africa ed Eurasia e confermano la presenza di estese aree in estensione e in compressione in Italia (Devoti *et al.*, 2017 e bibliografia citata).

Dati sismologici storici e strumentali

Poter disporre di validi cataloghi di terremoti è il primo fondamentale passo per qualsiasi studio sismotettonico. In Italia disponiamo di ottimi cataloghi sia storici (e.g. Guidoboni *et al.*, 2007; Rovida *et al.*, 2016; *Fig.* 3) sia strumentali (e.g. ISIDe working group, 2016).

Grazie al nostro passato e alla nostra cultura negli studi sismotettonici possiamo avvalerci dell'impagabile ausilio dei migliori – più documentati e più estesi temporalmente (25 secoli) – cataloghi sismici al mondo. Disponiamo di almeno un millennio di affidabili fonti scritte e iconografiche che ci documentano gli eventi sismici del nostro recente passato e che, sapendo bene come la geodinamica possa essere considerata "stabile" nella scala del tempo storico, saranno molto simili a quelli del nostro prossimo futuro. Per poter confrontare i terremoti a partire dall'ultimo quarto dell'Ottocento è stata ideata da Mercalli, e perfezionata nel tempo, la ben nota *scala di intensità*, che consente di attribuire agli effetti sismici osservati in una data località un determinato grado di intensità. L'applicazione di un criterio qualitativo fisso per la valutazione degli effetti ha reso possibile delineare aree omogenee dal punto di vista dell'intensità macrosismica e avere una sorta di quadro della sismicità italiana e delle caratteristiche dei vari terremoti che si sono succeduti nel tempo e nello spazio (in *Fig.* 4 una delle prime "Carte Sismiche d'Italia").

Studiare i dati macrosismici di eventi del passato, alla luce delle attuali conoscenze geodinamiche, può consentire di "illuminare" la conoscenza di aree sismotettoniche altrimenti oscure per via dei lunghi tempi di ritorno. I dati macrosismici sono preziosi nel fornirci informazioni sulla presenza di sismicità, sull'energia sprigionata dagli eventi sismici e, talvolta, anche su alcune caratteristiche delle faglie che li hanno generati, come la loro profondità e la loro direzione rispetto al nord geografico.

L'utilizzo di informazioni sulla sismicità storica non consente l'individuazione della cinematica della faglia e può essere reso particolarmente complesso dalla presenza di aree necessariamente prive di effetti (quali p.e. il mare o aree disabitate perché montuose o paludose) o, al contrario, di aree in cui si sommano gli effetti di danno di diversi terremoti vicini nel tempo e nello spazio.

Dal punto di vista strumentale oggi in Italia abbiamo a disposizione una rete di monitoraggio con strumentazione all'avanguardia (p.e. sismometri con tre componenti a banda larga) che ha avuto grande sviluppo soprattutto negli ultimi quindici anni.

L'INGV ha installato e gestisce circa 350 stazioni sismiche su tutto il territorio nazionale; si tratta delle postazioni fisse della Rete Sismica Nazionale, dotate di strumenti che rilevano ogni minimo movimento del suolo e che inviano tale informazione in tempo reale alla Sala Operativa di Monitoraggio Sismico di Roma. Qui, per 365 giorni l'anno, 24 ore su 24, i dati vengono analizzati da sismologi esperti e, in caso di terremoto, le informazioni fondamentali sull'evento (localizzazione ipocentrale, magnitudo e paesi vicini all'epicentro) vengono trasmesse in pochi minuti alla Protezione Civile.

Il monitoraggio del territorio non si limita al controllo dell'attività sismica in tempo reale ma è un insostituibile strumento di conoscenza della sismicità italiana. Disporre di dati sismici di elevata qualità consente di avere immagini ad alta risoluzione di faglie attive (e.g. Chiaraluce *et al.*, 2014) e di osservare, perfino in tempo reale, il comportamento di un sistema di faglie durante una sequenza (p.e. la migrazione della sismicità e l'attivazione di segmenti di faglia adiacenti; e.g. Valoroso *et al.*, 2013).

Anche questa tipologia di analisi richiede particolare attenzione, per esempio talora proprio l'area della faglia principale è completamente priva di sismicità minore e, in ogni caso, per ottenere l'"immagine" della faglia principale è necessario studiare esclusivamente la sismicità molto vicina nel tempo all'evento da analizzare.

Ricordiamo che le cosiddette "repliche" dell'evento principale usualmente si protraggono per molti anni (o decenni, a seconda della magnitudo e della cinematica del terremoto) nelle aree limitrofe.

In occasione di un evento sismico strumentale con magnitudo "significativa" possiamo rapidamente disporre del quadro degli effetti *near field* dell'area colpita attraverso

PROVA

il rilievo macrosismico sul terreno fornito dal gruppo di esperti denominato QUEST (QUick Earthquake Survey Team; www.questingv.it/index.php) e contemporaneamente abbiamo a disposizione il quadro degli effetti nel *far field* ottenuto in tempo reale attraverso la raccolta *online* di questionari macrosismici (www.haisentitoilterremoto.it/).

Queste informazioni ci consentono di analizzare come si propaga l'energia sismica, evidenziare aree di risentimento anomalo (e.g. Sbarra *et al.*, 2012) e di reinterpretare i terremoti del passato confrontandoli con il quadro territoriale di risentimento di terremoti recenti.

I recenti sviluppi nelle tecniche di elaborazione delle forme d'onda ottenute dai sismogrammi hanno permesso di ottenere meccanismi focali anche per terremoti di magnitudo relativamente bassa (e.g. http://cnt.rm.ingv.it/tdmt) e anche per terremoti del passato relativamente recente (e.g. Vannoli *et al.*, 2015b).

Disponiamo oggi di talmente tanti strumenti di analisi - diretta o indiretta - della sismicità in corso che il verificarsi di ogni terremoto "significativo" aumenta enormemente le conoscenze sismotettoniche del nostro territorio. I terremoti estensionali italiani più recenti hanno fornito una moltitudine di dati da approfondire e riservato sorprese sfatando diversi luoghi comuni, quali ad esempio l'elevato angolo di immersione (rispetto all'orizzontale) del piano di faglia delle faglie estensionali. I dati geodetici e satellitari ci hanno fornito preziose informazioni relative al movimento di deformazione cosismica. Questi dati sono utilizzati sia per caratterizzare la sorgente sismogenetica attraverso il confronto con i risultati della teoria della dislocazione, sia per interpretare l'evoluzione del paesaggio ottenuta dal succedersi di ripetuti eventi sismici. In particolare i recenti eventi sismici hanno evidenziato quanto può essere complessa l'associazione diretta tra:

1. fratture cosismiche e fagliazione cosismica primaria;
2. fagliazione superficiale e sorgente sismogenetica profonda;
3. sorgente sismogenetica estensionale e "bacino" o per meglio dire "depocentro" associato.

DOMINI SISMOTETTONICI IN ITALIA

Abbiamo visto i principali dati utilizzati nell'ambito degli studi sismotettonici che concorrono alla valutazione del potenziale sismogenetico delle strutture geologiche attive, vediamo adesso la caratterizzazione dei principali domini sismotettonici presenti in Italia e condivisi dalla comunità scientifica. Per definire meglio le strutture sismogenetiche crostali possiamo far riferimento ad alcuni terremoti recenti la cui cinematica e le cui caratteristiche possono essere ritenute esemplificative di sistemi di faglie attivi più estesi.

Dominio distensivo

Il più recente e forte evento estensionale in Italia è quello dell'Irpinia del 23 novembre 1980, M_w 6.8 (*Tab.* 1), superiore come magnitudo anche ai recenti eventi estensionali del 2016 ($M_{w\ max}$ 6.5).

La sorgente sismogenetica responsabile del terremoto del 1980 è una della faglie italiane più studiate (vedi DISS Working Group, 2015 e bibliografia citata) e ha creato i presupposti per l'inizio dei numerosi studi di geologia del terremoto in Italia.

L'evento sismico del 1980 è il frutto di un processo di rottura multipla con tre sub-eventi attivatisi nell'arco temporale di 40 secondi; esiste un generale consenso relativamente ai parametri geometrici delle tre faglie attivatesi nei 40 secondi; le tre strutture:

1) hanno tutte cinematica normale;
2) hanno tutte direzione appenninica (nordest-sudovest);
3) immergono verso nordest nel caso delle faglie responsabili dei primi due sub-eventi (verificatisi a 0 e 20 sec) e verso sudovest nel caso della faglia del terzo sub-evento;
4) sono prive di espressione geomorfologica di lungo termine, l'attività di taluni *splays* della faglia principale arriva persino a "invertire" il rilievo topografico, ossia contribuisce ad abbassare i rilievi montuosi;
5) l'antitetica attivatasi a 40 sec è una faglia cieca mentre le altre due strutture hanno permesso il riconoscimento, per la prima volta in Italia, di fagliazione superficiale cosismica. Quest'ultima caratteristica ha determinato lo sviluppo della paleosismologia in Italia; lo studio delle trincee paleosismologiche ha individuato la ripetuta attivazione sincrona delle due strutture responsabili degli eventi a 0 e a 20 sec, con un periodo di ricorrenza medio pari a circa 2000 anni (Pantosti *et al.*, 1993).

Indipendentemente dalle numerose complessità del fenomeno, l'evento estensionale del 1980 si è verificato in prossimità della cresta appenninica, analogamente a tutti gli altri eventi strumentali con medesima cinematica (*Tab.* 1; *Fig.* 1). Anche i recenti eventi sismici del 2016 sono dovuti all'attivazione di un sistema di faglie normali con direzione appenninica e immersione verso sudovest localizzato al di sotto delle massime cime dell'Appennino Centrale. Sappiamo inoltre che un gran numero di terremoti storici si concentra lungo la dorsale appenninica (*Fig.* 3)

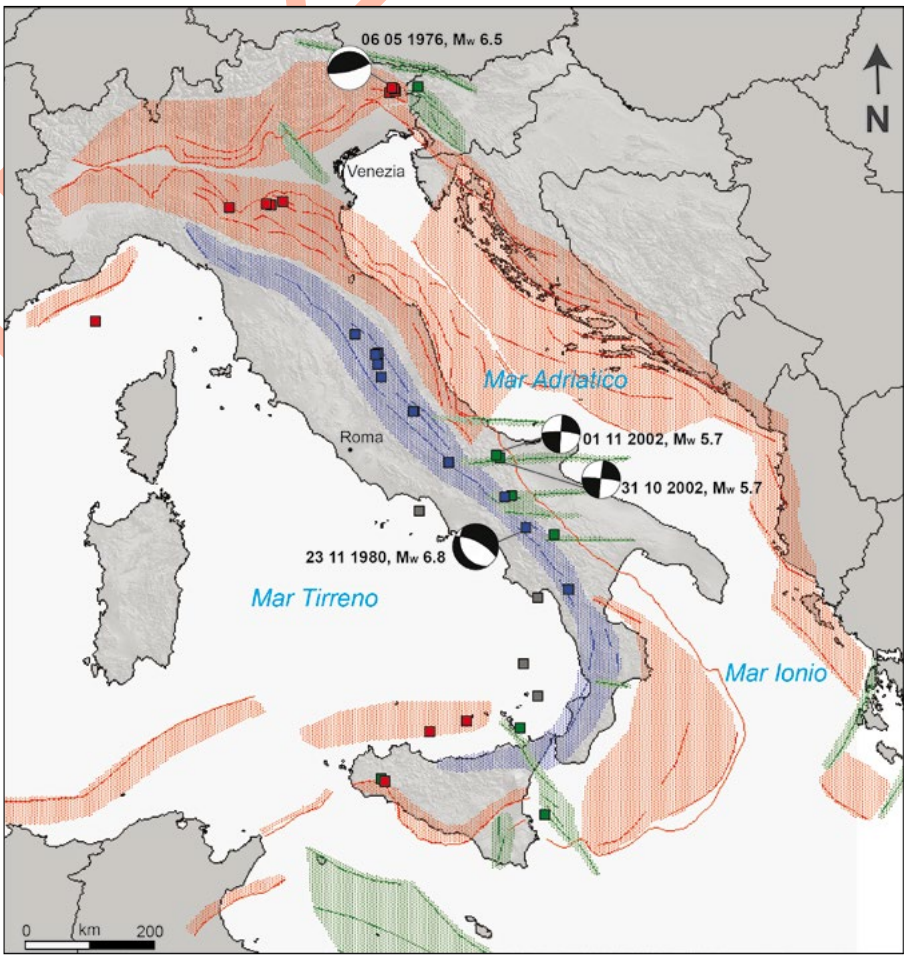


Figura 5 – Principali domini sismotettonici italiani. In rosso il dominio compressivo, in blu il dominio estensionale, in verde quello trascorrente. I quadrati colorati rappresentano gli eventi sismici di Fig. 1 e Tab. 1 differenziati per cinematica. Sono mostrati i meccanismi focali dei terremoti descritti nel testo.

che i dati geologici e di deformazione attiva confermano la presenza di questo ben localizzato dominio estensionale e che nel tempo sono state enunciate diverse interpretazioni di questo fenomeno (*Fig.* 2) (vedi § "Contesto geodinamico"). In *Fig.* 5 sono rappresentati in blu gli eventi sismici estensionali contenuti nell'ultima versione del CPTI15 (*Tab.* 1) e l'area interessata da sistemi di faglie, paralleli tra di loro, che coinvolgono i primi 15 km di crosta e appartengono al dominio estensionale appenninico.

Dominio compressivo

Il più forte e più recente evento compressivo in Italia è quello del Friuli del 6 maggio 1976, M_w 6.5 (*Tab.* 1), ben superiore come magnitudo agli eventi compressivi del 2012 (M_{max} 6.1). Nel 1976 si è verificata una complessa sequenza sismica, in cui l'evento di maggio è stato seguito da numerose altre scosse, le due più forti delle quali (M_w 5.9 e 6.0) si sono verificate il 15 settembre (*Tab.* 1).

Le strutture tettoniche responsabili dei principali eventi del 1976 sono i *thrust* ciechi del Sudalpino, osservati nei profili sismici e oggetto di numerose pubblicazioni (vedi DISS Working Group, 2015 e bibliografia citata). Queste strutture sismogenetiche sono vincolate dall'andamento della sismicità, dalla distribuzione spaziale degli *aftershocks*, dai dati provenienti dai meccanismi focali, dalle ripetute misure di livellazione e dai dati geologici.

L'evento del 6 maggio e i principali *aftershocks* sono stati generati da *thrust* ciechi a basso angolo, sud-vergenti, relativamente superficiali (2-7 km di profondità) mentre l'evento più forte del 15 settembre è stato generato da una struttura compressiva più profonda (6-11 km) localizzata a nord delle strutture precedenti e ritenuta un segmento del *thrust Periadriatico* (p.e. Burrato *et al.*, 2008). Le livellazioni geodetiche hanno mostrato il sollevamento cosismico cumulato dovuto ai principali eventi della sequenza, per una lunghezza di circa 20 km, localizzato in corrispondenza delle aree di massimo danneggiamento. All'epoca della sequenza sono state descritte delle fratture cosismiche dovute a frane e/o a deformazione di estradosso.

La presenza di compressione attiva al fronte delle Alpi meridionali e al fronte appenninico (quest'ultima testimoniata p.e. dagli eventi emiliani del 2012 e dall'evento parmense del 1971; *Tab.* 1) determina la crescita delle anticlinali - con conseguente deformazione delle superfici recenti e genesi di peculiari anomalie del drenaggio - ed è dovuta ai processi in corso di convergenza regionali (vedi § "Contesto geodinamico"). Numerosi eventi storici e strumentali sono localizzati presso il fronte più esterno dell'Appennino e i suoi fronti più arretrati (p.e. Vannoli *et al.*, 2015a, b; *Fig.* 3); i dati geologici e di deformazione attiva confermano la presenza di questo molto ampio dominio compressivo. Un'ulteriore ampia fascia compressiva si estende al di sotto del Mar Tirreno, dal Canale di Sicilia alle Isole Eolie, parallelamente alla costa della Sicilia settentrionale, contribuendo ad "accomodare" la convergenza tra Africa ed Europa. Interpretazioni derivanti dai profili sismici ci consentono di ipotizzare che tale movimento riattivi le strutture a falde della catena siculo-maghrebide, ossia del margine settentrionale africano. In *Fig.* 5 sono rappresentati in rosso i recenti eventi sismici compressivi contenuti nell'ultima versione del CPTI15 (*Tab.* 1) e l'area interessata da sistemi di faglie inverse che coinvolgono i primi ca. 10-20 km di crosta e appartengono al dominio compressivo italiano.

Dominio trascorrente

I due più recenti eventi trascorrenti in Italia si sono verificati nell'ottobre-novembre 2002, entrambi con M_w 5.7 (*Tab.* 1). I due terremoti sono molto simili in termini di meccanismo focale e profondità ipocentrale e hanno attivato due segmenti limitrofi dello stesso sistema di faglia (vedi DISS Working Group, 2015 e bibliografia citata). Le profondità ipocentrali dei due eventi sono intorno ai 20 km; i meccanismi focali e l'analisi degli *aftershocks* indicano un movimento di trascorrenza destra lungo piani sub-verticali con direzione est-ovest. Entrambi gli eventi presentano una evidente propagazione della rottura verso l'alto con forte effetti di direttività.

Il verificarsi di questi due eventi ha sorpreso la comunità scientifica in quanto si sono verificati in un'area, lontana dalla cresta appenninica e dai fronti dei *thrust* attivi, in cui non erano noti terremoti storici e strumentali e non erano state identificate faglie attive. Le sorgenti sismogenetiche responsabili di questi due eventi sono allineate tra loro e si trovano circa 50 km ad ovest di una struttura geologica ben nota ed evidente nel paesaggio, la Faglia della Mattinata. Quest'ultima faglia è un'importante struttura crostale trascorrente, con direzione est-ovest e con una lunga storia tettonica (p.e. Di Bucci *et al.*, 2010), la cui riattivazione come trascorrenza destra è cinematicamente consistente con l'estensione appenninica e la spinta verso NW della placca africana. Prima della sequenza del 2002 era noto il suo prolungamento *offshore* (a est), ossia la struttura attiva della Gondola (e.g. Ridente *et al.*, 2008), e non esistevano dati per poter presupporre un suo proseguimento verso l'Appennino (a ovest). Gli eventi del 2002 hanno avuto notevoli analogie con l'evento localizzato a circa 16 km di profondità presso Potenza, con cinematica trascorrente destra, del 5 maggio 1990 (M_w 5.7; *Tab.* 1). Gli studi successivi alla sequenza del 2002 hanno contribuito a fornire un quadro sismotettonico all'evento potentino e ad alcuni terremoti storici localizzati tra le massime vette dell'Appennino meridionale e la costa adriatica fino allora non adeguatamente compresi e privi di un'interpretazione sismotettonica (Fracassi e Valensise, 2007; DISS Working Group, 2015).

In *Fig.* 5 sono rappresentati in verde i recenti eventi sismici trascorrenti contenuti nell'ultima versione del CPTI15 (*Tab.* 1) e le aree del dominio trascorrente interessate da sistemi di faglie che si estendono sino a 20-30 km di profondità.

In generale il quadro sismotettonico sinottico che si ottiene prevede la presenza di una delimitata fascia estensionale lungo la cresta appenninica, la presenza di un'area ampia in compressione a est dell'Appenino e in Pianura Padana, l'indentazione di Adria nelle Alpi orientali, la flessione della litosfera adriatica sotto gli Appennini e la subduzione della litosfera ionica sotto l'Arco Calabro.

BIBLIOGRAFIA

Adinolfi G.M., De Matteis R., Orefice A., Festa G., Zollo A., De Nardis R., Lavecchia G. (2015), The September 27, 2012, ML 4.1, Benevento earthquake: a case of strike-slip faulting in Southern Apennines (Italy), Tectonophysics, 660, 35-46, doi: 10.1016/j.tecto.2015.06.036.

Barchi M.R., Minelli G., Pialli G. (1998), The CROP 03 profile: A synthesis of results on deep structures of the northern Apennines, Mem. Soc. Geol. It. 52, 383-400.

Bartolini C., D'agostino N., Dramis F. (2003), Topography, exhumation, and drainage network evolution of the Apennines, Episodes, 26, 3, 212-216.

Basili R., Barba S. (2007), Migration and shortening rates in the Northern Apennines, Italy: implications for seismic hazard, Terra Nova, 19; 462-468, doi: 10.1111/j.1365-3121.2007.00772.x.

Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., Boschi E. (2008), The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics, 453, 20-43, doi:10.1016/j.tecto.2007.04.014.

Bigi G., Bonardi G., Catalano R., Cosentino D., Lentini F., Parotto M., Sartori R., Scandone P., Turco E. (Eds.) (1992), Structural Model of Italy 1:500,000, CNR Progetto Finalizzato Geodinamica.

Bird, J.F., Bommer, J.J. (2004), Earthquake losses due to ground failure, Engineering Geology. 75, 2, 147-179.

Burrato P., Ciucci F., Valensise G. (2003), An inventory of river anomalies in the Po Plain, northern Italy: evidence for active blind thrust faulting, Annals of Geophysics, 46, 5, 865-882.

Burrato P., Poli M.E., Vannoli P., Zanferrari A., Basili R., Galadini F. (2008), Sources of Mw 5+ earthquakes in northeastern Italy and western Slovenia: an updated view based on geological and seismological evidence, Tectonophysics, doi: 10.1016/j.tecto.2007.07.009.

IN BOZZA

Burrato P., Vannoli P., Fracassi U., Basili R., Valensise G. (2012), Is blind faulting truly invisible? Tectonic-controlled drainage evolution in the epicentral area of the May 2012, Emilia-Romagna earthquake sequence (northern Italy), Annals of Geophysics, 55, 4, 525-531, doi: 10.4401/ag-6182.

Carminati E., Lustrino M., Cuffaro M., Doglioni C. (2010), Tectonics, magmatism and geodynamics of Italy: What we know and what we imagine. In: (Eds.) Marco Beltrando, Angelo Peccerillo, Massimo Mattei, Sandro Conticelli, and Carlo Doglioni, The Geology of Italy: tectonics and life along plate margins, Journal of the Virtual Explorer, Electronic Edition, ISSN 1441-8142, 36, 9, 6, doi:10.3809/jvirtex.2010.00226.

Catalano R., Doglioni C., Merlini S. (2001), On the Mesozoic Ionian basin, Geophys. J. Int, 144, 49-64, doi:10.1046/j.0956-540X.2000.01287.x.

Chiaraluce L., Amato A., Carannante S., Castelli V., Cattaneo M., Cocco M., e 12 altri (2014), The Alto Tiberina Near Fault Observatory (northern Apennines, Italy), Annals of Geophysics, 57, 3, doi:10.4401/ag-6426.

De Matteo A., Massa B., Milano G., D'auria L. (2018), A transitional volume beneath the Sannio-Irpinia border region (southern Apennines): Different tectonic styles at different depths, Tectonophysics, 723, 14-26.

Devoti R., D'agostino N., Serpelloni E., Pietrantonio G., Riguzzi F., Avallone A., Cavaliere A., Cheloni D., Cecere G., D'ambrosio C., Franco L., Selvaggi G., Metois M., Esposito A., Sepe V., Galvani A., Anzidei M. (2017), A Combined Velocity Field of the Mediterranean Region, Annals of Geophysics, 60, 2, doi: 10.4401/ag-7059.

Di Bucci D., Ravaglia A., Seno S., Toscani G., Fracassi U., Valensise G. (2006), Seismotectonics of the southern Apennines and Adriatic foreland: Insights on active regional E-W shear zones from analogue modelling, Tectonics, 25, 4, doi: 10.1029/2005TC001898.

Di Bucci D., Burrato P., Vannoli P., Valensise G. (2010), Tectonic evidence for the ongoing Africa-Eurasia convergence in central Mediterranean foreland areas: A journey among long-lived shear zones, large earthquakes, and elusive fault motions, J. Geophys. Res., 115, B12404, doi: 10.1029/2009JB006480.

Di Luccio, F., Piscini A., Pino N.a., Ventura G. (2005), Reactivation of deep faults beneath Southern Apennines: evidence from the 1990-1991 Potenza seismic sequences, Terra Nova, 10.1111/j.1365-3121.2005.00653.x.

DISS Working Group (2015), Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. http://diss.rm.ingv.it/diss/, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, doi: 10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.

Doglioni C. (1991), A proposal of kinematic modelling for W-dipping subductions - Possible applications to the Tyrrhenian - Apennines system, Terra Nova, 3, 4, 423-434.

Doglioni C., Castellarin A. (1985), A geologic schematic cross section of the Eastern Southern Alps, Rend. Soc. Geol. It., 8, 35-36.

Elter P., Giglia G., Tongiorgi M., Trevisan L. (1975), Tensional and compressional areas in the recent (Tortonian to Present) evolution of north Apennines, Boll. Geofis. Teor. Appl., 17, 3-18.

Fantoni R., Franciosi R. (2009), Mesozoic extension and Cenozoic compression in Po Plain and Adriatic foreland, Rendiconti online Soc. Geol. It., 9, 28-31.

Ferranti L., Milano G., Pierro M. (2017), Insights on the seismotectonics of the western part of northern Calabria (southern Italy) by integrated geological and geophysical data: Coexistence of shallow extensional and deep strike-slip kinematics, Tectonophysics, doi:10.1016/j.tecto.2017.09.020.

Fracassi U., Valensise G. (2007), Unveiling the sources of the catastrophic 1456 multiple earthquake: hints to an unexplored tectonic mechanism in southern Italy, B. Seismol. Soc. Am., 97, 3, 725-748.

Galadini F., Falcucci E., Galli P., Giaccio B., Gori S., Messina P., Moro M., Saroli M. (2012), Time intervals to assess active and capable faults for engineering practices in Italy, Engineering geology, 139, 50-65.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007), CFTI4MED, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500), INGV-SGA, http://storing.ingv.it/cfti4med/.

Hippolyte J.c., Angelier J., Roure F. (1994), A major geodynamic change revealed by Quaternary stress patterns in the southern Apennines (Italy), Tectonophysics 230, 199-210.

INGV RING WORKING GROUP, 2016. Rete Integrata Nazionale GPS, doi: 10.13127/RING, http://ring.gm.ingv.it/

ISIDe working group (2016) version 1.0, doi: 10.13127/ISIDe.

Kastelic V., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Tiberti M., Valensise G. (2013), Seismogenic sources in the Adriatic Domain, Mar. Petrol. Geol., 42, 191-213, doi: 10.1016/j.marpetgeo.2012.08.002.

Kastelic V., Burrato P., Carafa M., Basili R. (2017), Repeated surveys reveal nontectonic exposure of supposedly active normal faults in the central Apennines, Italy, J. Geophys. Res., 122, 1, 114-129.

Malinverno A., Ryan W. (1986), Extension in the Tyrrhenian Sea and shortening in the Apennines as result of arc migration driven by sinking of the lithosphere, Tectonics, 5, 2, 227-245, doi: 10.1029/TC005i002p00227.

Maesano F.E., D'ambrogi C., Burrato P., Toscani G. (2015), Slip-rates of blind thrusts in slow deforming areas: examples from the Po Plain (Italy), Tectonophysics, 643, 8-25.

Menardi Noguera A., Rea G. (2000), Deep structure of the Campanian-Lucanian arc (southern Apennine, Italy), Tectonophysics, 324, 4, 239-265, doi: 10.1016/S0040-1951(00)00137-2.

Montone P., Mariucci M.T. (2016), The new release of the Italian contemporary stress map,

Geophys. J. Int., 205, 1525-1531, doi: 10.1093/gji/ggw100.

Pantosti D., Schwartz D.p., Valensise G. (1993), Paleoseismology along the 1980 surface rupture of the Irpinia fault: implications for earthquake recurrence in the southern Apennines, Italy, J. Geophys. Res., 98, B4, 6561-6577.

Pierdominici S., Heidbach O. (2012), Stress field of Italy-mean stress orientation at different depths and wave-length of the stress pattern, Tectonophysics, 532, 301-311.

Ridente D., Fracassi U., Di Bucci D., Trincardi F., Valensise G. (2008), Middle Pleistocene to Holocene activity of the Gondola Fault Zone (Southern Adriatic Foreland): deformation of a regional shear zone and seismotectonic implications, Tectonophysics, 453, 110-121, doi:10.1016/j.tecto.2007.05.009.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) (2016), CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:10.6092/INGV.IT-CPTI15.

Sbarra P., V De Rubeis V., Di Luzio E., Mancini M., Moscatelli M., Stigliano F. Tosi P., Vallone R. (2012), Macroseismic effects highlight site response in Rome and its geological signature, Natural hazards, 62, 2, 425-443.

Smeraglia L., Billi A., Carminati E., Cavallo A., Doglioni C. (2017), Field- to nano-scale evidence for weakening mechanisms along the fault of the 2016 Amatrice and Norcia earthquakes, Italy, Tectonophysics, 712-713, 156-169, doi: 10.1016/j.tecto.2017.05.014.

Valensise G., Pantosti D. (2001), The investigation of potential earthquake sources in peninsular Italy: A review, J. Seismol., 5, 3, 287-306, doi: 10.1023/A:1011463223440.

Valensise G., Vannoli P., Basili R., Bonini L., Burrato P., Carafa M.m.c., Fracassi U., Kastelic V., Maesano F.e., Tiberti M.m., Tarabusi G. (2016), Fossil landscapes and youthful seismogenic sources in the central Apennines: excerpts from the 24 August 2016, Amatrice earthquake and seismic hazard implications, Annals of Geophysics, 59, 5, doi: 10.4401/ag-7215.

Vallee M., Di Luccio F. (2005), Source analysis of the 2002 Molise, southern Italy, twin earthquakes (10/31 and 11/01), Geophys. Res. Lett., 32, L12309, doi:10.1029/2005GL022687.

Valoroso L., Chiaraluce L., Piccinini D., Di Stefano R., Schaff D., Waldhauser F. (2013), Radiography of a normal fault system by 64,000 high-precision earthquake locations: The 2009 L'Aquila (central Italy) case study, J. Geophys. Res., 118, 3, 1156-1176, doi:10.1002/jgrb.50130.

Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Valensise G. (2012), A fresh look at the seismotectonics of the Abruzzi (Central Apennines) following the 6 April 2009 L'Aquila earthquake (Mw 6.3), Ital. J. Geosci., 131, 3, 309-329, doi: 10.3301/IJG.2012.03.

Vannoli P., Burrato P., Valensise G. (2015a), The seismotectonics of the Po Plain (northern Italy): tectonic diversity in a blind faulting domain, Pure and Applied Geophysics, 172, 5, 1105-1142, doi: 10.1007/s00024-014-0873-0.

Vannoli P., Vannucci G., Bernardi F., Palombo B., Ferrari G. (2015b), The source of the 30 October 1930, Mw 5.8, Senigallia (central Italy) earthquake: a convergent solution from instrumental, macroseismic and geological data, B. Seismol. Soc. Am., 105, 3, 1548-1561, doi: 10.1785/0120140263.

Vannoli P., Bernardi F., Palombo B., Vannucci G, Console R., Ferrari G. (2016), New constraints shed light on strike-slip faulting beneath the Southern Apennines (Italy): The 21 August 1962 Irpinia multiple earthquake, Tectonophysics, 691, 375-384, doi: 10.1016/j.tecto.2016.10.032.

Vannucci G., Gasperini P. (2004), The new release of the database of earthquake mechanisms of the Mediterranean area (EMMA Version 2), Ann. Geophys., 47, 307-334.

Westaway R. (1993), Quaternary uplift of Southern Italy, J. Geophys. Res., 98, 21741-21772.

IPOZZA

La sismicità del Veneto tra eventi storici e recenti

The seismicity of the Veneto Region: historical and recent earthquakes

Jacopo Boaga
Dipartimento di Geoscienze, Università degli Studi di Padova
E-mail: jacopo.boaga@unipd.it

Parole chiave (*key words*): Sismicità (*Seismicity*), Veneto (*Veneto*), terremoti storici (*historical earthquakes*)

ABSTRACT

La Regione Veneto è interessata da una relativamente intensa attività tettonica, principalmente legata alla dinamica post-oligocenica del dominio Sudalpino orientale. Dal punto di vista sismico il territorio regionale è stato teatro di eventi sismici storici anche importanti, e risente, come molto recentemente dimostrato, della rilevante sismicità proveniente dalle zone limitrofe. Focalizzandosi sul territorio regionale, si descrivono i più accreditati studi riguardanti i terremoti storici rilevanti per poi analizzare la più recente attività tellurica registrata strumentalmente. La sismicità viene quindi correlata alle zone potenzialmente sismogenetiche che interessano il Veneto e ne determinano il grado di pericolosità.

1. INQUADRAMENTO TETTONICO

Il territorio veneto insiste, dal punto di vista tettonico, sul fronte plio-quaternario del Alpi Meridionali orientali (Sudalpino orientale). Il settore compreso tra i monti Lessini ed il confine con il territorio friulano, rappresentata dalle pre-Alpi Venete, è schematizzabile come un sistema di sovrascorrimenti (thrusts in *Fig.* 1) a basso angolo con vergenza S-SE di età principalmente neogenica (Galadini *et al.* 2005; Doglioni 1990, Poli *et al.* 2008). La catena neogenica è dovuta alla convergenza Adria-Europa, la cui velocità è stata stimata in 2-3 mm/anno (D'Agostino *et al.* 2005, Caporali A. and Martin S. 2000; Grenerczy *et al.*, 2005; Serpelloni *et al.* 2005; Scissiani e Calamita 2009). Il settore veneto centrale è dominato dal sovrascorrimento sud-vergente "Bassano-Valdobbiadene" (Doglioni, 1992), limitato ad ovest dal di faglie trascorrenti (strike-slip) della linea Schio-Vicenza, che rappresenta la giunzione cinematica del settore orientale con il Sudalpino centrale (Sauro e Zampieri 2001; Zampieri *et al.* 2003). Il settore più occidentale confina con il sistema tettonico delle Giudicarie (Vigano *et al.* 2013; Caporali *et al.* 2003), mentre il settore orientale confina con le complesse strutture del fronte friulano, dove si concentra il maggior raccorciamento della propaggine meridionale del Sudalpino (Poli *et al.* 2008; Slejko *et al.* 1999, Aoudia *et al.* 2000). I principali lineamenti che caratterizzano le Prealpi venete centrali sono il sovrascorrimento del Montello (Benedetti *et al.* 2000) e alcune strutture minori, con orientamento OSO-ENE, come i sovrascorrimenti Bassano-Cornuda e Thiene-Bassano (*Fig.* 1). Le provincie più meridionali della Regione Veneto, pur non ospitando strutture tettoniche esposte, risentono sismicamente delle attività dei sovrascorrimenti sepolti del fronte appenninico settentrionale (Boccaletti *et al.* 1985), con indizi di paleosismicità che interessano anche i settori centrali (Martin *et al.* 2017).

2. LE SISMICITÀ DEL TERRITORIO VENETO

Per definire la sismicità di un territorio è necessario valutare sia i terremoti del passato, di cui si valutano intensità e localizzazione dalle fonti storiche, che quelli più recenti registrati dalle reti di monitoraggio strumentali. I dati di base della sismicità nazionale vengono raccolti ed elaborati dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, www.ingv.it). Studi sismologici di dettaglio vengono anche eseguiti da altri Enti di Ricerca quali l'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste (OGS, www.ogs.trieste.it). INGV prevede alla compilazione dei cataloghi sismici nazionali, tra i quali il Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (Rovida *et al.* 2016), che raccoglie tutti gli eventi noti storici e strumentali, riferendosi ai dati aggiornati di intensità macrosismica (DataBase Macrosismico Italiano DBMI, Locati *et al.* 2016). La *Fig.* 2 illustra le intensità macrosismiche massime osservate (Imcs) nel territorio veneto a seguito degli eventi sismici della finestra temporale 1000-2014.

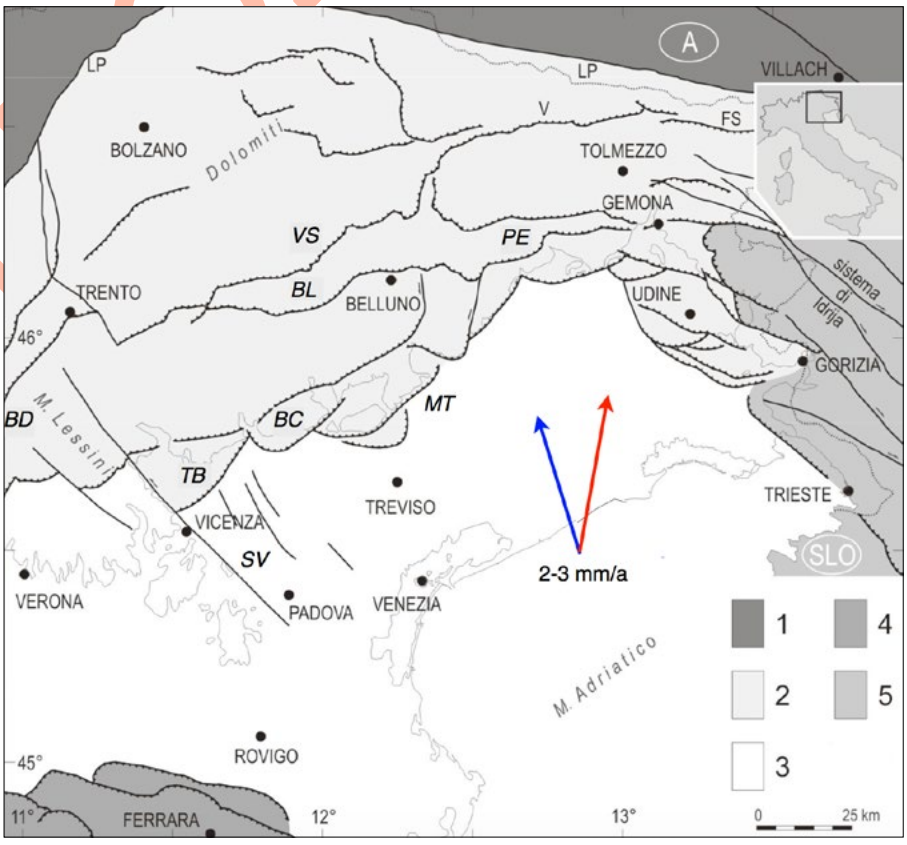


Figura 1 – Schema strutturale delle Alpi Meridionali orientali da Poli 2008, mod. 1. Austroalpino; 2. Sudalpino orientale; 3. Avampaese sudalpino-appenninico; 4. Fronte appenninico settentrionale; 5. Regione a prevalente deformazione dinarica. In corsivo i principali lineamenti veneti: SV *Schio-Vicenza;* BC *Bassano-Cornuda;* TB *Thiene-Bassano;* MT *Montello;* BD *Linea Monte Baldo;* BL *Linea di Belluno;* VS *Linea della Val Sugana;* PE *Thrust periadriatico. Le frecce indicano le direzioni di convergenza della placca Adriatica secondo D'agostino et al. 2005 (blu) e Grenerczy et al. 2005 (rosso)*

VERSIONE DI ANTEPRIMA

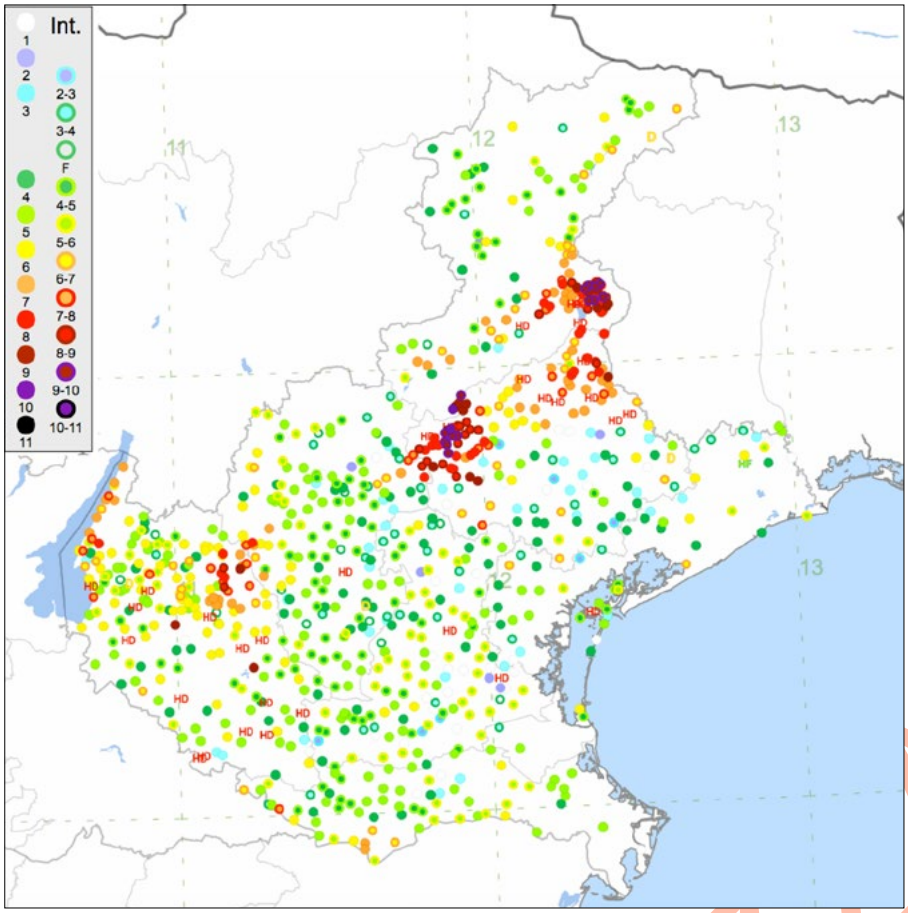


Figura 2 – Intensità macrosismica del Veneto come ricavata dal Database macrosismico Italiano 1000-2014 (DBMI, Locati et al. *2016). La dicitura HD (Heavy Damage) indica danni rilevanti*

928 località che hanno risentito degli effetti di terremoti, con dati provenienti dal catalogo ASMI (Archivio Storico Macrosismico Italiano, emidius.mi.ingv.it/ASMI), l'associato catalogo DBMI (DataBase Macrosismico Italiano, Locati *et al.* 2016) e l'importante catalogo CFTI Med 4.0 (Catalogue of Strong Earthquakes in Italy and Mediterranean Area 760-1500; Guidoboni *et al.* 2007). Delle 928 località sono state estratte le 177 che hanno storicamente subito Intensità macrosismiche (Imcs) di grado ≥ 7, ovvero che hanno subito considerevoli danni dagli eventi tellurici. Si sono poi analizzati i terremoti responsabili delle Imcs ≥ 7. Sono stati quindi individuati un totale di 27 eventi storici, di cui 17 provenienti dal catalogo ASMI e DBMI e ulteriori 10 riportati nel catalogo CFTI-Med 4.0. La tabella 1 riporta i dati relativi ai forti terremoti storici accorsi in Veneto e zone adiacenti, con il relativo posizionamento, la massima Intensità (Imax) e la stima della magnitudo equivalente (Me) con relativa incertezza (ove riportata).

Le località che hanno risentito di eventi con Imax ≥ 7 sono state suddivise per provincia (*Fig.* 3). Dalla figura si evince che la provincia storicamente più colpita risulta essere la Marca Trevigiana, seguita da Belluno, Verona e Vicenza. Anche 3 località provincia di Rovigo sono state storicamente interessate

Si può notare come tutto il territorio veneto abbia risentito, con diverse intensità, dell'attività sismica delle zone limitrofe. Considerando solo gli eventi in grado di generare rilevanti danni (Imcs ≥ 7), si osserva come quest'ultimi insistano nelle aree tettonicamente attive descritte sopra, ovvero lungo la fascia prealpina dei sovrascorrimenti a basso angolo con direttrice OSO-ENE, la zona di svincolo del Garda orientale, e le parti più meridionali della regione che risentono gli effetti dei sovrascorrimenti appenninici. Le intensità più rilevanti sono associate ad eventi con magnitudo momento Mw ≥ 5.5 storicamente occorsi in Veneto e, più recentemente, nei territori limitrofi quali Emilia e Friuli. Per i terremoti storici i livelli di incertezza nella quantificazione del danno, e quindi dell'energia liberata, sono evidentemente proporzionali alla accuratezza delle fonti (Guidoboni e Ebel 2009); per le misurazioni strumentali sono invece relativi alla distribuzione ed alla efficienza delle stazioni sismometriche. Per valutare la sismicità del Veneto dobbiamo considerare sia gli eventi storici più significativi riconosciuti, sia la sismicità recente come strumentalmente misurata dalle stazioni sismometriche locali.

Tabella 1 – Eventi che hanno causato Imax ≥ 7 accorsi nel territorio Veneto. Agli eventi catalogati dal catalogo ASMI-DBMI15 si associano quelli aggiuntivi inseriti nel catalogo CFTI –Med 4.0

Terremoto	Data	Lat.	Lon.	Imax	Me
Eventi provenienti da Catalogo DBMI15 e ASMI					
Verona 1117	03 01 1117	45.367	11.167	9.1	6.8
Verona 1183	00 12 1183	45.433	11	6.5	4.9
Bresciano/Veronese 1222	25 12 1222	45.533	10.623	7.5	5.68 ± 0.36
Alpi Giulie 1348 (?)	25 01 1348	46.504	13.581	9	6.63 ± 0.10
Ferrarese 1570	17 11 1570	44.824	11.632	7.5	5.44 ± 0.17
Asolo 1695	25 02 1695	45.8	11.95	10	6.5
Pordenonese 1812	25 10 1812	46.027	12.589	7.50	5.62 ± 0.25
Asolano 1836	12 06 1836	45.803	11.825	8	5.53
Prealpi Trevigiane 1860	10 03 1860	45.889	12.146	6.5	4.92 ± 0.36
Monte Baldo 1866	11 08 1866	45.737	10.797	7	4.96 ± 0.39
Alpago/Cansiglio 1873	29 06 1873	46.167	12.383	9.5	6.3
Val Illasi 1891	07 06 1891	45.564	11.165	8.50	5.87
Garda Occidentale 1901	30 10 1901	45.584	10.49	7.5	5.44 ± 0.10
Garda Orientale 1932	19 02 1932	45.632	10.729	5.5	5.16 ± 0.34
Cansiglio 1936	18 10 1936	46.089	12.38	9	6.06
Feltrino 1943	24 07 1943	45.986	11.883	7	5.07 ± 0.13
Prealpi Vicentine 1989	13 09 1989	45.87	11.172	6.5	4.99 ± 0.10
Eventi provenienti da Catalogo CFTI-Med 4.0					
Treviso 778	? ? 778	45.667	12.25	8.5	5.8
Media Valle dell'Adige 1046	09 11 1046	45.83333	11.067	9	6
Trevigiano 1268	04 11 1268	45.733	12.083	8	5.4
Venezia 1284	17 01 1284	45.433	12.333	7	4.7
Trevigiano 1859	20 01 1859	45.883	12.1	7.5	5.2
Monte Baldo 1876	29 04 1876	45.75	10.783	7.5	4.9
Monte Baldo 1877	01 10 1877	45.767	10.8	7	4.6
Monte Baldo 1882	18 09 1882	45.717	10.767	7	5
Salò 1901	30 10 1901	45.583	10.5	8	5.7
Monte Baldo 1932	19 02 1932	45.633	10.733	8	5.1

2.1 Sismicità storica

Per analizzare la sismicità storica del Veneto sono state dapprima selezionate le

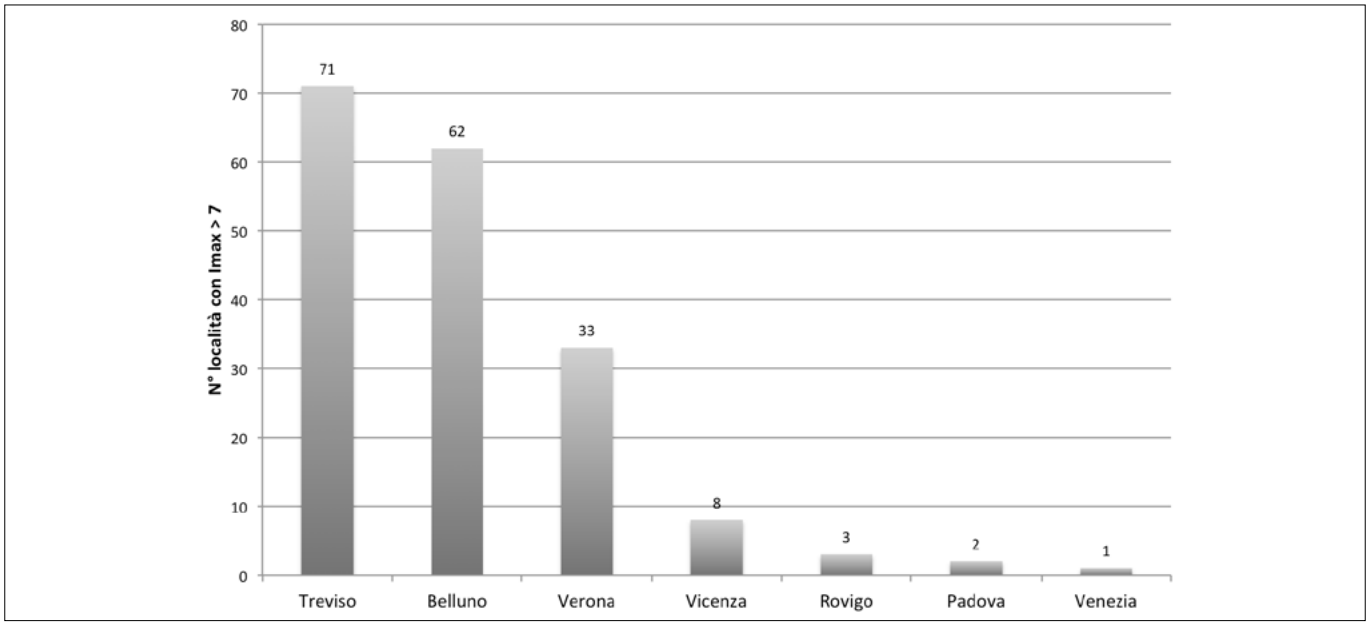


Figura 3 – Numero di località venete che hanno risentito storicamente di Imax ≥ 7 suddivise per provincia sulla base del catalogo DBMI15. Le città di Venezia, Padova e Piove di Sacco sono segnalate per gravi danni (HD) con intensità stimate > 7 a seguito dell'evento del 1117.

Tabella 2 – Città con più di 10.000 abitanti che hanno storicamente risentito di Imax ≥ 7 e relativo evento sismico più significativo

Città	Evento più significativo	Anno
Verona	Terremoto di Verona	1117
Belluno	Terremoto delle Alpi Giulie	1348
Padova	Terremoto di Verona	1117
Venezia	Terremoto di Verona	1117
Bassano del Grappa	Terremoto di Asolo	1695
Piove di Sacco	Terremoto di Verona	1117
Conegliano	Terremoto di Asolo	1695
Vittorio Veneto	Terremoto di Asolo	1695
Feltre	Terremoto di Cansiglio	1873
Asolo	Terremoto di Asolo	1695
Valdobbiadene	Terremoto di Asolo	1695

dagli effetti di eventi distruttivi, aventi però epicentri nel territorio emiliano. Nel catalogo DBMI15 risultano colpite da gravi danni (HD: Heavy Damage) a seguito del terremoto del 1117 anche le città di Venezia, Padova e Piove di Sacco come descritto in Guidoboni *et al.* 1995 e Guidoboni *et al.* 2015.

La tabella 2 elenca i centri abitati con più di 10.000 abitanti che hanno risentito storicamente di Imax ≥ 7, con il relativo evento più significativo. Come si può notare anche capoluoghi come Venezia, Verona, Padova e Belluno hanno in passato subito eventi distruttivi legati alla attività tellurica.

2.2 Sismicità strumentale

La rete sismica nazionale (www.cnt.ingv.it) in Veneto è integrata da efficienti reti sismometriche locali, gestite dal Centro di Ricerche Sismologiche (CRS) dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale di Trieste (OGS, www.crs.inogs.it). La rete registra, localizza e analizza tutti gli eventi tellurici del Nord-Est, pubblicando i propri database (e.g. Priolo, 2008).

La *Fig.* 4 mostra tutti gli eventi registrati nel territorio veneto dalla rete sismometrica del CRS-OGS con magnitudo locale Ml ≥ 3 degli ultimi 20 anni (1997-2017).

Come si può notare eventi sismici di debole entità interessano tutto il territorio regionale, tuttavia essi sono particolarmente concentrati lungo il sistema dei sovrascorrimenti pre-alpini con direzione OSO-ENE. Si registrano solo 3 eventi con Ml ≥ 4 avvenuti rispettivamente nelle prossimità del M.te Baldo (2011), Grezzana (2012) e nel Golfo di Venezia, a mare (1997). Nessun evento strumentalmente registrato in Veneto ha superato, negli ultimi 20 anni, la Ml di 4.4.

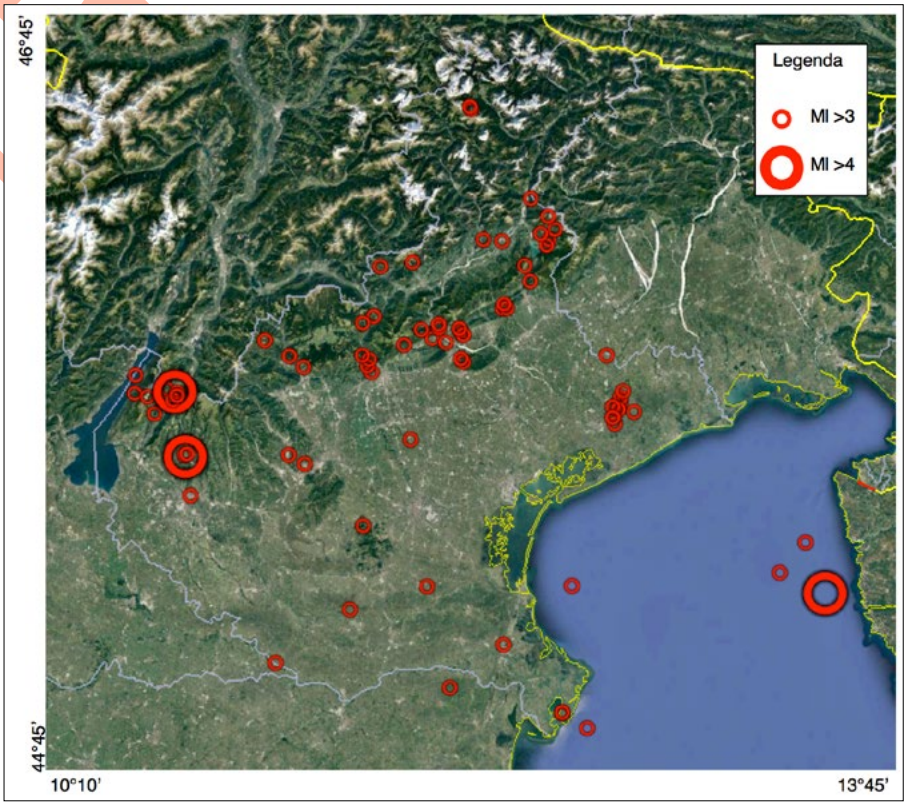


Figura 4 – Eventi sismici strumentalmente registrati in Veneto nel periodo 1997-2017 dalla rete sismometrica del CRS-OGS con Ml ≥ 3 (www.crs.inogs.it)

3. EVENTI PIÙ SIGNIFICATIVI

Sulla base dell'analisi della sismicità storica e di quella strumentale, sono stati individuati gli eventi più significativi che hanno interessato il territorio Veneto. La *Fig.* 5 mostra i terremoti più significativi dell'area veneta e immediate vicinanze ed il relativo anno di accadimento limitatamente ai terremoti con Magnitudo stimata (o registrata) ≥ 5.5 e con accreditati riferimenti incrociati nei database nazionali.

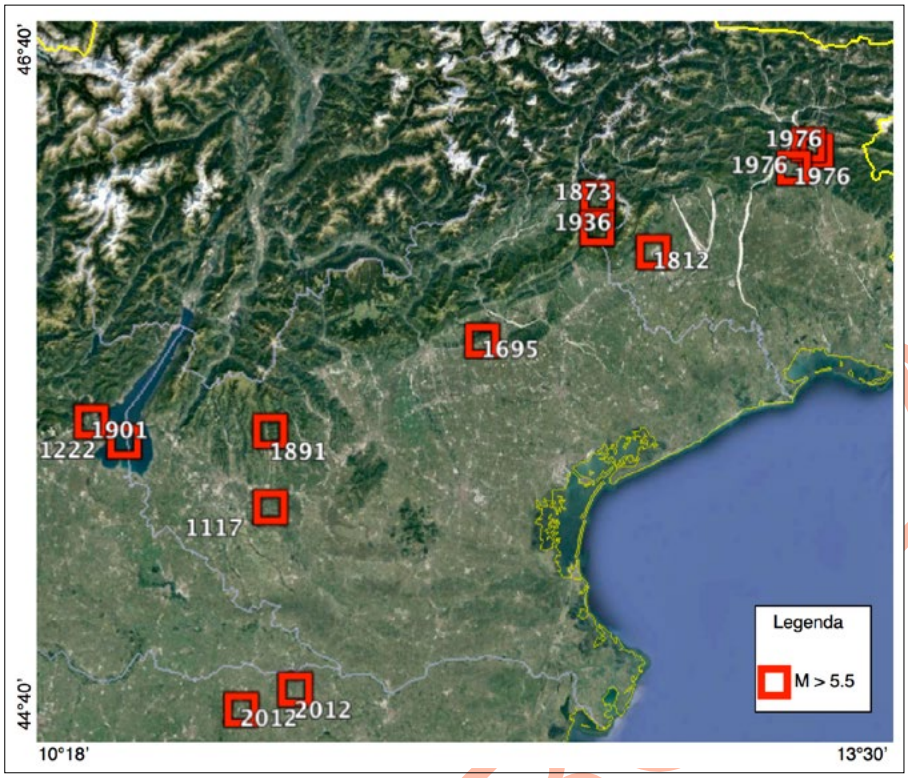


Figura 5 – Terremoti con M ≥ 5.5 che hanno interessato il territorio Veneto e zone limitrofe con relativo anno di accadimento

Si possono individuare 10 forti terremoti che hanno avuto effetti distruttivi sul territorio veneto (si rimanda alla letteratura citata per approfondimenti):

- Terremoto di Verona 1117; si tratta dell'evento più forte avvenuto nel Nord Italia (Guidoboni *et al.* 2005). È un terremoto la cui localizzazione è ancora dibattuta (Boschi *et al.* 1995, 1997; Giorgetti and Iaccarino 1997) che ebbe effetti devastanti in tutta l'area raggiungendo magnitudo per alcuni autori prossime a 7 (Bernardis *et al.* 1977). Approfonditi studi recenti hanno verificato come gli effetti siano dovuti alla concomitanza di più eventi (Guidoboni e Comastri 2005). Esso venne avvertito anche in buona parte dell'Europa centrale e fu causa di sconvolgimenti economico/sociali (Guidoboni e Boschi 1991).
- Terremoto del Bresciano/Veronese 1222; evento localizzato nella zona occidentale del Lago di Garda di cui risentì il territorio veronese (Guidoboni *et al.* 2007).
- Terremoto di Asolo 1695; il terremoto interessò l'alto trevigiano a sud del Monte Grappa con distruzioni gravissime in più di 30 centri abitati. La scossa fu avvertita anche da territori emiliani e lombardi sino a Varese. Provocò centinaia di morti, acuendo una crisi economica già in corso e causando lo spopolamento di diversi centri (Guidoboni *et al.* 2007).
- Terremoto di Asolo 1836; non causò vittime ma danni gravi agli abitati dell'asolano e risentimenti forti a Bassano del Grappa (Guidoboni *et al.* 2007).
- Terremoto dell' Alpago/Cansiglio 1873; l'area più colpita comprendeva la zona del Lago di Santa Croce e la conca dell'Alpago, danneggiando in maniera anche rilevante il capoluogo Belluno. Il terremoto provocò diversi crolli e causò 80 morti e decine di feriti (Guidoboni *et al.* 2007).
- Terremoto della Valle dell'Illasi 1891; interessò tutta l'area dei Lessini con effetti gravi nella zona prealpina veronese e vicentina. Diversi crolli furono registrati a Castelvero, mentre danni minori coinvolsero anche Verona (Guidoboni *et al.* 2007).
- Terremoto di Salò 1901; generò danni moderati ma diffusi in tutta l'area gardesana (Camassi *et al.* 2011).
- Terremoto del Cansiglio 1936; ebbe i suoi massimi effetti a sud dell'altopiano del Cansiglio con numerosi crolli totali e diffusi crolli che resero gran parte degli edifici inabitabili. Gravissimi danni furono registrati nella conca d'Alpago: dal 50 al 70% delle case divennero inabitabili nei centri di Puos d'Alpago, Cornei e Villa. La scossa fu avvertita in tutto il distretto Nord-Orientale e leggeri danni furono registrati anche in distanti capoluoghi come Bolzano e Venezia (Guidoboni *et al.* 2007).
- Terremoto del Friuli 1976; il più forte evento strumentalmente registrato dell'Italia Nord-Orientale. La sequenza comprendeva 6 scosse principali, di cui 3 con magnitudo ≥ 5.5. Avvertito con forza in tutto il Nord-Italia, causò 990 vittime, più di 100.000 sfollati e decine di migliaia di crolli (Boschi *et al.* 2000; Aoudia *et al.* 2000; Peruzza *et al.* 2002).
- Terremoto d'Emilia 2012; importante sequenza sismica che ha recentemente interessato il territorio di Modena-Ferrara, con forti risentimenti in tutto il Nord-Italia. Si sono susseguite decine di scosse con magnitudo ≥ 4 tra maggio e giugno causando 27 vittime e ingenti danni. Nel territorio veneto le 2 scosse principali, con magnitudo di 5.9 e 5.8 rispettivamente, hanno generato forti risentimenti e danni nella provincia meridionale di Rovigo (Anzidei *et al.* 2012).

4. LE ZONE SISMOGENETICHE VENETE

Sulla base della sismicità storica e strumentale, integrata con le conoscenze tettoniche, possono essere identificate le strutture responsabili dei terremoti di maggior intensità. Il gruppo di lavoro del Database of Individual Seismogenic Sources dell'INGV ha individuato su scala nazionale le zone sismogenetiche capaci di terremoti con magnitudo > 5.5 (Basili *et al.* 2008; Diss working group 2015). Si considerano qui le zone sismogenetiche che interessano più specificatamente il Veneto (rappresentate in *Fig.* 6, sovrapposte allo schema strutturale di *Fig.* 1) relative a sistemi di faglie profondi ritenuti in grado di liberare energie rilevanti. Ai fini della pericolosità locale sarà necessario valutare anche i sistemi di faglie attive minori nonché le faglie superficiali capaci, ovvero faglie attive in grado di produrre una significativa deformazione tettonica permanente in superficie (IAEA 2010).

Nel territorio veneto sono state identificate e classificate 8 principali zone sismogenetiche capaci di generare forti terremoti (si rimanda alla letteratura citata per approfondimenti):

- Area Veronese. È considerata la zona sismogenetica del terremoto del 1117. Si tratta di una zona anomala ed in fase di intenso studio poiché potrebbe non essere associata nè ai noti sistemi di sovrascorrimento sepolti delle strutture appenniniche nè a quelli dei sovrascorrimenti frontali delle Alpi Meridionali (Vannoli *et al.* 2015, Burrato *et al.* 2003).
- Monte Baldo. La zona appartiene al fronte più esterno dei sovrascorrimenti del sistema delle Giudicarie. Questa sorgente è ipotizzata su un piano di sovrascorrimen-

to con vergenza S-SE, ed è considerata essere stata la causa di almeno 9 eventi con Mw compresa tra 4.6 e 5.2 negli ultimi 2 secoli (Castaldini and Panizza, 1991).

- Thiene-Cornuda. La zona è il segmento più occidentale del complesso sistema di sovrascorrimenti delle Alpi Meridionali che accomodano la convergenza N-S tra microplacca adriatica e della placca europea. La sua attività è testimoniata da evidenze geomorfologiche e strutturali (Galadini *et al.* 2005); si stima che questo sistema di faglie sia capace di terremoti con Mw > 6 (Castaldini and Panizza 1991).
- Thiene-Bassano. La zona sismogenica Thiene-Bassano è un segmento del lungo sistema di sovrascorrimenti che borda l'alta pianura veneta e friulana, ed è interrotta ad est da strutture trasversali. Diverse evidenze geomorfologiche testimoniano l'attività della zona come il sollevamento di terrazzi fluviali, valli abbandonate e scarpate di natura tettonica (Galadini *et al.* 2005)
- Bassano-Cornuda. Alcuni autori (Poli *et al.* 2008, Galadini *et al.* 2005) considerano la zona sismogenica Bassano-Cornuda come responsabile del terremoto di Asolo del 1695. La zona è in linea con la zona Thiene-Bassano e appartiene al sistema di sovrascorrimenti con orientazione OSO-ENE.
- Bassano-Vittorio Veneto. Questa zona sismogenetica comprende il fronte di faglie che si estende al margine delle Prealpi sino a Belluno, con orientamento parallelo alla catena (Basili *et al.* 2008).
- Montello. Si tratta di una struttura tettonicamente attiva a cui sono stati attribuiti diversi terremoti storici con Mw > 5 (Benedetti *et al.* 2000). La scarsa sismicità espressa e le forti incertezze degli eventi del passato suggeriscono che il sovrascorrimento del Montello possa essere un'unica grande sorgente silente capace però di generare forti terremoti (Galadini *et al.* 2005, vedi cap. 4.1)
- Cansiglio. A quest'area sismogenetica è attributo l'evento sismico di Bosco del Cansiglio del 1936. Le medesime zone sono state interessate anche dal forte terremoto bellunese del 1873, la cui localizzazione è più incerta. L'area del Cansiglio è ritenuta essere un segmento dell'esteso sistema di sovrascorrimenti delle Prealpi friulano-venete (Galadini *et al.* 2005; Peruzza *et al.* 1989).

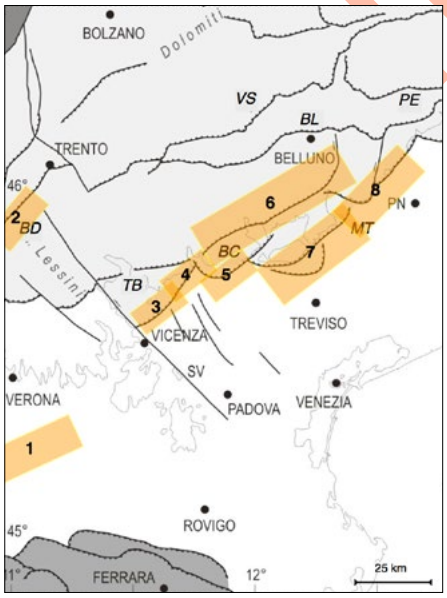


Figura 6 – Le principali zone sismogenetiche del territorio Veneto sovrapposte allo schema strutturale di Figura 1 (Poli 2008 mod.). 1) Area Veronese; 2) Monte Baldo, 3) Thiene-Cornuda; 4) Thiene-Bassano; 5) Bassano-Cornuda; 6) Bassano-Vittorio Veneto; 7) Montello; 8) Cansiglio

4.1 La zona sismogenetica del Montello

La zona sismogenetica del Montello rappresenta una delle strutture principali del settore orientale delle Alpi Meridionali (Galadini *et al.* 2005, 2008). Il rilievo del Montello è difatti una struttura di origine tettonica, tuttora attiva, come dimostrano numerose evidenze geomorfologiche e geodinamiche. Il rilievo si estende per circa 15 km in lunghezza e 5 km di larghezza con orientamento NE-SO. Si tratta di una anticlinale generatasi per deformazione lungo un sistema di sovrascorrimento sud-vergente, legato alle spinte della microplacca adriatica. Simili strutture tettoniche sono già note in aree di convergenza al piede di catene montuose in Asia ed in America (Benedetti *et al.* 2000). Lo studio cronologico di numerosi ordini di terrazzi fluviali pleistocenici, supportato da datazioni al C^{14} (Benedetti *et al.* 2000), ed associato a misurazioni geodetiche delle deformazioni (Burrato *et al.* 2009; Danesi *et al.* 2015) hanno quantificato i tassi di sollevamento e scorrimento in 0.5-1 mm/anno e 1.8-2 mm/anno rispettivamente. Alla crescita dell'anticlinale è attribuita la deviazione del fiume Piave (Comel 1955), che percorreva il versante occidentale della collina (con evidenze, secondo certi autori, ancora in Età Romana - Benedetti *et al.* 2000). Alcuni autori considerano il sovrascorrimento del Montello come separato in più segmenti (DISS v3.02) mentre altri (Galadini *et al.* 2005) lo considerano come una sorgente potenzialmente unica, collocabile a 11km di profondità, capace generare eventi di magnitudo sino a 6.7. Benedetti *et al.* (2000) attribuiscono al sovrascorrimento del Montello gli importanti terremoti storici del 778, del 1268 e le del 1859 (Tab.1 dal catalogo CFTI-med 4.0). Considerando un tasso di scorrimento di 1.8-2 mm/anno e la struttura della sorgente, eventi di magnitudo 5.5- 6.5 suggerirebbero periodi di ritorno compresi tra i 500 ed i 1000 anni, compatibili con gli eventi descritti. Tuttavia le significative incertezze e la scarsità documentale degli eventi citati rendono molto difficile la loro corretta attribuzione alla sorgente principale del Montello. In particolar modo questi terremoti con Mw > 5 sono stati attribuiti alla parte più occidentale del sovrascorrimento (Benedetti *et al.* 2000), mentre alla parte più orientale in direzione Conegliano non sembrano attribuibili eventi tellurici (Galadini *et al.* 2005). Rimane quindi complesso valutare se la sorgente sia da ritenere composta da più segmenti, oppure quanto la struttura sia in grado di accomodare asismicamente gli stress di convergenza. Nella prima ipotesi la sorgente sismogenetica del Montello sarebbe caratterizzata da terremoti di media entità più frequenti, che suggeriscono una rottura parziale della struttura. In alternativa il sovrscorrimento principale Montello-Conegliano rappresenterebbe la struttura silente più importante del Nord-Est, ovvero un importante sistema sismogenico con tempi di ricorrenza molto lunghi (Benedetti *et al.* 2000; Burrato *et al.* 2009; Ferrarese *et al.* 1998; Danesi *et al.* 2015; OMBRA 2011).

5. CONCLUSIONI

Dall'analisi dei terremoti storici e strumentali si evince come il territorio veneto sia da considerarsi sismico nella sua interezza. La sismicità più intensa si registra nel settore pre-alpino in direzione OSO-ENE dove si concentrano gli scorrimenti sud-vergenti delle Alpi Meridionali orientali, ma gli effetti dei forti terremoti storici sono stati risentiti ovunque, comprese le principali città. Il territorio veneto è stato infatti direttamente interessato nel passato da forti terremoti che, come riportato da diverse fonti storiche, hanno provocato ingenti danni in tutta la regione. In tempi più recenti il territorio Veneto non è stato scosso da forti eventi tellurici aventi epicentro nel proprio territorio, ma ha subito gli effetti dei terremoti accaduti nei territori limitrofi, quali le crisi sismiche del Friuli e dell'Emilia. Sulla base delle conoscenze tettoniche acquisite si stima l'esistenza in Veneto di diverse strutture sismogenetiche capaci di magnitudo > 5.5, a cui appartengono faglie in grado di liberare forti energie caratterizzate da tempi di ritorno medio-lunghi. In questo contesto appare palese come le politiche di prevenzione del rischio vadano intese sia come interventi di corretta progettazione e messa in sicurezza degli edificati esistenti, spesso vulnerabili, sia come supporto al monitoraggio dell'attività sismica ed agli studi sismologici in grado di meglio inquadrare la pericolosità regionale.

RINGRAZIAMENTI

Un ringraziamento particolare al prezioso lavoro degli Enti di Ricerca preposti al monitoraggio ed allo studio della sismicità in Italia quali INGV e OGS che, spesso grazie al fondamentale contributo di ricercatori precari, forniscono quotidianamente strumenti di elevata qualità al mondo della ricerca e della professione. Ringrazio inoltre S. Martin, A. Vigano e M. Garbin per le costruttive indicazioni.

UBOZEN

BIBLIOGRAFIA

Anzidei M., Maramai A., Montone, P. (Eds.) (2012), *Special Issue on "The Emilia (northern Italy) seismic sequence of May–June, 2012: preliminary data and results*", Ann. Geophys., 55, 515- 842.

Aoudia A., Saraò A., Bukchin B., Suhadolc P. (2000), *The 1976 Friuli (NE Italy) Thrust Faulting Earthquake: A Reappraisal 23 Years Later.* Geophysical Research Letters, Vol. 27, No. 4, 577-580

Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M.M., Boschi, E., (2008), *The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology.* Tectonophysics 453, 20-43.

Benedetti L., Tapponnier P., King G.C.P., Meyer B., Manighetti I., (2000), *Growth folding and active thrusting in the Montello region, Veneto, northern Italy.* J. Geophys. Res. 105, 739–766.

Bernardis G., Giorgetti F., Nieto D., Slejko D. (1977), *Earthquakes Catalogue for Eastern Alps Region*, 74 pp., Centro di calcolo dell'Univ. di Trieste, Trieste, Italy.

Boccaletti M., Coli M., Eva C., Ferrari G., Giglia G., Lazzarotto A., Merlanti F., Nicolich R., Papani G., Postpischl D. (1985), *Considerations on the seismotectonics of the Northern Apennines.* Tectonophysics 117 (1), 7-38.

Boschi, E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G., Gasperini P. (eds) (2000), *Catalogue of Strong Italian Earthquakes*, Ann. Geofis., 43 (4), pp. 268, with database on CD-ROM (CFTI3).

Boschi, E., Guidoboni E., Ferrari G., Valensise G., Gasperini P. (eds) (1997), *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 A.C. al 1990* (ING, Roma - SGA, Bologna), pp. 644, with database on CD-ROM (CFTI2).

Boschi, E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G., Valensise G. (eds) (1995), *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980* (ING, Roma - SGA, Bologna), pp. 973, with database on CD-ROM (CFTI1).

Burrato, P., Ciucci, F., Valensise, G., (2003), *An inventory of river anomalies in the Po Plain: evidence for active blind thrust faulting.* Ann. Geophys. 46 (5), 865-882.

Burrato, P., De Martini, P.M., Poli, M.E., Zanferrari, A., (2009), *Geometric and kinematic modelling of the thrust fronts in the Montello–Cansiglio area from geologic and geo- detic data (Eastern South Alpine Chain, NE Italy).* Rend. Online Soc. Geol. Ital. 5, 48-50.

Burrato, P., De Martini P.M., Poli M.E., Zanferrari A. (2009), *Geometric and kinematic modeling of the thrust fronts in the Montello-Cansiglio area from geologic and geodetic data (Eastern Southalpine Chain, NE Italy).* Rendiconti online Serv. Geol. It., 5, 48-50.

Camassi R., Rossi A., Tertulliani A., Pessina V., Caracciolo C. H. (2011), *Il terremoto del 30 ottobre 1901 e la sismicità del versante occidentale del Garda.* Quaderni di Geofisica N.88 ISSN 1590-2595.

Caporali A., Martin S. (2000), *First results from GPS measurements on present day alpine kinematics.* J.Geodynamics, 30, 275-283.

Caporali, A., Martin S., Massironi M. (2003), *Average strain rate in the Italian crust inferred from a permanent GPS network - II. Strain rate versus seismicity and structural geology*, Geophys. J. Int., 155, 254-268.

Castaldini, D., Panizza, M. (1991), *Inventario delle faglie attive tra i fiumi Po e Piave e il Lago di Como (Italia settentrionale).* Il Quaternario, 4, 333-410.

D'Agostino N., Cheloni D., Mantenuto S., Selvaggi G., Michelini A. and Zuliani D. (2005), *Strain accumulation in the southern Alps (NE Italy) and deformation at the northeastern boundary of Adria observed by CGPS measurements.* Geophys. Res. Lett., 32, 19, doi:10.1029/2005GL024266.

Danesi S., Pondrelli S., Salimbeni S., Cavaliere A., Serpelloni E., Danecek P., Lovati S.,Massa M.; (2015), *Active deformation and seismicity in the Southern Alps (Italy), The Montello hill as a case study.* Tectonophysics, 653, 95-108, doi. org/10.1016/j.tecto.2015.03.028.

Doglioni, C., (1990), *Thrust tectonics examples from the Venetian Alps*, Stud. Geol. Cam., spec. vol. 1990, 117-129.

Doglioni, C., (1992), *The Venetian Alps thrust belt,* in Thrust Tectonics, pp. 319–324, ed. McKlay, K.R., Chapman and Hall, London.

Ferrarese, F., Sauro U., Tonello C. (1998), *The Montello Plateau. Karst evolution of an alpine neotectonic morphostructure.* Z. Geomorphol., Suppl. Bd. 109, 41-62.

Galadini, F., Poli, M.E., Zanferrari, A. (2005), *Seismogenic Sources Potentially Responsible For Earthquakes With M ≥ 6 in the Eastern Southern Alps (Thiene-Udine Sector, NE Italy).* Geophysical Journal International, 161, 739-762.

Grenerczy, G., Sella, G., Stein, S., Kenyeres, A., (2005), *Tectonic implications of the GPS velocity field in the northern Adriatic region.* Geophys. Res. Lett. 32.

Guidoboni E., Ebel J.E. (2009), *Earthquakes and Tsunamis in the Past: A Guide to Techniques in Historical Seismology.* Cambridge University Press.

Guidoboni E., Boschi E., (1991), I *grandi terremoti medievali in Italia.* Le Scienze - Quaderni, 59, 31-43.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007), *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500).* INGV-SGA. Available from http://storing.ingv.it/cfti4med/.

Guidoboni, E., Comastri A., Boschi E. (2005), *The "exceptional" earthquake of 3 January 1117 in the Verona area (northern Italy): A critical time review and detection of two lost earthquakes (lower Germany and Tuscany).* J. Geophys. Res., 110, B12309.

Guidoboni, E., Comastri A. (2005), *Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th century*, vol. 2, INGV-SGA, Bologna 2005, 1037 pp.

IAEA (International Atomic Energy Agency) (2010), Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, Chapter 8: Potential for Fault Displacement at the Site, Specific Safety Guide No. SSG-9, 978-92-0-102910-2.

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016), *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database.* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15.

Martin S., Castiglion G., Lafuenti L., Boaga J., Agnini C., Zorzi F., Monego M., Fedrizzi F., Viganò A., *Paleotectonics in the Euganean Hills (Venetian Region)*, Prooceding of Gruppo Italiano di Geologia Strutturale - GIGS annual conference 2017, Padova 10-13 July 2017.

OMBRA project group, Cavaliere, A., Danecek, P., Salimbeni, S., Danesi, S., Pondrelli, S., Serpelloni, E., Augliera, P., Franceschina, G., Lovati, S., Massa, M., Maistrello, M., Pessina, V., (2011), *OMBRA: observing Montello broad activity deployment of a temporary seismic network to study the deformation process across Montello faults (Eastern Alps).* Rapporto Tecnico INGV, n. 180 (http://portale.ingv.it/produzione-scientifica/rapporti- tecnici-ingv/copy_of_numeri-pubblicati-2011).

Peruzza, L., Iliceto, V., Slejko, D., (1989), *Some seismotectonic aspects of the Alpago–Cansiglio area (N.E. Italy).* Boll. Geofis. Teor. Appl. 31, 63-75.

Peruzza, L., Poli, M.E., Rebez, A., Renner, G., Rogledi, S., Slejko, D., Zanferrari, A., (2002), *The 1976-1977 seismic sequence in Friuli: new seismotectonic aspects.* Mem. Soc. Geol. Ital. 57, 391-400.

Poli, M.E., Burrato, P., Galadini, F., Zanferrari, A., (2008), *Seismogenic sources responsi- ble for destructive earthquakes in north-eastern Italy.* Boll. Geofis. Teor. Appl. 49, 301-313.

Priolo E. (a cura di) (2007), *Regione Veneto - Gestione della rete di controllo sismico, studio della sismicita` regionale e ricerca sismologica a fini di protezione civile,* Relazione 2008–OGS043–CRS006–SIRE.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), (2016), *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes.* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15.

Sauro U. and Zampieri D.; (2001), *Evidence of recent surface faulting and surface rupture in the fore-Alps of Veneto and Trentino (NE Italy).* Geomorphology, 40, 169-184.

Scissiani V. Calamita F. (2009), *Active intraplate deformation within Adria: Examples from the Adriatic region*, Tectonophysics 476 (2009) 57-72.

Serpelloni E., Anzidei M., Baldi P., Casula G., Galvani A., (2005), *Crustal velocity and strain-rate fields in Italy and surrounding regions: new results from the analysis of permanent and non-permanent GPS networks.* Geophys. J. Int. 161, 861-880.

Slejko, D., Carulli, G., Carraro, F., Castaldini, D., Cavallin, A., Doglioni, C., Iliceto V., Nicolich R., Rebez R., Semenza E., Zanferrari A., Zanolla C., (1987), *Modello sismotettonico dell'Italia nord- orientale.* TRIESTE – ITA: CNR.

Slejko D., Neri G., Orozova I., Renner G., Wyss M., (1999), *Stress field in Friuli (NE Italy) from fault plane solutions of activity following the 1976 main shock*, Bull. seism. Soc. Am., 89, 1037-1052.

Vannoli P., Burrato P., Valensise G. (2015), *The seismotecton- ics of the Po Plain (northern Italy): tectonic diversity in a blind faulting domain.* Pure Appl. Geophys., 172, 1105-1142

Viganò A., Scafidi D., Martin S., Spallarossa S. (2013), *Structure and properties of the Adriatic crust in the central-eastern Southern Alps (Italy) from local earthquake tomography.* Terra Nova 25 (6), 504-512.

Zampieri D., Massironi M., Sedea R., Sparacino V., (2003), *Strike-slip contractional stepovers in the Southern Alps (northeastern Italy),* Eclogae Geol. Helv., 96, 115-123.

BOZZA

Il rischio sismico in Toscana e la microzonazione sismica

Seismic hazard and microzonation in Tuscany

Massimo Baglione
Geologo, Regione Toscana – Settore sismica, Ufficio Prevenzione Sismica
E-mail: massimo.baglione@regione.toscana.it

Pierangelo Fabbroni
Geologo, Regione Toscana – Settore sismica, Ufficio Prevenzione Sismica
E-mail: pierangelo.fabbroni@regione.toscana.it

Vittorio d'Intinosante
Geologo, Regione Toscana – Settore sismica, Ufficio Prevenzione Sismica
E-mail: vittorio d'intinosante@regione.toscana.it

Parole chiave (*key words*): microzonazione sismica (seismic microzonation), fattore di amplificazione (amplification factor), analisi di risposta sismica (ground response analyses), rischio sismico (seismic hazard), spettro di risposta elastico (elastic response spectra)

PREMESSA

La previsione di un terremoto, allo stato delle conoscenze attuali, non è un obiettivo perseguibile.

Per la riduzione degli effetti distruttivi che un terremoto produce sulla popolazione e sul patrimonio edilizio esistente, è invece indispensabile attuare un'adeguata politica di prevenzione del rischio sismico, basata su una strategia che tenga conto delle priorità, dei finanziamenti disponibili e che miri alla definizione di un quadro conoscitivo sufficientemente approfondito sia sui terreni che sul patrimonio edilizio presente.

Inoltre, qualsiasi strategia di prevenzione del rischio sismico non potrà essere completa senza una adeguata campagna di informazione rivolta alla popolazione e una politica formativa rivolta alle scuole, ai tecnici, ai professionisti.

La Regione Toscana ormai da numerosi anni attua una serie di iniziative di prevenzione sismica che la pongono all'avanguardia nel panorama nazionale in questo settore.

L'obiettivo generale che la Regione Toscana si prefigge è quello di proseguire con l'attuazione di una politica di prevenzione sismica mediante una serie di attività specifiche volte:

- all'aggiornamento del quadro delle conoscenze sul rischio sismico, mediante lo studio e il monitoraggio dell'attività sismica, la classificazione sismica del territorio e l'effettuazione di indagini conoscitive e verifiche sui terreni e sugli edifici;
- al miglioramento del patrimonio edilizio esistente, affinché non subiscano danni in caso di terremoto, mediante indicazioni, regolamenti tecnici e linee guida di progettazione;
- all'informazione alla popolazione e a campagne di formazione, mediante pubblicazioni e corsi specifici per studenti e operatori del settore.

Con la Legge Regionale n° 58 del 16 ottobre 2009, la Regione Toscana ha approvato le "Norme in materia di prevenzione e riduzione del rischio sismico".

Il principio ispiratore di tali norme è garantire la maggiore sicurezza delle persone e dei beni, mediante un insieme di interventi atti ad eliminare o ridurre il livello di rischio sismico del territorio.

Un'importante attività che contribuisce al raggiungimento delle finalità della legge è lo studio, l'analisi e la ricerca sul rischio sismico.

Tale attività, che ai sensi dell'articolo 3 della l.r. 58/2009 è effettuata dalla struttura regionale competente, consiste nel:

a) monitorare il livello di sismicità del territorio regionale e i parametri precursori ad essa connessi, attraverso la realizzazione ed il monitoraggio continuo di reti di tipo sismometrico, accelerometrico, geodetico e geochimico;
b) compiere indagini ed analisi di microzonazione sismica per la valutazione degli effetti locali nei centri urbani e sugli edifici strategici e rilevanti;
c) compiere indagini e studi di valutazione sulla vulnerabilità sismica dei centri urbani ed, in particolare, sugli edifici strategici e rilevanti.

Tali attività sono riassunte nel Documento Conoscitivo del Rischio Sismico, aggiornato con Deliberazione di G.R.T. n. 1271 del 12/12/2016 che contiene la sintesi dello stato di conoscenze sul rischio sismico in Toscana e sulle attività di prevenzione sismiche realizzate ed in corso.

Sulla base dei contenuti e delle criticità evidenziate all'interno del Documento conoscitivo, la Giunta Regionale approva annualmente il Documento Operativo per la Prevenzione Sismica (DOPS), che rappresenta lo strumento di programmazione economica-finanziaria all'interno del quale sono contenute le risorse per la realizzazione delle attività di prevenzione sismica.

IL RISCHIO SISMICO IN TOSCANA

La Regione Toscana con le nuove "Norme per il governo del territorio", approvate con L.R. 5/2014, si pone come obiettivo prioritario la valorizzazione del patrimonio territoriale e paesaggistico per uno sviluppo regionale sostenibile e durevole, il contrasto del consumo di suolo promuovendo il suolo multifunzionale del territorio rurale, e lo sviluppo della partecipazione come componente ordinaria delle procedure di formazione dei piani.

All'interno dei contenuti previsti dalla presente legge, vengono introdotte una serie di indicazioni specifiche rivolte alla formazione dei piani strutturali e dei piani operativi in merito alla prevenzione e mitigazione dei rischio idrogeologico e sismico. Si prevede inoltre che il piano di protezione civile costituisca parte integrante del piano operativo comunale.

In merito alla prevenzione del rischio sismico, all'art.104 vengono enunciate le disposizioni per la valutazione, nell'ambito della predisposizione degli strumenti urbanistici, della pericolosità sismica, del rischio sismico e delle misure di mitigazione del rischio stesso.

Si prevede, infatti, come il piano strutturale sia uno strumento di verifica della pericolosità del territorio per gli aspetti sismici, al cui interno debbano essere evidenziate le aree che risultano esposte al rischio con particolare riferimento alle aree urbanizzate, alle infrastrutture e alle trasformazioni. Inoltre il Piano Operativo diventa lo strumento utile per la definizione delle condizioni di fattibilità degli interventi di trasformazione e delle modalità di attuazione delle misure di mitigazione dei rischi in funzione delle trasformazioni previste.

In sintesi quindi si parla per la prima volta di "gestione del rischio sismico" e non più solo di pericolosità sismica.

Nell'ambito del Regolamento regionale, in corso di redazione, previsto dal precedente art.104 nel rispetto dei criteri definiti nel presente articolo, saranno definiti in dettaglio i criteri per la stima della pericolosità sismica, i criteri per la stima del rischio sismico e le modalità di utilizzo di tali strumenti nell'ambito della pianificazione territoriali con il duplice obiettivo di aumentare il livello di conoscenza del rischio sismico sul territorio e programmazione azioni di mitigazione del rischio sismico nell'ambito della pianificazione territoriale.

ANTEPRIMA

LA MICROZONAZIONE SISMICA PER LA PIANIFICAZIONE E LA PROGETTAZIONE EDILIZIA

Gli studi di microzonazione sismica vengono realizzati sulla base delle indicazioni fornite dagli Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica (di seguito ICMS), approvati dalla Conferenza delle Regioni in data 13 novembre 2008. Gli ICMS hanno il merito di aver omogeneizzato le metodologie di studio e le procedure (sia sotto il profilo formale sia sostanziale), creando un modus operandi condiviso nel panorama nazionale di settore.

Tale documentazione nazionale rappresenta un utile documento per gli studi e le analisi relative alla microzonazione sismica (MS), applicabile ai settori della programmazione territoriale, della pianificazione urbanistica, della pianificazione dell'emergenza e della normativa tecnica per la progettazione.

La MS è recepita a livello normativo da tutte le Regioni, che vincolano l'approvazione dei piani alla preventiva realizzazione e valutazione degli studi di MS; sono state predisposte o si stanno predisponendo linee guida specifiche per la gestione del territorio in aree interessate da instabilità cosismiche (fagliazione superficiale, fenomeni di liquefazione, instabilità di versante) condivise e approvate dalla Conferenza delle Regioni e Province autonome.

Infine, sono state sviluppate applicazioni della MS per la riduzione del rischio per finalità di protezione civile, come l'analisi della Condizione Limite per l'Emergenza (CLE) e la microzonazione sismica compare tra gli elementi considerati fondamentali, a livello nazionale, nei programmi standard di riduzione del rischio sismico.

La Microzonazione Sismica permette di valutare in forma qualitativa e/o quantitativa le modificazioni apportate allo scuotimento del suolo dalle condizioni geologico-tecniche locali e dalle condizioni topografiche locali. Tale attività rientra in un quadro più generale nei programmi di prevenzione e di mitigazione degli effetti di un terremoto, in cui è necessario individuare in via preliminare con criteri speditivi le zone a più elevato rischio sismico da sottoporre a studi particolareggiati.

A tale riguardo, la normativa di riferimento consente di valutare gli effetti locali di amplificazione del moto sismico sia in modo semplificato, sia con modalità analitiche più rigorose (RSL). Uno degli aspetti più importanti di queste normative è quello di definire e di valutare l'amplificazione sismica dei terreni sulla base della definizione del parametro Vs, cioè della velocità delle onde di taglio.

In questa direzione già da diversi anni (Ferrini *et al.*, 2007) si è mossa la Regione Toscana attraverso il Programma di Valutazione degli Effetti Locali (VEL), nell'ambito del quale sono state migliorate e/o sviluppate metodologie di valutazione degli effetti locali basate su misure sistematiche delle velocità delle onde sismiche trasversali effettuate con varie tecniche (sismica a rifrazione e riflessione con onde di taglio, prove down-hole, etc...).

Nei citati ICMS vengono definite le procedure, le metodologie di analisi al fine di individuare e caratterizzare le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazione locale del moto sismico e le zone suscettibili di instabilità.

Nello specifico la MS individua e caratterizza:

- le "Zone Stabili": aree nelle quali non si ipotizzano effetti locali di alcuna natura (litotipi assimilabili al substrato sismico in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata) e, pertanto, gli scuotimenti attesi sono equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità di base;
- le "Zone stabili suscettibili di amplificazione sismica", in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- le "Zone suscettibili di instabilità", ovvero zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazioni superficiali).

Gli studi di MS rivestono una notevole importanza nella pianificazione territoriale, fornendo una base conoscitiva della pericolosità sismica locale, al fine di stabilire gerarchie di pericolosità utili per la programmazione di interventi di riduzione del rischio sismico a varie scale, orientare la scelta di aree per nuovi insediamenti, definire gli interventi ammissibili in una determinata area, programmare le indagini e i livelli di approfondimento, stabilire orientamenti, modalità e priorità di intervento nelle aree urbanizzate.

In generale la realizzazione di una studio di MS può essere affrontata con diversi livelli di approfondimento che vengono dettati dalle finalità (pianificazione territoriale, pianificazione per l'emergenza, progettazione delle opere), dalle necessità intrinseche del sito (caratteristiche geomorfologiche, importanza delle opere da realizzare) e dei livelli di pericolosità.

In relazione ai diversi contesti geologico-tecnici, alla pericolosità sismica di base ed in funzione dei diversi obiettivi degli studi di MS, possono essere effettuati n. 3 livelli di approfondimento, con complessità e impegno economico crescente.

In particolare possono essere predisposti i seguenti livelli:

- il livello 1 è un livello propedeutico ai successivi studi di MS, che consiste esclusivamente in una raccolta organica e ragionata di dati di natura geologica, geofisica e geotecnica e delle informazioni preesistenti e/o acquisite appositamente al fine di suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee dal punto di vista del comportamento sismico. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della carta delle "Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)";
- il livello 2 è un livello successivo in cui si introduce l'elemento quantitativo associato alle zone omogenee mediante metodologie di analisi numerica di tipo semplificato (abachi regionalizzati, modellazione 1D, leggi empiriche) e l'esecuzione di ulteriori e più mirate indagini. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della "Carta di Microzonazione Sismica";
- il livello 3 rappresenta il livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione approfondita del territorio basata su metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della "Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti".

Ad oggi, mediante i finanziamenti nazionali di cui alla Legge n. 77/2009 art. 11 (e stanziati con successive ordinanze a partire dal 2010 e fino al 2017), la diffusione degli studi di MS è in costante ascesa su tutto il panorama nazionale.

La Regione Toscana ha potuto beneficiare, come le altre regioni e province autonome, dei finanziamenti di provenienza statale (previsti dall'art.11 della legge 77 del 24 giugno 2009 e suddivisi in 7 annualità) che disciplinano i contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico, tra cui un canale specifico finalizzato agli studi di microzonazione sismica a livello comunale.

Tali finanziamenti nazionali, unitamente agli studi di MS che i Comuni hanno realizzato autonomamente ai sensi del Regolamento Regionale 53R/2009, hanno permesso alla Regione Toscana di poter disporre ad oggi di numerosi studi di microzonazione sismica, prevalentemente di Livello 1, già realizzati su oltre il 65% dei comuni toscani, come è possibile evincere in Fig.1 e Tab.1.

Si tratta, per la maggior parte di essi, di comuni ubicati nelle zone a maggior pericolosità del territorio regionale. Inoltre, per 12 di questi comuni è già stato realizzato anche lo studio di microzonazione sismica di terzo livello (MS3) per il capoluogo ed eventualmente le principali frazioni (Baglione *et al.*, 2015).

UBOZZA

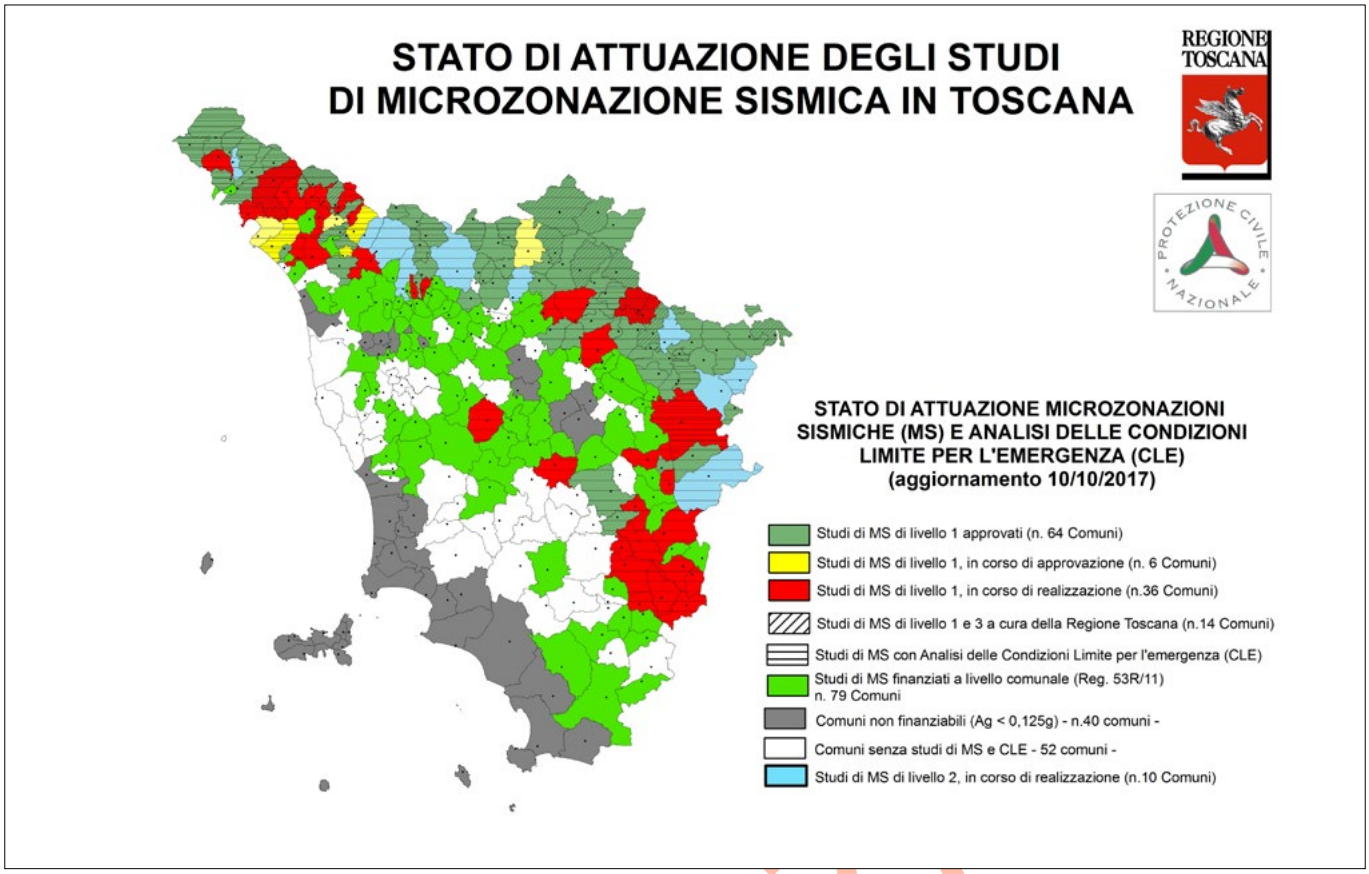


Figura 1 – Stato di avanzamento degli studi di microzonazione sismica in Toscana

Tabella 1 – Stato di realizzazione degli studi di MS in Toscana. Nella colonna del totale comuni, i numeri tra parentesi indicano i comuni classificati in zona sismica 2

Prov.	Totale Comuni (*)	Comuni con MS approvata	Comuni con MS in corso
AR	37 (24)	26	9
FI	42 (13)	27	5
PO	7 (4)	7	-
PT	20 (6)	12	4
LU	33 (22)	13	15
MS	17 (14)	9	8
LI	20 (0)	-	-
PI	37 (0)	15	-
SI	35 (4)	12	13
GR	28 (2)	8	-
Totale	**276 (89)**	**129 (47%)**	**54 (20%)**

La *Fig.* 2 riporta una sezione geologico-tecnica relativa all'area di Case Caldeta nel comune di Vicchio (FI); tale sezione è stata una delle sezioni sottoposte ad analisi di risposta sismica 2D a cura del DICEA dell'Università di Firenze; nel grafico in alto è visibile l'andamento del parametro FHa0105, utilizzato per la stima dell'amplificazione locale e descritto nell'equazione:

$$FHa_{(0,1\div0,5)} = \frac{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{out}(T)dT}{\int_{0,1}^{0,5} PSA_{in}(T)dT}$$

dove il parametro viene stimato mediante il rapporto tra l'integrale tra i periodi di 0.1sec e 0.5sec dello spettro in pseudoaccelerazione in output (PSAout) e l'analogo integrale per lo spettro in input (PSAin).

La *Fig.* 3 illustra, invece, lo stralcio di carta di MS3 realizzata per la medesima area.

Preme sottolineare come la realizzazione di studi MS3 per i suindicati comuni sia stata possibile grazie alla non trascurabile quantità di indagini geologiche s.l. (cartografie geologiche, indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche) realizzate nel corso degli ultimi vent'anni nelle aree a maggior pericolosità sismica del territorio regionale (area appenninica ed Amiata) nell'ambito del Programma Regionale VEL.

Tale livello di indagine è disponibile per molti altri comuni, già dotatisi di studio di

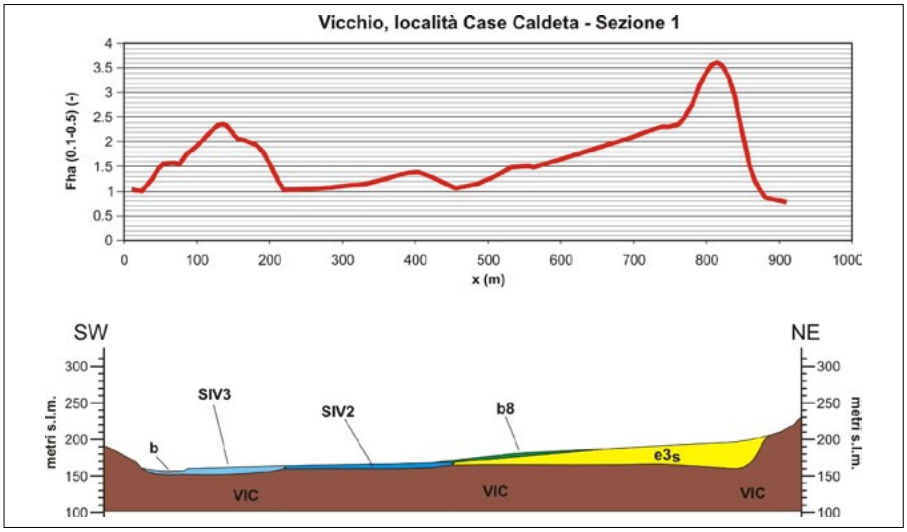


Figura 2 – Evoluzione spaziale del fattore di amplificazione (FHa0105) in riferimento alla sezione geologico-tecnica n.1 nell'area di Case Caldeta nel comune di Vicchio (FI)

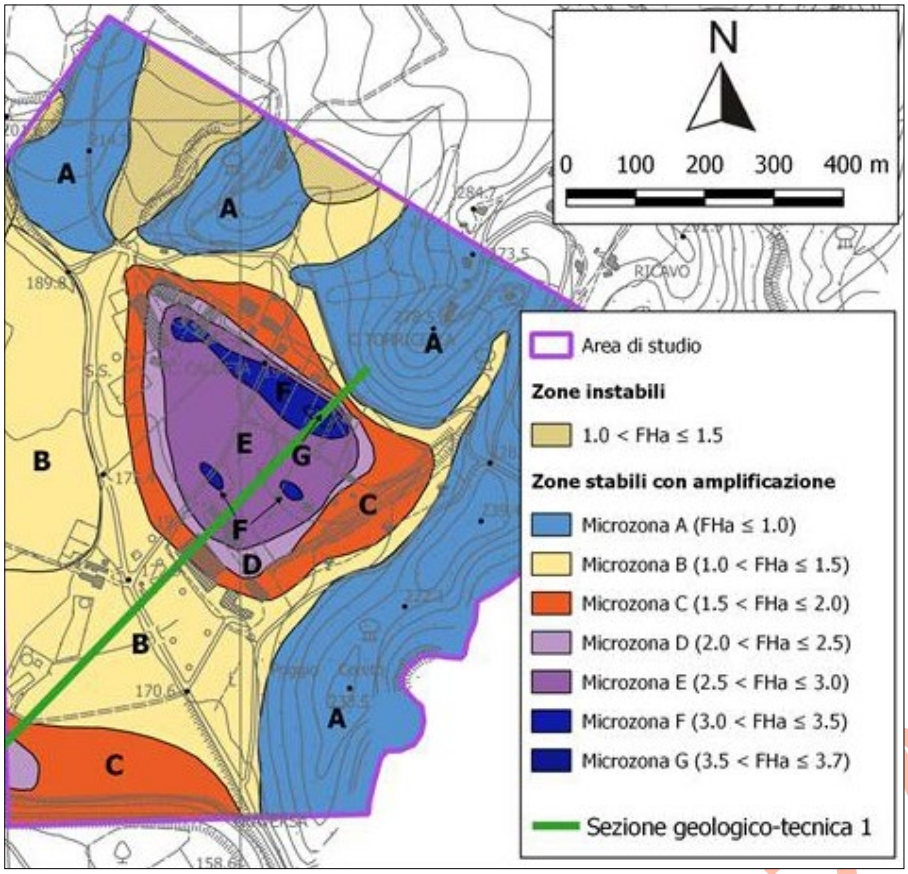


Figura 3 – Stralcio della carta di MS3 per l'area di Case Caldeta nel comune di Vicchio (FI)

microzonazione sismica di livello 1, per i quali nelle prossime annualità sarà possibile l'implementazione a livelli superiori di microzonazione sismica, sulla base di quanto previsto dagli ICMS.

La banca dati VEL (consultabile sul portale http://www.regione.toscana.it/speciali/rischio-sismico mediante una pagina web-gis dedicata, realizzata mediante collaborazione scientifica con il Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Firenze) comprende:

- 1355 linee di sismica a rifrazione con onde P e SH;
- 39 linee sismiche a riflessione HR (High Resolution);
- circa 567 sondaggi geotecnici (con più di 1400 prove SPT) con prove down-hole;
- più di 500 campioni indisturbati su cui sono state eseguite prove di laboratorio (statiche e dinamiche).

I dati possono essere ricercati, selezionati e visualizzati mediante criteri di ricerca geografici per provincia, area geografica, comune, località. In alternativa i dati possono essere ricercati interattivamente dall'utente.

Inoltre, per ogni sondaggio selezionato si possono consultare ed estrarre i dati diretti (stratigrafie) e quelli indiretti relativi (prove geofisiche in foro, prove SPT e/o report delle analisi di laboratorio sui campioni eventualmente prelevati).

Infine, per i campioni indisturbati, per i quali sono state effettuate analisi geotecniche di laboratorio in campo dinamico, è possibile estrarre le curve di decadimento del modulo di taglio normalizzato (G/G0) e di incremento del rapporto di smorzamento (D) sia relative alla singola prova sia in termini di curve medie selezionabili in funzione delle litologia, formazione geologica e/o area di provenienza selezionata (Baglione *et al.*, 2015).

Il principale utilizzo di uno studio di microzonazione sismica è da ricercare, nella fase di pianificazione urbanistica, come definizione di livelli o classi di pericolosità sismica, da realizzare sulla base delle normative vigenti nella regione di interesse (in Toscana è vigente il Regolamento 53R/2011) e derivanti dall'acquisizione del quadro conoscitivo ottenuto dagli studi di microzonazione sismica.

Le classi di pericolosità sismica sono quattro: dalla pericolosità sismica S1 (attribuibile alle zone stabili) alla S4, che riguarda le aree per le quali sono stati previsti fenomeni di instabilità (fenomeni di liquefazione dinamica, fenomeni gravitativi attivi o faglie attive e capaci). Ad ogni classe di pericolosità corrispondono poi, nell'ambito del Regolamento Urbanistico, specifiche prescrizioni in termini di approfondimenti di studio da attuare in fase di Piano Attuativo o nella successiva fase progettuale.

È in corso, in ambito regionale toscano, una revisione delle norme relative agli strumenti geologici a supporto della pianificazione urbanistica. Tale revisione discende dalle novità introdotte nella recente L.R. 65/2014 che introduce all'art.104 alcuni elementi di novità nell'ambito della prevenzione e mitigazione dei rischio, tra cui quello sismico.

In riferimento a quest'ultimo aspetto, all'interno della revisione della norma, sarà prevista la possibilità di utilizzo diretto dei risultati della microzonazione sismica di terzo livello per la progettazione di opere ordinarie.

L'esecuzione di studi di MS3 prevede, infatti, per la stima delle amplificazioni locali, la realizzazione di adeguate analisi di risposta sismica locale. Il prodotto di output per tali analisi è solitamente costituito oltre che da fattori di amplificazione, utilizzati per la quantificazione della minore o maggiore predisposizione dei terreni indagati all'amplificazione locale, anche da spettri di risposta elastici (caratterizzati tipicamente da uno smorzamento del 5%).

Sulla base dell'esperienza finora maturata in regione Toscana è possibile affermare come un completo e dettagliato studio di MS3 possa restituire microzone stabili con amplificazione (solitamente di limitata estensione areale) in cui è possibile (in aggiunta a quanto previsto dagli ICMS) fornire strumenti utili a rappresentare in quel determinato ambito areale l'azione sismica di progetto.

In *Fig.* 4 sono illustrati per l'area di Case Caldeta gli spettri di risposta medi per ognuna delle microzone stabili suscettibili di amplificazione, individuate sulla base del valore del parametro FHa0105, da allegare allo studio di MS3 come previsto dagli ICMS.

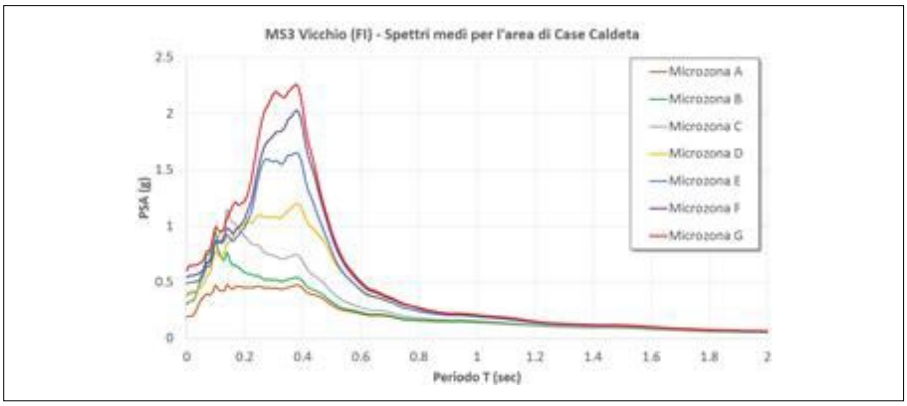


Figura 4 – Spettri medi per le microzone stabili suscettibili di amplificazione nell'area di Case Caldeta nel comune di Vicchio (FI)

ANTEPRIMA

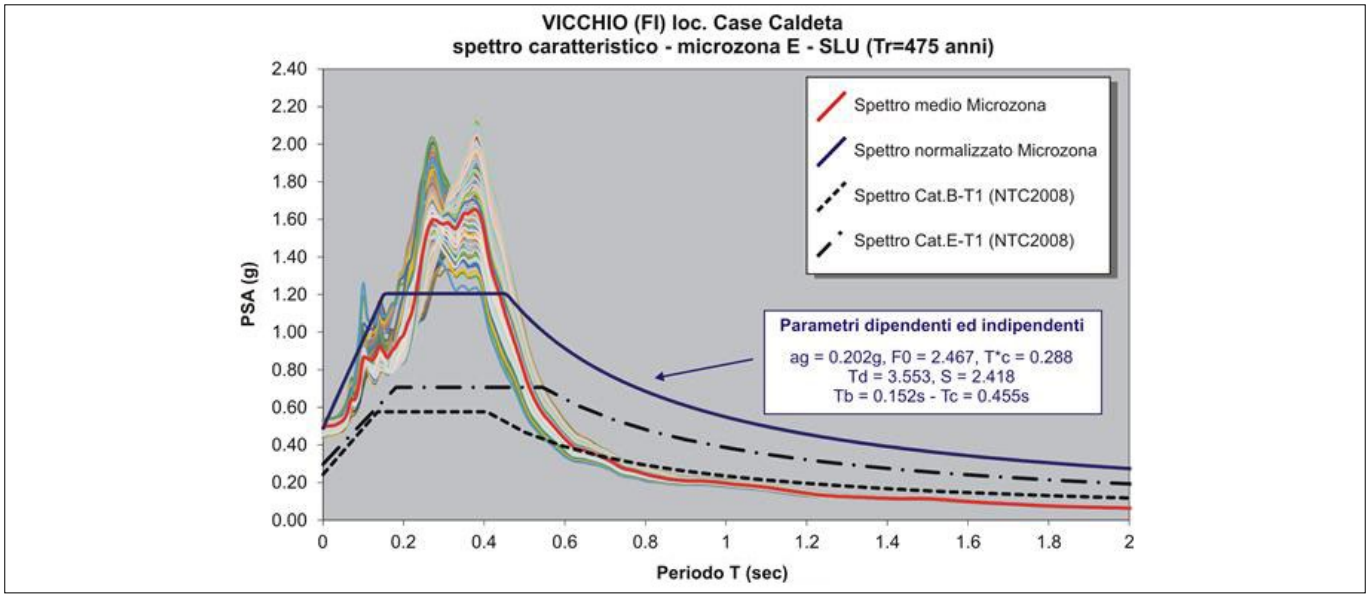


Figura 5 – Confronto tra spettro caratteristico e spettri di risposta elastici semplificati (NTC08) per la microzona E nell'area di Case Caldeta nel comune di Vicchio (FI)

La proposta verte, quindi, sulla definizione di una procedura finalizzata alla definizione di spettri di risposta elastici, direttamente derivanti dagli studi di microzonazione sismica, da utilizzare nelle fasi progettuali successive a quella pianificatoria.

Effettuate le analisi di risposta sismica locale (tipicamente per un Tr=475 anni) è possibile, realizzata la carta di microzonazione sismica di terzo livello, pervenire alla definizione di spettri "caratteristici", prevedendo i seguenti passi:

- raggruppare per ogni microzona individuata (caratterizzata da un valore omogeneo del fattore di amplificazione) tutti gli spettri di risposta elastici di output ricadenti in essa, ricavandone lo spettro medio (*Fig.* 5);
- operare la regolarizzazione dello spettro medio. Questa operazione permette di definire sia uno spettro di forma similare a quelli semplificati di normativa sia, di conseguenza, i suoi parametri dipendenti (S, Tb e Tc), mentre i parametri indipendenti sono fissati, come noto, dalla localizzazione del sito e dalle scelte progettuali alla base funzione della progettazione. La regolarizzazione dello spettro viene effettuata secondo le procedure illustrate negli ICMS 2008 e meglio specificate da Pergalani e Compagnoni (2013) e da D'Intinosante *et al.* (2015b). In sintesi, secondo tale metodo, dallo spettro medio si ricavano i valori di TA (periodo per il quale è massimo il valore in accelerazione), SA (valore medio dello spettro in accelerazione per periodi compresi tra 0.5TA ed 1.5TA), TV (periodo per il quale è massimo il valore in pseudovelocità), SV (valore medio dello spettro in pseudovelocità per periodi compresi tra 0.8TV ed 1.2TV);
- ricavati tali valori si determinerà l'estensione del plateau (tratto dello spettro con accelerazione costante) tenendo conto che Tc = 2π*(SV/SA) e Tb = 1/3Tc. Noti i parametri indipendenti dalle condizioni di sito (ag e Td) è possibile, infine, ricavare il parametro S come amax/ag dove amax è calcolata da analisi di risposta locale. Il parametro F0, indipendente dalle condizioni sismostratigrafiche del sito secondo l'approccio semplificato delle NTC2008, nel presente metodo viene reso, invece, dipendente dalle condizioni geologiche locali con valore pari al rapporto tra SA ed amax (accelerazione di ancoraggio dello spettro caratteristico).

Lo spettro così regolarizzato è visibile in blu nell'esempio di *Fig.* 5, dove è messo a confronto con gli spettri semplificati di normativa (relativi alle categorie di sottosuolo B ed E) più attinenti alle condizioni sismostratigrafiche della microzona individuata nell'esempio.

Questo spettro si riferisce ad un periodo di ritorno di 475 anni e, pertanto, può essere paragonato allo spettro semplificato di normativa relativo all'azione sismica per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per un edificio "ordinario" (Vita nominale VN = 50 anni e Classe d'uso CU = II).

Oltre all'analisi "ufficiale" della MS3, caratterizzata da un periodo di ritorno tipicamente di 475 anni, mediante una modesta implementazione d'indagine, si potrà prevedere la realizzazione di analoghe analisi imponendo come input sismico accelerogrammi spettro-compatibili e sismo-compatibili per periodi di ritorno propri dello Stato Limite di Esercizio (di solito Stato limite di Danno, SLD), che nel caso specifico corrispondono ad un Tr=50 anni, operando con la medesima procedura precedentemente illustrata.

In *Fig.* 6, invece, sono rappresentati tutti gli spettri caratteristici (Tr=475 anni) computati per le microzone stabili desunte dallo

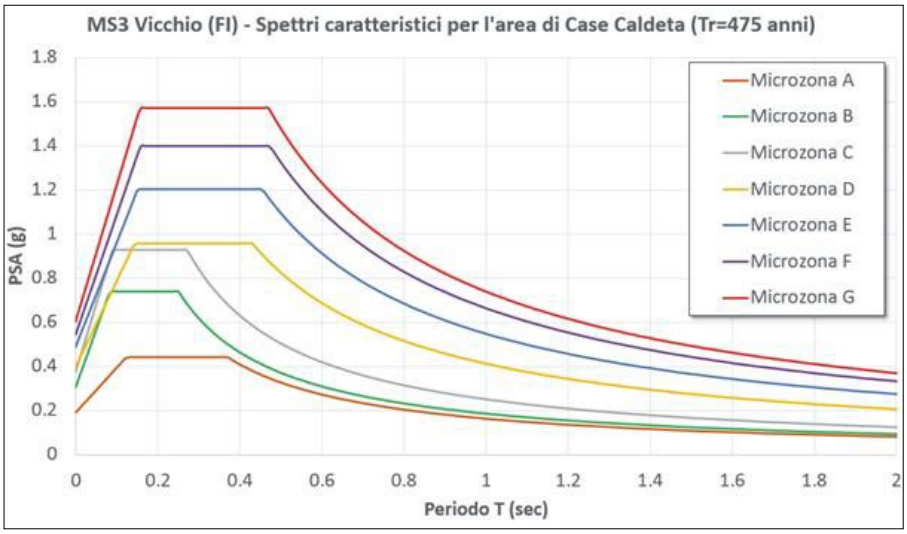


Figura 6 – Rappresentazione di tutti gli spettri caratteristici (Tr=475 anni) nell'area di Case Caldeta nel comune di Vicchio (FI)

In bozza

studio di MS3 dell'area di Case Caldeta, utilizzata come esempio nel presente articolo.

L'utilizzo degli spettri caratteristici di MS3 per la progettazione deve essere doverosamente vincolato ad una verifica da parte del tecnico incaricato dell'affidabilità (grado di fiducia riposto nelle indagini ed elaborazioni eseguite), della significatività (valore che le indagini e le elaborazioni eseguite hanno per gli studi in essere) e della rappresentatività (capacità delle indagini e delle elaborazioni eseguite e conseguenti risultati acquisiti di rappresentare al meglio le problematiche alla base dell'amplificazione locale nel sito di progetto).

Tale valutazione sarà effettuata, da parte del tecnico incaricato, sulla base della tipologia degli studi effettuati e dalla distanza dal sito di progetto, nonché dei limiti di affidabilità delle analisi eseguite ed eventualmente di dati pregressi sul sito di progetto, non riportati nello studio di MS3.

Solo se la predetta verifica dovesse dare esito positivo, si potranno utilizzare gli spettri caratteristici della MS3, effettuando un confronto tra lo spettro di MS e quello semplificato delle NTC2008 nel range di periodi propri della struttura oggetto della progettazione, al fine di scegliere (in un'ottica doverosamente conservativa) lo spettro in grado di rappresentare al meglio l'azione sismica di progetto.

I dati di base ed i risultati degli studi di MS, anche se non ritenuti adeguati, dovranno comunque orientare il progettista nella pianificazione di nuove indagini e nella valutazione dei risultati delle nuove elaborazioni. In particolare gli studi di MS dovranno essere utilizzati per la definizione del modello del sottosuolo e del quadro geologico, geotecnico e geofisico areale.

La corretta e completa realizzazione di uno studio di microzonazione sismica di terzo livello permette di acquisire un quadro dettagliato e quantificato dell'amplificazione locale del sito d'indagine.

Al contrario dei livelli 1 e 2 di MS, l'output delle analisi non consiste solo in un parametro stimatore dell'amplificazione (tipicamente un fattore di amplificazione) ma è dato da accelerogrammi, spettri di Fourier, spettri di risposta elastici, funzioni di amplificazione spettrale, etc..

Pertanto, relegare l'utilizzo di tali studi alla sola fase pianificatoria sembrerebbe riduttivo, mentre al contempo sarebbe auspicabile un utilizzo diretto, impostato comunque su severi criteri di verifica, anche nella successiva fase progettuale.

Il livello di approfondimento previsto in fase di MS3 per quanto attiene alla stima dell'amplificazione locale (che di norma viene determinata mediante analisi di risposta sismica in assetto 2D) porta ad una definizione rigorosa e sicuramente più attinente al contesto sismotettonico dell'area rispetto all'approccio semplificato previsto dalle NTC08.

Tuttavia è necessario sottolineare alcune regole base per un corretto utilizzo degli spettri caratteristici:

- si ritiene opportuno che tale approccio sia consentito per progetti caratterizzati al massimo da classe d'uso II (opere ordinarie). Per opere caratterizzate da classe d'uso superiore (opere strategiche e rilevanti) e ricadenti in aree definite a elevata pericolosità sismica sarà necessario rendere obbligatoria la stima dell'azione sismica di progetto mediante adeguate analisi di risposta sismica locale;
- l'utilizzo degli spettri caratteristici dovrà essere vincolato alla verifica, a cura del professionista incaricato della stima dell'azione sismica di progetto, della conformità del modello di sottosuolo (in termini di affidabilità, significatività e rappresentatività delle analisi effettuate) in corrispondenza del sito di progetto con quello tipico della microzona, anche in riferimento alla quota di riferimento dell'opera in progetto (quota di imposta delle fondazioni);
- l'uso degli spettri caratteristici dovrebbe essere, inoltre, subordinato al rispetto di un indice di qualità, opportunamente definito, che valuti la qualità degli studi di livello 3 in particolare in ragione della densità e qualità delle indagini geotecniche e geofisiche utilizzate per la definizione del modello di sottosuolo.

L'utilizzo degli spettri caratteristici della MS3 a fini progettuali, fermo restando tutti i vincoli e le verifiche da effettuare preliminarmente, può determinare sicuramente un valore aggiunto alla definizione dell'azione sismica di progetto per opere ordinarie, poiché vengono esaminati aspetti geologici s.l. (soprattutto in riferimento alla topografia e alle geometrie sepolte) in grado di contribuire, talora pesantemente, all'azione sismica di progetto.

Tali aspetti non sono valutati nella normale pratica professionale (poiché richiederebbero una dettagliata parametrizzazione dei terreni oggetto di studio e l'utilizzo di metodologie di analisi approfondite) la quale si basa generalmente sulla stima semplificata dell'azione sismica mediante la definizione delle categorie di sottosuolo.

Tale stima semplificata, come succede frequentemente dal confronto con le analisi ad hoc, non sempre corrisponde all'approccio più conservativo (Cherubini *et al.*, 2006; Baglione et. al, 2014; Baglione et. al, 2015; D'Intinosante *et al.*, 2015a, 2015b).

Di contro, non utilizzare le informazioni derivanti da uno studio di MS3 a fini progettuali comporterebbe stime di amplificazione sismica basate su un modello geologico-tecnico generalmente incompleto con conseguente bassa attendibilità in termini di stima dell'azione sismica.

BIBLIOGRAFIA

Baglione M., Fabbroni P., D'Intinosante V., Vannucchi G., Madiai C., Facciorusso J & Gargini E. (2014), *Dalla microzonazione sismica di livello 1 alle analisi di modellazione di livello 3: il comune di Barberino di Mugello (FI).* Atti del XXXIII Convegno Nazionale GNGTS, Bologna.

Baglione M., D'Intinosante V., Fabbroni P. (2015), *La conoscenza del rischio sismico attraverso gli studi di microzonazione sismica della regione Toscana: risultati, strumenti e metodologie proposte per la pianificazione territoriale.* Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS, Trieste.

Bramerini F., Cavinato G.P., Fabietti V. (a cura di) (2013), *Strategie di mitigazione del rischio sismico e pianificazione. CLE: Condizione Limite per l'Emergenza.* Dossier Urbanistica, Urbanistica Informazioni, a. XVII, n. 130, INU edizioni.

Cherubini C., D'Intinosante V., Ferrini M., Rainone M.L., Signanini P., Vessia G. (2006), *Approccio multidisciplinare per la valutazione della risposta sismica locale nell'ambito del progetto Vel: il caso dei comuni di Fivizzano e Licciana Nardi (Lunigiana).* Giornale di Geologia Applicata 4 (2006) 169-174.

Circolare NTC (2009), Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti approvata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici "Istruzioni per l'applicazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008".

D'Intinosante V. e GdL Fivizzano (2015a), *Analisi di risposta sismica locale del centro abitato di Fivizzano (MS).* Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS, Trieste.

D'Intinosante V. e GDL Fivizzano (2015b), La microzonazione sismica nel centro abitato di Fivizzano (MS). Atti del XXXIV Convegno Nazionale GNGTS, Trieste.

D'Intinosante V. (2016), *Dalla carta geologico-tecnica per la definizione del modello di sottosuuolo agli studi di microzonazione sismica; un contributo importante per la pianificazione e la progettazione: l'esempio di Fivizzano (MS).* Atti del XXXV Convegno Nazionale GNGTS, Lecce.

Ferrini M., Baglione M., Calderini F., D'Intinosante V., Danise S., Di Lillo R., Fabbroni P., Iacomelli S., Rossi M., Stano S., Calosi E. (2007), *Le attività della Regione Toscana per la valutazione degli effetti locali dei terreni: il programma regionale V.E.L.* XII Congresso Nazionale "L'ingegneria Sismica in Italia", Pisa 10-14 giugno 2007.

Gruppo di lavoro MS (2008), I*ndirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle regioni e delle Province autonome.* Dipartimento della protezione civile, Roma. 3 vol. e Dvd.

NTC08 (2008), Norme Tecniche per le Costruzioni. Decreto 14 gennaio 2008 del Ministero delle Infrastrutture. Supplemento Ordinario della G.U. n. 29 del 4.02.2008.

Pergalani F. e Compagnoni M. (2013), *Microzonazione sismica di Umbertide: analisi numerica.* Atti del XXXII Convegno Nazionale GNGTS, Trieste.

UFFICIALE

La prevenzione del rischio sismico nella pianificazione urbanistica: la carta di pericolosità sismica della regione Lazio

Seismic risck prevention in urban planning: the seismic hazard map of Latium region

Eugenio Di Loreto
SIGEA Lazio

Parole chiave (*key words*): pericolosità sismica (*seismic hazard*); regione Lazio (*Latium region*)

PREMESSA

Nella pianificazione urbanistica uno tra gli aspetti più rilevanti è costituito dalla conoscenza della realtà territoriale e delle condizioni di rischio naturale presenti. Tutti gli interventi sul territorio hanno efficacia ed efficienza solo se si dispone di una buona conoscenza tecnica e scientifica dei caratteri fisici e dei fenomeni naturali che vi si verificano. Il Rischio sismico di un territorio è il risultato dell'azione che un evento sismico (fattore naturale) produce sui beni antropici, in particolare nelle aree critiche dal punto di vista della concentrazione urbana, del patrimonio artistico o delle attività industriali. A partire dal terremoto di Messina del 1908 lo Stato ha avviato la politica di riduzione degli effetti delle scosse sismiche sui centri abitati attraverso la classificazione del territorio e l'applicazione di norme per le costruzioni.

L'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 (OPCM 3519/2006) ha illustrato i criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle aree sismiche, di competenza delle Regioni, consentendo a queste ultime di adeguare criticamente la classificazione sismica del territorio di competenza. Nell'ambito di tali compiti istituzionali la Regione Lazio ha provveduto, con la Delibera di Giunta Regionale n. 387 del 22 maggio 2009 (D.G.R. 387/2009) e con le ss.mm e ii, alla riclassificazione sismica del territorio Laziale. Tale classificazione è stata conseguita attraverso la collaborazione con i ricercatori dell'ENEA e dell'Università di Roma Sapienza che hanno sviluppato diversi studi per l'analisi della sismicità del territorio, predisponendo alcune cartografie tematiche. Di seguito sono illustrate alcune cartografie sperimentali, ottenute mediante elaborazioni con sistemi G.I.S., raccolte in una mappa di sintesi denominata "Carta della pericolosità sismica integrata con elementi geologici e morfologici". Al suo interno sono contenute ulteriori cartografie che danno utili informazioni relative alla: distribuzione del risentimento sismico dei terremoti storici; pericolosità sismica di base; zonazione sismica regionale; individuazione di gruppi di Unità Amministrative Sismiche U.A.S. a pericolosità sismica omogenea.

La Carta è stata pubblicata dalla Regione Lazio e presentata al Convegno "La pericolosità sismica nella Regione Lazio: attività svolte e prospettive future", tenutosi a Roma il 15 marzo 2012 (G. CATALANO, A. COLOMBI, E. DI LORETO, A. GERARDI & A. SERICOLA, 2012).

La suddetta Carta rappresenta il primo passo per la definizione del quadro conoscitivo del territorio a scala regionale, come dati di base (Livello "0"), da cui partire per la predisposizione di più dettagliate Indagini e Carte di microzonazione sismica a livello comunale.

Gli studi di risposta sismica locale e zonazione sismica del territorio sono uno degli strumenti più rilevanti per un'efficace strategia di riduzione del rischio sismico, permettendo l'individuazione cartografica delle aree a maggiore pericolosità sismica e quindi la scelta delle aree urbanizzabili con minore rischio e degli interventi ammissibili (L. Martelli, M. Filippini, S. Bagli, P. Severi & F. Tomasetti , 2006)

LA CARTA DELLE MASSIME INTENSITÀ STORICHE IMAX (FIG. 1)

La distribuzione geografica delle massime intensità storiche degli eventi sismici sono disposte, concordemente con l'assetto strutturale e sismotettonico dell'Italia Centrale, in fasce parallele alla dorsale appenninica, con massimi localizzati nel Reatino e nel Lazio meridionale (INGV 2004). Un'ampia

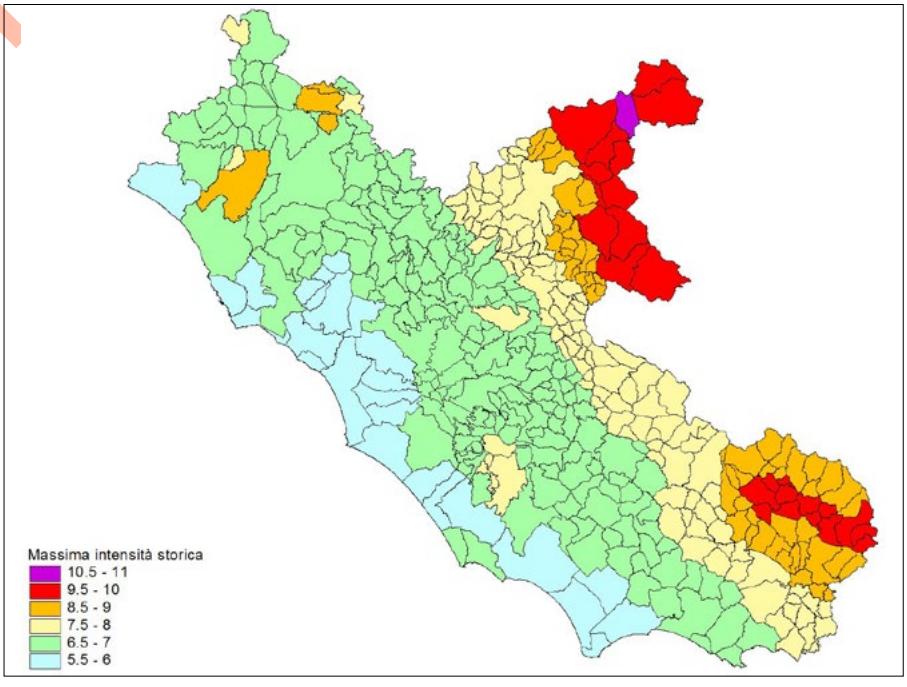


Figura 1

ISPRA

fascia a intensità intermedia, tra VI-VII e VIII MCS, occupa l'area centrale della Regione, inglobando il territorio Viterbese e quello dei Colli Albani, includendo i centri locali di Monterotondo e dei Monti Simbruini. Lungo il litorale laziale invece si rilevano intensità più basse, appena sopra della soglia del danno, ad eccezione dei Comuni interessati dal centro sismico del Litorale Romano.

Particolari situazioni non omogenee, relative ad aree comunali molto estese rispetto alle variazioni di intensità locali con le distanze epicentrali, si riscontrano per il Viterbese dove, nei Comuni di Viterbo, Tuscania, Tarquinia e Tolfa, l'andamento delle isosisme dei terremoti storici mostra decadimenti che possono raggiungere anche i due gradi di intensità all'interno dello stesso Comune. Analogamente nel Comune di Rieti, la porzione del territorio comunale a ridosso della Catena del Terminillo presenta un'intensità maggiore rispetto a quella sud-occidentale.

Per verificare l'attendibilità dei risultati ottenuti, sono stati confrontati i valori delle massime intensità storiche assegnate ai Comuni del Lazio con i corrispondenti livelli di pericolosità sismica calcolati secondo la procedura descritta nei documenti prodotti dal Progetto S1 (INGV-DPC, 2004-2006). Sono state calcolate, utilizzando il codice di calcolo SASHA, le intensità con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, corrispondenti a un tempo di ritorno di 475 anni e con probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni, corrispondenti a un tempo di ritorno di 2475 anni. Dal confronto è stato possibile dimostrare che i valori più elevati delle massime intensità storiche forniti dalla presente analisi per il settore appenninico del reatino e nel Lazio meridionale, concordano con i livelli di pericolosità calcolati per una probabilità di eccedenza del 2% in 50 anni (tempo di ritorno di 2475 anni) e, quindi, dovrebbero essere rappresentativi delle massime intensità potenzialmente osservabili in queste aree. Si può quindi affermare che i valori di massima intensità storica ottenuti nel presente lavoro possono essere considerati rappresentativi dei massimi livelli di pericolosità macrosismica attesi nei Comuni del Lazio.

LA CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (FIG. 2)

La Pericolosità sismica di base è definita calcolando il valore atteso di uno o più parametri che descrivono il terremoto su terreno rigido e compatto (accelerazione del moto del suolo, intensità al sito, spettro di sito), attraverso i quali è possibile predisporre una zonazione sismica del territorio, finalizzata alla pianificazione territoriale e/o dell'emergenza e alla programmazione dell'attività di prevenzione.

Con l'OPCM n. 3519/06 l'intero territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco a_g su terreno a comportamento rigido, derivante da studi predisposti dall'INGV-DPC. Gli intervalli di accelerazione in a_g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni sono stati rapportati alle quattro zone sismiche indicate dall'OPCM n. 3519/06.

La possibilità di esprimere da parte delle Regioni una classificazione più attinente alla situazione del rischio sismico regionale, consente di elaborare diversi scenari di riclassificazione, passando da quelli meno restrittivi, in termini di rischio, a quelli più cautelativi. Le Regioni, infatti, devono tenere in considerazione sia i livelli di incertezza cui fanno esplicito riferimento l'OPCM n. 3519/06 e il Decreto Ministeriale Infrastrutture del 14 gennaio 2008 e della relativa Circolare applicativa 617/2009, sia la rappresentazione della pericolosità non più espressa come classe unica ma suddivisa eventualmente in sottozone sismiche.

Per arrivare a un ulteriore accrescimento delle conoscenze sismiche e sismologiche del territorio laziale, tali da permettere di aggiornare la classificazione sismica del Lazio, come disposto dalle normative nazionali e regionali in materia, la Regione Lazio ha avviato nel 2007 una Convenzione di studio con l'ENEA. A tal fine la Regione Lazio ha utilizzato come base di lavoro la Carta di Pericolosità sismica nazionale all'84esimo percentile, perché maggiormente attinente alla situazione del rischio sismico regionale derivante dalle classificazioni precedenti.

L'attività Regione-ENEA ha avuto l'obiettivo principale di definire la Pericolosità sismica di base del territorio regionale per garantire una migliore, corretta e moderna zonazione sismica tesa al buon governo del territorio e alla migliore sicurezza sismica ai fini amministrativi. È stata messa a punto una metodologia finalizzata alla selezione di accelerogrammi di input su roccia per ciascun comune del Lazio, basata sia sull'analisi della sismicità storica regionale sia sullo studio statistico degli spettri ad *hazard* uniforme e alla generazione delle *times histories* e al calcolo dell'intensità. In questo modo, per ogni comune è stata attribuita una terna di registrazioni, da poter utilizzare come input sismico di base, non comprensivo di eventuali effetti locali di amplificazione sismica, ai fini della pianificazione territoriale e delle indagini di microzonazione sismica. (G. CATALANO, F. COLASANTO, A. COLOMBI, E. DI LORETO, A. GERARDI, G. MARTINI, A. ORAZI, A PACIELLO, A. PUGLIESE, D. RINALDIS, & A. ZINI, 2009).

Nella Carta sono state individuate nove fasce di accelerazione di picco su suolo rigido con intervalli di 0.025ag, partendo da valori <0.075ag fino a valori maggiori di 0.25ag. Le fasce si distribuiscono parallelamente alla catena appenninica con i valori maggiori in corrispondenza del reatino e del frusinate, con un'intrusione dei valori di media alta pericolosità (0.15-0.175ag) dalla zona pre-appenninica fino al Tirreno passando per l'area dei Colli Albani.

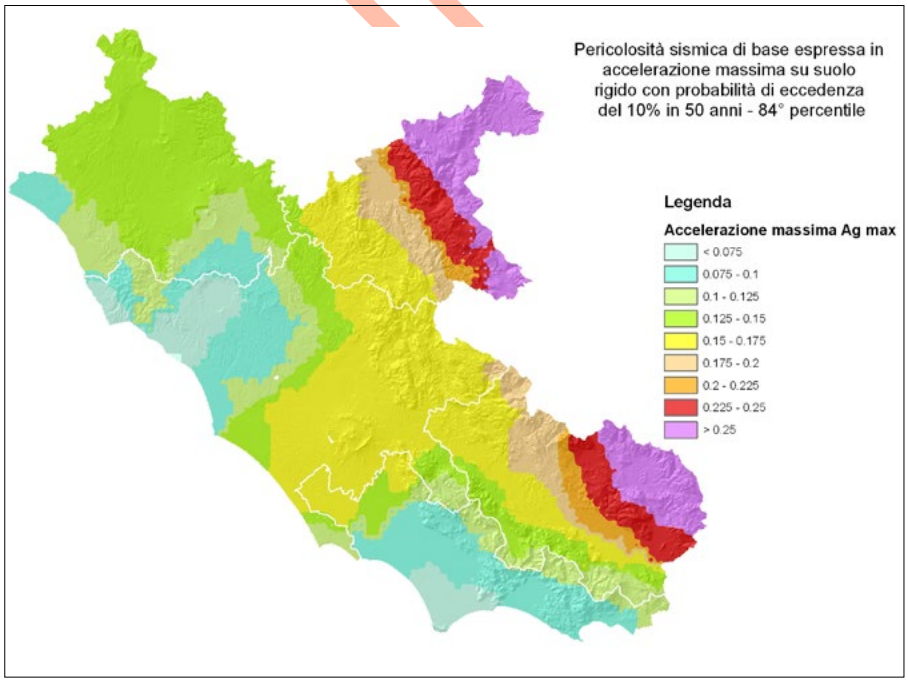


Figura 2

LA CARTA DELLA ZONAZIONE SISMICA REGIONALE – DGR LAZIO N. 387/09 (FIG. 3)

La nuova zonazione sismica della Regione Lazio (DGR 387/2009), adottata ai fini della prevenzione del rischio sismico, si basa su una filosofia innovativa, con la istituzione di sottozone sismiche, che permettono di definire aree intermedie di pericolosità sismica, attraverso le quali si possono calibrare differenti livelli di studi di Microzonazione Sismica su base locale. I Criteri di Zonazione sismica stabiliti dall'OPCM n. 3519/06 hanno per-

LIBERA

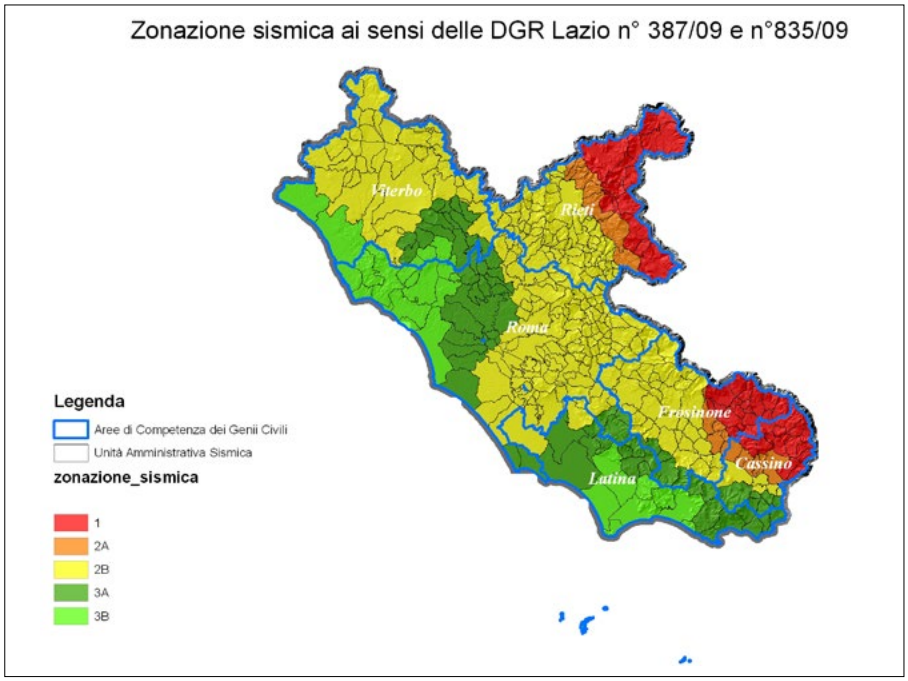


Figura 3

messo di esprimere la pericolosità sismica in valori di accelerazione di picco su suolo rigido (a_g), non più come classe unica ma suddivisa in sottoclassi per ogni zona sismica con intervalli di 0,025 g. Nel territorio regionale i valori di accelerazione a_g sono compresi fra 0.278g e 0.065g. Partendo dall'elaborato di riferimento INGV-DPC all'84esimo percentile si è suddiviso il territorio regionale in fasce di accelerazione per intervalli di 0,05g. La nuova zonazione ha individuato tre Zone Sismiche a differenza delle quattro della precedente classificazione del 2003 (D.G.R. 1 AGOSTO 2003 N. 766), con la scomparsa della Zona Sismica 4. È stata inoltre istituita l'Unità Amministrativa Sismica U.A.S., coincidente con il territorio amministrativo dei Comuni. In questo modo tutti i 378 Comuni del Lazio sono stati trattati, dal punto di vista esclusivamente sismico, come Unità Amministrative Sismiche *(denominate UAS). Solo per* il territorio del Comune di Roma, data la sua vastità sono state individuate 19 UAS, corrispondenti ai 19 Municipi (attualmente ridotti a 15) nei quali è suddiviso il territorio comunale. Sono state inoltre classificate separatamente alcune aree corrispondenti ad isole amministrative di 5 Comuni di Rieti, Colfelice, Vejano, Nepi e Pescorocchiano, per un totale di 402 UAS individuate. Nella Zona Sismica 1, quella più gravosa in termini di pericolosità sismica corrispondente al settore appenninico del Lazio, ricadono le UAS con i valori di a_g superiori a 0,25g. Per le zone sismiche 2 e 3 è stata prevista la suddivisione in quattro sottozone sismiche (dalla 2A, 2B, 3A e 3B). La sottozona 2A (a_g compresa tra 0,20 e 0,25) rappresenta una sorta di zona cuscinetto in cui si è voluto evidenziare l'esigenza di calibrare nel futuro le indagini di Microzonazione Sismica sugli strumenti urbanistici analogamente ai Comuni (UAS) inseriti in Zona Sismica 1. Nella Sottozona 2B, che presenta valori di a_g compresi tra 0,15g e 0,20g, ricadono la gran parte dei Comuni del Lazio. Nella sottozona 3A ricadono i comuni con valori di a_g compresi tra 0,10g e 0,15g. La Sottozona 3B rappresenta, invece, un'area, con valori di a_g compresi tra 0,10g e 0,065g, nella quale i risentimenti sono bassi e gli eventuali danni dovrebbero essere,

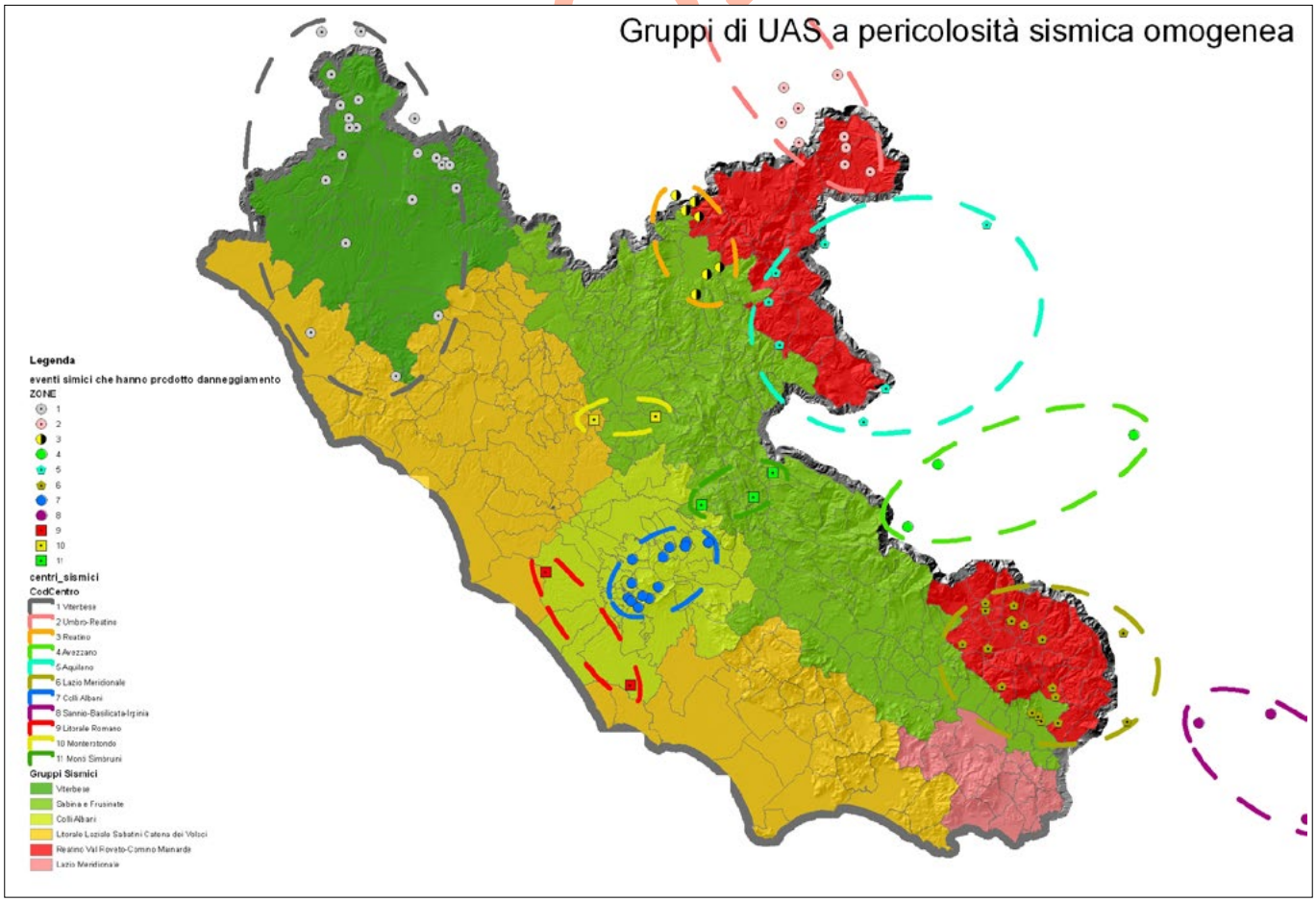


Figura 4

in linea teorica, di modesta entità. Rispetto alla precedente classificazione sismica, in linea con quanto indicato dai dati sismologici, si evidenzia una sostanziale crescita della pericolosità sismica nel Frusinate e nel Reatino, con un aumento dei Comuni (UAS) ad alto rischio sismico fra la Zona Sismica 1 e la sottozona 2. Le UAS dell'alto Viterbese presentano una pericolosità più elevata con conseguente aumento del numero di Comuni ricadenti in Zona Sismica 2. I comuni della Provincia di Latina vengono declassati, a fronte di una reale bassa sismicità dell'area. Anche parte del territorio del basso Frusinate viene declassato, rispetto alla precedente sovra stima della sismicità. Significativo è anche il risultato ottenuto per il Comune di Roma Capitale, dove i Municipi della parte orientale della Città, che avvertono maggiormente gli effetti dei terremoti con epicentro nel limitrofo Centro sismico dei Colli Albani, sono classificati in Zona sismica 2B, mentre i rimanenti Municipi sono classificati in Zona 3A. Questo risultato conferma la validità della scelta eseguita nell'individuare e classificare le UAS.

LA CARTA DEI GRUPPI DI UAS A PERICOLOSITÀ SISMICA OMOGENEA (FIG. 4)

Per meglio analizzare l'andamento degli effetti generati dagli eventi che producono danneggiamenti, sono stati identificati undici Centri sismici per i quali possono essere riconosciute caratteristiche sismologiche omogenee. I diversi Centri sismici si differenziano sia per i livelli di magnitudo, sia per la forma e l'estensione areale dei risentimenti. Sotto quest'ultimo aspetto si riconoscono Centri sismici con un'influenza areale a carattere regionale, provinciale e locale. Gli 11 Centri sismici sono così raggruppati:

1 **Viterbese**, caratterizzato da eventi con magnitudo tra 5.0 e 5.5, intensità epicentrali tra VII e VIII MCS.
2 **Umbro-Reatino**, con eventi con magnitudo tra 6.0-6.5, ma caratterizzati sempre da intensità epicentrali elevate tra X e XI MCS e influenza a carattere regionale. In questo centro sismico sono avvenuti i recenti terremoti di Amatrice dell'agosto 2016.
3 **Reatino**, i cui eventi presentano magnitudo 5.5-6.0 e intensità epicentrali tra VII-VIII e VIII-IX MCS.
4 **Avezzano** e **5 Aquilano**, centri sismici fuori regione, caratterizzati da eventi con magnitudo 6.5-7.0 e intensità epicentrali tra IX-X e XI grado MCS.
6 **Lazio meridionale**, con magnitudo 6.0-6.5 ma intensità epicentrali tra IX-X e X MCS e tendenza a una maggiore attenuazione delle intensità con la distanza epicentrale, cui corrisponde una distribuzione a carattere provinciale.
7 **Colli Albani**, i terremoti di questo Centro sismico presentano magnitudo moderate tra 5.0 e 5.5 e intensità epicentrali tra VI-VII e VII-VIII MCS.
8 **Sannio-Basilicata-Irpinia**, con eventi a elevati valori sia di magnitudo (6.5-7.0), sia d'intensità epicentrale (tra X-XI MCS).
9 **Litorale Romano**, caratterizzato da eventi con una magnitudo tra 5.0 e 5.5, mentre le intensità sono comprese tra VI-VII MCS.
10 **Monterotondo** e **11 Monti Simbruini**, sono due Centri sismici a carattere essenzialmente locale, con eventi di magnitudo 5.0 circa e intensità epicentrali tra VI-VII MCS.

I Centri sismici 1 e 7, coincidenti con i distretti vulcanici del Lazio, sono caratterizzati da un elevato flusso di calore. Tali settori sono caratterizzati da una sismicità diffusa ma con moderato rilascio di energia, con pochi eventi a magnitudo più elevata.

Nella mappa sono rappresentati, oltre a tutti i 103 eventi sismici che hanno prodotto danneggiamenti sulle strutture edilizie, anche i sei Gruppi sismici individuati dall'ENEA per rappresentare omogeneamente la pericolosità sismica regionale. Dai risultati dello studio ENEA sono scaturiti i raggruppamenti, sismicamente omogenei, dei Comuni della Regione Lazio. In base all'esame delle forme spettrali per ogni gruppo, l'ENEA ha individuato sei raggruppamenti principali con caratteristiche spettrali omogenee, cioè con uno spettro principale che si elegge a rappresentante delle forme spettrali definite per ogni singolo Comune appartenente al gruppo medesimo. I sei raggruppamenti evidenziano la Pericolosità attraverso un metodo squisitamente statistico-induttivo, definendo pericolosità diverse e proprie di una zona, agganciate direttamente a uno spettro-tipo. I sei Gruppi omogenei, da quello a maggiore pericolosità sismica fino a quello a minore pericolosità, sono: 1) Reatino, Val Comino, Mainarde, Val Roveto; 2) Sabina-Frusinate; 3) Viterbese; 4) Colli Albani; 5) Lazio Meridionale; 6) Litorale Laziale, Catena dei Volsci, Sabatini

CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA INTEGRATA CON ELEMENTI GEOLOGICI E MORFOLOGICI (FIG. 5)

Partendo dai dati di Pericolosità Sismica di base, è stato eseguito un procedimento sperimentale per stimare la Pericolosità Sismica integrata con il contributo dei singoli fattori geologici e morfologici, attraverso lo sviluppo di modelli (mediante l'uso di strumenti GIS) per l'individuazione di scenari geologici e morfologici. L'analisi è stata condotta prendendo in esame gli elementi che si ritiene possano influenzare la pericolosità sismica locale di un sito. Necessariamente la scelta degli elementi utili alla comprensione del comportamento sismico di un sito dipende dalla scala dello studio, in altre parole, dal dettaglio con il quale si vuole operare (G. DI CAPUA, S. PEPPOLONI & F. PERGALANI , 2004).

In particolare, si è notato (R. ZECCHI, 1980) che i fenomeni di esaltazione o attenuazione degli effetti di un terremoto in superficie sono soprattutto legati alla morfologia (irregolarità topografiche, morfologie superficiali, versanti instabili o aree in frana) e alla litologia dei terreni più superficiali (scadenti qualità geomeccaniche o contatti stratigrafici tra litotipi a diverso comportamento geotecnico).Tutte queste condizioni possono favorire la focalizzazione delle onde sismiche con effetti amplificativi locali delle azioni sismiche trasmesse al terreno. Nel caso in esame, tra i fattori ritenuti significativi sono stati scelti: 1) specifici elementi topografici e morfologici (creste, dorsali morfologiche e scarpate); 2) determinate litologie (categorie dei suoli delle NTC 2008).

Per individuare le aree di cresta e le dorsali con forte acclività si è fatto ricorso a specifici modelli DEM (Digital Elevation Model), applicando ad esso diverse elaborazioni avvalendosi dell'ausilio del software GIS. Per la individuazione delle rocce che in una data area, possono dare luogo a possibili amplificazioni sismiche locali, tenuto conto della scala di studio, si è scelto di elaborare le informazioni litologiche disponibili mediante un approccio qualitativo-descrittivo. I dati di base sono stati ottenuti attraverso l'analisi delle singole 46 formazioni geolitologiche individuate nella Carta Geolitologica della Regione Lazio a scala 1:25.000. Ad ogni classe litologica è stato assegnato un corrispondente valore del coefficiente di Suolo Ss indicato dalla normativa. Qualora una specifica litologia, per caratteristiche litologiche, poteva afferire a più classi di suolo, è stata sempre scelta la classe con coefficiente di suolo Ss più scadente, in modo di tener conto degli aspetti legati alla sicurezza. Una situazione emblematica di tale situazione è rappresentata dalla formazione geolitologica del travertino, che a luoghi si può presentare compatto e litoide, e quindi assimilabile alla Classe di suolo di tipo A, oppure si rinviene poco compatto sino ad assumere un aspetto terroso e con caratteristiche geomeccaniche più scadenti di quello litoide (assimilabile a un suolo di Classe C). Poiché non è stato possibile definire in Carta con certezza, alla scala utilizzata, le due diverse classi litologiche, si è preferito assegnare, cautelativamente, a tutto il travertino la classe C.

Gli strati informativi degli elementi sopra descritti, ossia il Coefficiente topografico S_T e il Coefficiente di suolo Ss, sono stati trasformati da formato vettoriale a formato raster (GRID) e, mediante una semplice operazione di Map Algebra, è stato calcolato il Fattore S

ANTEPRIMA

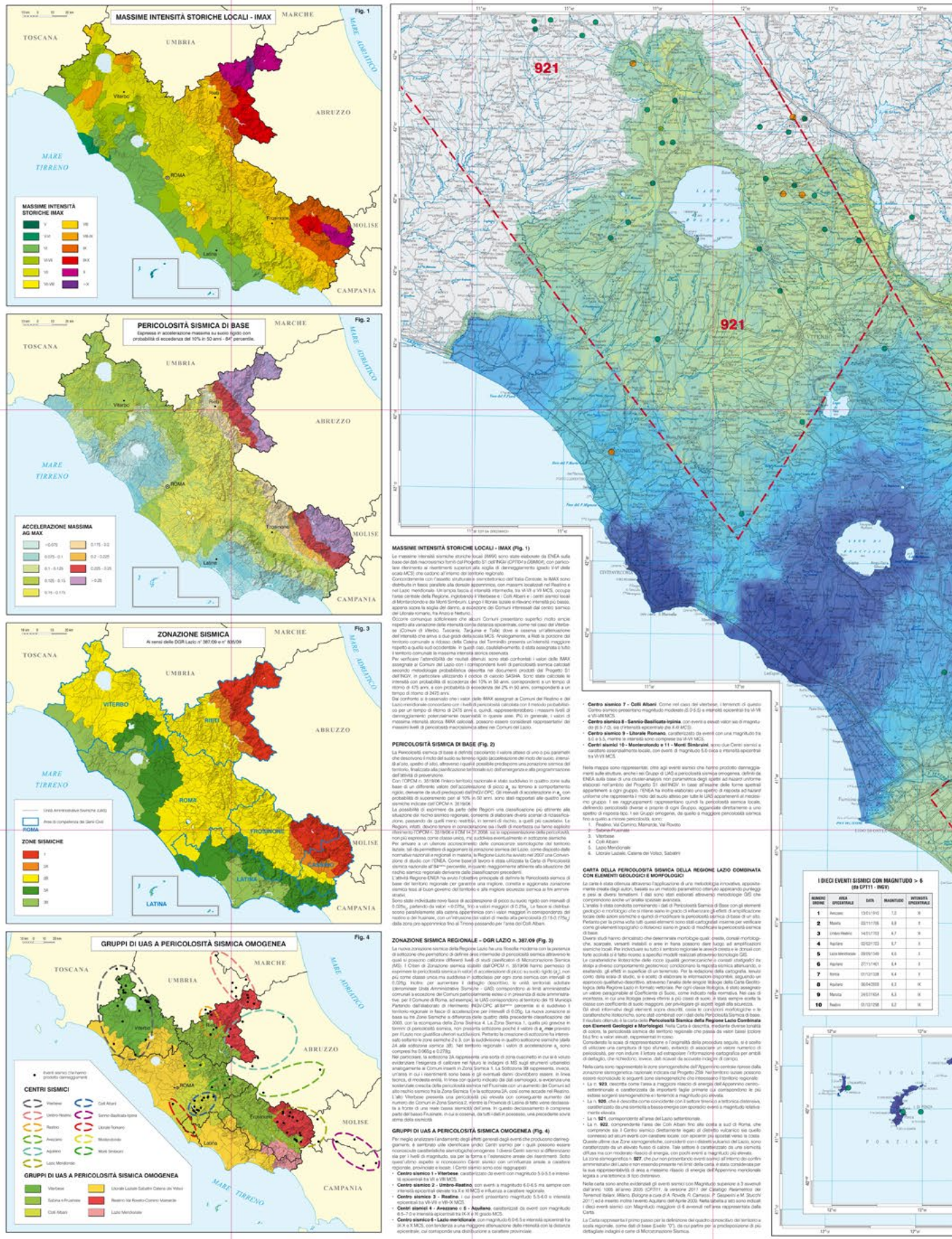
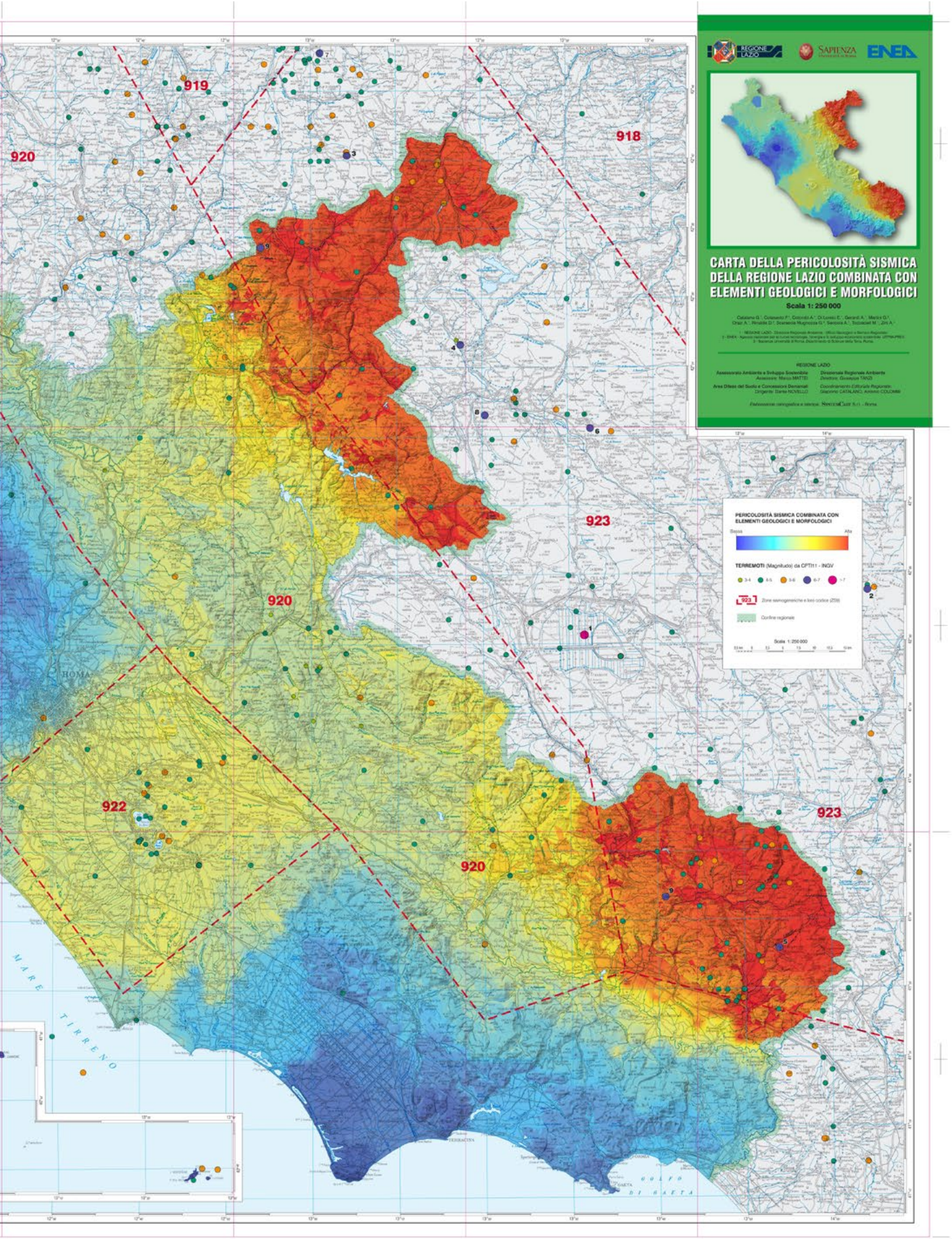

MASSIME INTENSITÀ STORICHE LOCALI - IMAX
Fig. 1
PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE
Fig. 2
ZONAZIONE SISMICA
Fig. 3
GRUPPI DI UAS A PERICOLOSITÀ SISMICA OMOGENEA
Fig. 4
921
MARCHE
TOSCANA
UMBRIA
ABRUZZO
MOLISE
CAMPANIA
MARE TIRRENO
MARE ADRIATICO
ROMA
Viterbo
Rieti
Frosinone
Latina
MASSIME INTENSITÀ STORICHE IMAX
ACCELERAZIONE MASSIMA AG MAX
ZONE SISMICHE
CENTRI SISMICI
GRUPPI DI UAS A PERICOLOSITÀ SISMICA OMOGENEA
MASSIME INTENSITÀ STORICHE LOCALI - IMAX (Fig. 1)
PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (Fig. 2)
ZONAZIONE SISMICA REGIONALE – DGR LAZIO n. 387/09 (Fig. 3)
GRUPPI DI UAS A PERICOLOSITÀ SISMICA OMOGENEA (Fig. 4)
CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DELLA REGIONE LAZIO COMBINATA CON ELEMENTI GEOLOGICI E MORFOLOGICI
I DIECI EVENTI SISMICI CON MAGNITUDO > 6 (da CPT11 - INGV)

Figura 5


CARTA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DELLA REGIONE LAZIO COMBINATA CON ELEMENTI GEOLOGICI E MORFOLOGICI
Scala 1: 250 000
REGIONE LAZIO
PERICOLOSITÀ SISMICA COMBINATA CON ELEMENTI GEOLOGICI E MORFOLOGICI
Bassa
Alta
TERREMOTI (Magnitudo) da CPTI11 - INGV
Confine regionale
Scala 1:250 000
919
918
920
923
922
MARE TIRRENO

che è stato poi moltiplicato per i dati della Pericolosità Sismica di base (cfr *Fig.* 2). Il risultato ottenuto è la carta della Pericolosità Sismica integrata con elementi morfologici e litologici del Lazio. Nella Carta, le aree del territorio regionale sono rappresentate con diverse tonalità di colore, passanti dal Blu (bassa pericolosità sismica) al rosso scuro (elevata pericolosità sismica), tenendo conto delle zone sismogenetiche e dei principali eventi sismici con Magnitudo superiore a 4. Data l'incertezza della metodologia utilizzata, strettamente legata alla scala di lavoro, si è scelto di utilizzare una campitura di tipo sfumato evitando di associare un valore numerico di pericolosità per non indurre il lettore ad una applicazione dell'informazione cartografica a scala regionale in ambiti di dettaglio e sottolineando il fine sperimentale del presente lavoro (G. CATALANO, A. COLOMBI, E. DI LORETO, A. GERARDI & A. SERICOLA, 2009).

Prendendo in esame la zonazione sismogenetica nazionale, indicata dal Progetto ZS9 (C. MELETTI e G. VALENSISE, 2004) possono essere riconosciute le seguenti zone sismogenetiche che interessano il territorio regionale:

- La n. 927, nella quale seppur ricadono eventi sismici al di fuori dei confini amministrativi del Lazio, è rappresentativa dell'area a massimo rilascio di energia dell'Appennino meridionale legata a una tettonica di tipo distensivo.
- La n. 923, descritta come l'area a maggiore rilascio di energia dell'Appennino centro-settentrionale e caratterizzata da importanti faglie primarie cui corrispondono le più estese sorgenti sismogenetiche e i terremoti a magnitudo più elevata.
- La n. 920, che è descritta come coincidente con il settore tirrenico a tettonica distensiva, caratterizzato da una sismicità a bassa energia con sporadici eventi a magnitudo relativamente elevata.
- La n. 921, corrispondente all'area del Lazio settentrionale.
- La n. 922, comprendente l'area dei Colli Albani fino alla costa a sud di Roma, che comprende sia il Centro sismico direttamente legato al distretto vulcanico sia quello connesso ad alcuni eventi con carattere locale, con epicentri più spostati verso la costa.

La metodologia qualitativa scelta, consente di individuare, nelle linee generali, su apposite cartografie il quadro conoscitivo delle diverse situazioni di pericolosità sismiche esistenti sul territorio regionale, propedeutico per poi pianificare, e realizzare cartografie a scala di maggior dettaglio. Gli studi finalizzati agli strumenti urbanistici che investono piccole aree (Varianti a PRG, Piani Particolareggiati e attuativi) infatti si basano su un differente approccio, di tipo quantitativo - deterministico, che presuppone analisi complesse e multidisciplinari per la redazione degli sutdi di Microzonazione sismica, quali:

a) esecuzione di prove geognostiche per conoscere la litostratigrafia del sito e poter eventualmente individuare la profondità del bed-rock sismico;
b) esecuzione prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica dei terreni; caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi;
c) indagini geofisiche per la definizione della velocità di propagazione delle Onde S (Vs) all'interno dei terreni e per la ricostruzione della geometria delle unità litotecniche;
d) misure di microtremori per caratterizzare il periodo fondamentale di vibrazione;
e) prove per la caratterizzazione dei terreni in condizioni dinamiche;
f) redazione di Carte di Microzonazione sismica con individuazione delle MOPS;

Successivamente alla Delibera di approvazione della nuova classificazione sismica del territorio, la Regione Lazio ha approvato specifiche Deliberazioni (DGR 545/2010; DGR 495/2011; DGR 535/2012), che hanno fornito utili indicazioni per la redazione degli Studi di Microzonazione Sismica nel Lazio, resi obbligatori nella documentazione progettuale necessaria per l'acquisizione del parere geomorfologico sui piani urbanistici di cui all'art. 89 del D.P.R. 380/01 e della DGR 2649/99. Aver reso obbligatorio la presenza di entrambe le analisi nel processo di pianificazione ha permesso alla Regione Lazio di proseguire il percorso di attività di prevenzione sismica iniziato nel 1999.

BIBLIOGRAFIA

G. Catalano, F. Colasanto, A. Colombi, E. Di Loreto, A. Gerardi, G. Martini, A. Orazi, A Paciello, A. Pugliese, D. Rinaldis, & A. Zini (2009), *"Un esempio di zonazione sismica: la nuova mappa sismica della Regione Lazio"*. In Energia Ambiente e Innovazione. Rivista Bimestrale di ENEA, n. 3 maggio-giugno2009. Roma.

G. Catalano, A. Colombi, E. Di Loreto, A. Gerardi & A. Sericola (2009), "*Esempi di cartografia sulla pericolosità sismica locale"* In Professione Geologo, Notiz. Ordine dei Geologi del Lazio. n° 20, pp. 10-13.

G. Catalano, A. Colombi, E. Di Loreto, A. Gerardi & A. Sericola (2012), Capitolo 2 *"Pericolosità sismica combinata con elementi geologici e topografici e carta delle aree con probabilità di accadimento di fenomeni di liquefazione"* del Volume "La Pericolosità sismica nel Lazio" – Italian Journal of Engineering Geology and Environment. pagg. 55-65.

Circolare 617 del 2 febbraio 2009, *"Istruzioni per l'applicazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.1.2008"*, in Gazzetta Ufficiale, n. 47 del 26/02/2009, Suppl. Ord. N. 27.

Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, *"Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia"*. Pubblicato nella Gazzetta Ufficiale n. 245 del 20 ottobre 2001 - Supplemento Ordinario n. 239 (Rettifica G.U. n. 47 del 25 febbraio 2002).

Decreto Ministeriale Infrastrutture 14 gennaio 2008, *"Approvazione delle Norme tecniche per le costruzioni"*, in Gazzetta Ufficiale, n. 29 del 4/02/2008.

Delibera Giunta Regionale 28 maggio 199 n. 2649, *"Linee guida e documentazione per l'indagine geologica e vegetazionale. Estensione dell'applicabilità della L. 2.2.1974, n. 64."* - B.U.R. Lazio 20/09/1999, n. 26.

Delibera Giunta Regionale 1 agosto 2003 n. 766, "*Riclassificazione sismica della Regione Lazio, in applicazione della O.P.C.M. n. 3274/2003. Prime disposizioni*". Suppl. Ord. al B.U.R.L. n. 28 del 10/10/2003.

Delibera Giunta Regionale 22 maggio 2009 n. 387, *"Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio, in applicazione della O.P.C.M. n. 3519/2006 e della D.G.R. Lazio 766/03"*. B.U.R.L. n. 24 del 27 giugno 2009, Supplemento 106.

Delibera Giunta Regionale 26 novembre 2010 n. 545, *"Linee guida per l'utilizzo degli indirizzi e dei criteri generali per studi di Microzonazione Sismica nel territorio della Regione Lazio, di cui alla DGR Lazio n. 387 del 22 maggio 2009. Modifica della DGR n. 2649/1999"*. BURL n. 48 del 28 dicembre 2010. Supplemento 212.

Delibera Giunta Regionale 21 Ottobre 2011 n. 490, *"Approvazione degli Abachi Regionali per gli studi di Livello 2 di Microzonazione Sismica ai sensi della DGR Lazio n. 545 del 26 dicembre 2010 e delle relative procedure di applicazione nell'ambito del rilascio del parere ai sensi dell'art. 89 del DPR del 6 giugno 2001 n. 380. Modifica alla DGR 545/10."* Bollettino Ufficiale Regione Lazio n. 43 del 21 novembre 2011.

Delibera Giunta Regionale 2 novembre 2012 n. 535, "Modifiche alla DGR Lazio n. 545 del 26 novembre 2010 e alla DGR Lazio n. 490 del 21 ottobre 2011" BUR Lazio n. 64 del 15 novembre 2012.

G. Di Capua, S. Peppoloni & F. Pergalani (2004), *"Effetti locali nei centri storici: la scheda per valutazioni qualitative sui siti di edifici strategici e monumentali."* In Atti del Convegno Nazionale *"Rischio Sismico, territorio e centri storici. Salvaguardia dei beni culturali e ambientali. Azione di prevenzione e mitigazione del rischio"*.

INGV (2004), *Mappa della pericolosità sismica del territorio della nazionale* – All. 1.b alla OPCM del 28 aprile 2006 n° 3519.

L. Martelli, M. Filippini, S. Bagli, P. Severi & F. Tomasetti (2006), *"Riduzione del rischio sismico nella pianificazione territoriale ed urbanistica in Emilia-Romagna: definizione e rappresentazione della pericolosità sismica locale. L'esempio della cartografia per il quadro conoscitivo del PTCP di Rimini."* Il Geologo Boll. Uff. d'informazione dell'Ordine dei Geologi dell'Emilia Romagna, Anno VI n. 24, pp. 7-17.

C. Meletti & G. Valensise (2004), *"Zonazione sismogenetica ZS9. In Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'OPCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il DPC."* pp. 65 + 5 appendici.

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri del 28 aprile 2006, numero 3519, *"Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone"*. Gazzetta Ufficiale n. 108 dell'11 di maggio 2006.

Zecchi P. (1980), *"Guida per la realizzazione di una Carta sismotettonica e del rischio sismico"*. – Pitagora Ed.

IN BOZZA

Pericolosità sismica e memoria storica dei terremoti in Puglia

Seismic hazard and historical memory in Apulia

Vincenzo Del Gaudio
Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali - Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"
E-mail: vincenzo.delgaudio@uniba.it

Parole chiave (*key words*): pericolosità sismica (*seismic hazard*), sismicità storica (*historical seismicity*), sorgenti sismogenetiche (*seismogenic structures*), tassi di sismicità (*seismicity rates*), Puglia (*Apulia*)

RIASSUNTO

La principale linea di difesa adottata attualmente per la mitigazione degli effetti dei terremoti si basa su un approccio preventivo che dispone, nella progettazione di opere ingegneristiche e nella pianificazione territoriale, misure atte a rendere il territorio in grado di sopportare l'impatto di eventi sismici futuri, contenendone i danni. Ciò richiede una stima della pericolosità sismica del territorio, cioè dei livelli di scuotimento attesi, rispetto ai quali occorre predisporre azioni di protezione. Il calcolo della pericolosità è effettuato su base statistica analizzando le serie storiche dei terremoti, ma l'affidabilità di queste stime dipende fortemente dalla ricchezza di informazioni disponibili sugli eventi sismici del passato. Ciò rende più incerte questo tipo di stime per regioni, come quella pugliese, dove, in presenza di lunghi tempi medi di ritorno dei terremoti ad elevata energia, la base di dati è più povera. In Puglia, infatti, eventi che hanno prodotto un numero di vittime nell'ordine delle centinaia o delle migliaia, si sono verificati in più occasioni, ma, a parte un caso isolato (Ascoli Satriano, 1361), tutte concentrate in un arco di circa 120 anni dal 1627 al 1743. Quasi tutti i maggiori terremoti hanno interessato il nord della regione, ma l'ultimo evento di questa serie ha colpito il Salento, pur essendo la sorgente localizzata al largo delle sue coste, con un pesante bilancio di vittime prodotto da fenomeni di amplificazione locale degli scuotimenti, legati alla particolare geologia di questo territorio. È quindi essenziale non dimenticare che tutto il territorio pugliese non può essere considerato al sicuro dagli effetti dei terremoti e che misure di prevenzione dal danno sismico vanno comunque previste, con il supporto di indagini finalizzate a migliorare la conoscenza del territorio ed a colmare le lacune presenti nella base di dati attualmente disponibile. Coltivare la memoria storica dei terremoti del passato è perciò essenziale per non indurre atteggiamenti di sottovalutazione e trascuratezza rispetto alla necessità di una più attenta valutazione del rischio sismico presente sul territorio e per promuovere, nella progettazione degli edifici e nella pianificazione territoriale, l'adozione di cautele che ne tengano conto.

1. INTRODUZIONE

La difesa dagli effetti di futuri terremoti in Italia è attualmente affidata principalmente ad un quadro normativo che prescrive l'adozione di criteri di progettazione delle opere di ingegneria civile, finalizzati a dotare tali opere della capacità di rispondere alle sollecitazioni sismiche in modo da conseguire definiti obiettivi di operatività e sicurezza. A tale scopo, occorre determinare, per il sito dove l'opera è ubicata e per l'arco di tempo in cui se ne prevede l'utilizzo, livelli di sollecitazione che l'opera deve essere in grado di sopportare e che hanno probabilità accettabilmente basse di essere superate ("probabilità di eccedenza"). In tal modo si ottiene il risultato di contenere entro tale probabilità il rischio che si verifichi un evento per il quale le prescritte condizioni di operatività e sicurezza non sono assicurate.

I livelli di scuotimento sismico che hanno probabilità di eccedenza così definite forniscono la base per il calcolo delle cosiddette "azioni sismiche di progetto", cioè un modello schematico delle sollecitazioni rispetto alle quali la progettazione deve tutelare l'opera in modo da ridurre entro limiti accettabili il rischio di lunghe interruzioni del suo utilizzo ed in modo da garantire un elevato livello di sicurezza rispetto al rischio di compromettere l'incolumità degli utilizzatori. Il calcolo dei livelli di scuotimento da cui far derivare le azioni sismiche di progetto è il principale obiettivo delle stime di pericolosità sismica ed è condotto con una procedura che prevede, in prima battuta, di fare riferimento a scuotimenti attesi in condizioni di sito standard, caratterizzate da superficie piana e affioramento di suoli rigidi. A partire da questa "pericolosità di base", si procede a valutare l'effettiva pericolosità locale tramite indagini di microzonazione sismica, nel corso delle quali si valutano fattori locali di incremento della pericolosità, associati a possibili fenomeni di amplificazione di sito o di instabilità dei suoli (cedimenti differenziali, liquefazione, frane) indotti dagli scuotimenti sismici.

La procedura standard per il calcolo della pericolosità sismica di base utilizza un modello statistico della ricorrenza temporale dei terremoti, parametrizzato sulla base della storia sismica pregressa del territorio in esame. In particolare, occorre individuare le aree sorgente dei terremoti pericolosi, capaci di produrre danni nell'area di studio, definendo una suddivisione in zone sismogenetiche. Per ciascuna di queste zone vanno calcolati i tassi di sismicità, cioè il numero di terremoti di diversa magnitudo attesi per unità di tempo.

L'analisi della storia sismica di una qualsiasi regione mostra che i terremoti pericolosi presentano una distribuzione nel tempo alquanto irregolare, con eventi di elevata energia che si addensano in periodi relativamente brevi, alternati a fasi di quiescenza a volte anche molto lunghi. Per questa ragione una affidabile parametrizzazione del modello statistico di ricorrenza degli eventi sismici richiede l'accumulo di osservazioni su tempi molto lunghi e, in particolare, molto più lunghi dell'intervallo medio di ricorrenza dei terremoti pericolosi.

Da ciò deriva il ruolo centrale svolto dai dati di sismicità storica. Questi, pur scontando una maggiore incertezza nella definizione delle caratteristiche dei terremoti, legata all'assenza di osservazioni strumentali, presenta il vantaggio di coprire un arco di tempo molto più esteso di quello delle osservazioni strumentali. Queste ultime, infatti, sono state acquisite in quantità e con qualità adeguata solo per un periodo inferiore ai 100 anni, laddove la ricorrenza temporale di forti terremoti è ad intervalli quanto meno di svariati decenni, quando non plurisecolare. È evidente, quindi, che solo il record storico, eventualmente integrato da studi paleosismologici delle tracce geologiche di terremoti molto antichi, può fornire una base statistica robusta per le stime probabilistiche di pericolosità.

Nell'applicazione di questa procedura di calcolo, l'Italia presenta nel complesso condizioni favorevoli dal punto di vista della disponibilità di dati, per il fatto di essere un'area di antica civilizzazione, con un ricco e ben documentato record storico dei terremoti che vi si sono verificati. Tuttavia, questa condizione di ricchezza documentale non è condivisa da tutte le regioni italiane, soprattutto in relazione alle

BOZZA

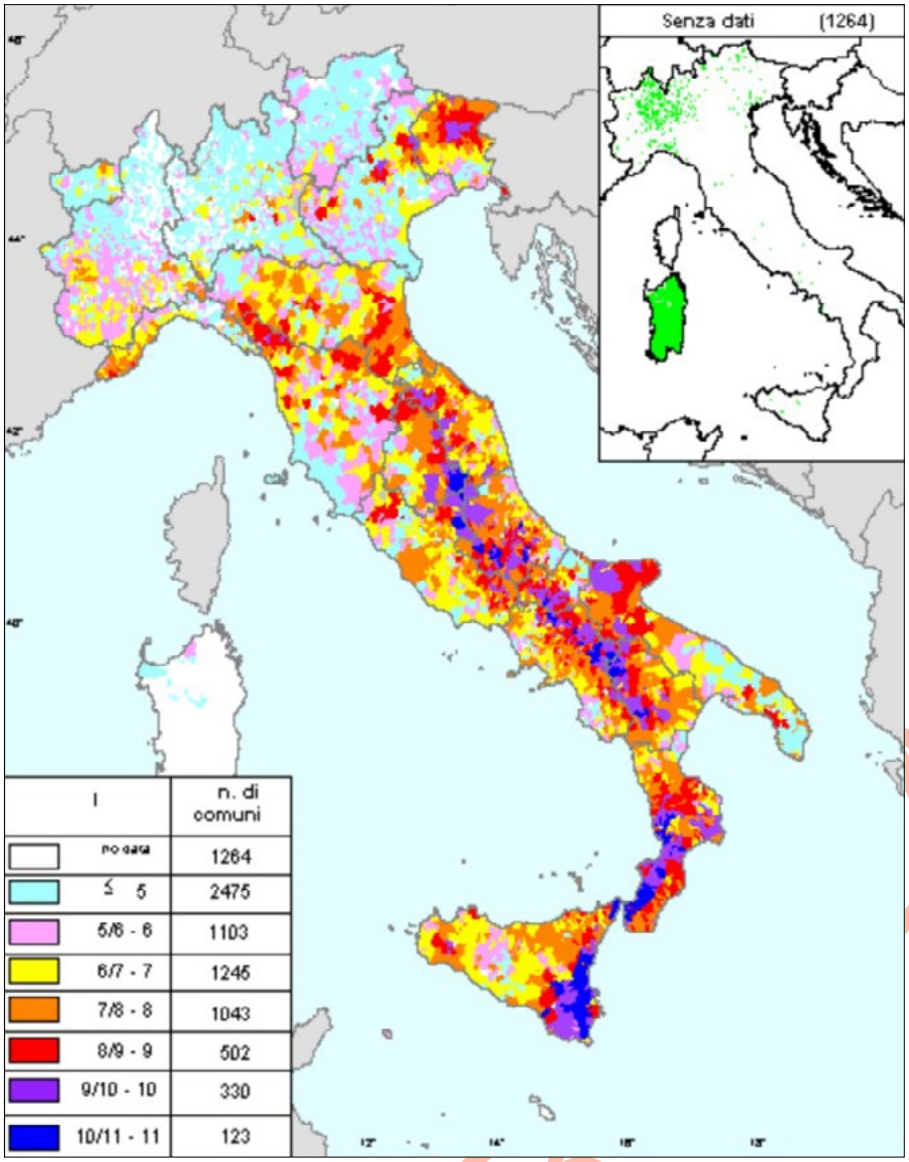


Figura 1 – Mappa delle massime intensità macrosismiche documentate per eventi tra il 1000 e il 1992 (da Camassi et al., 2000)

differenti caratteristiche della sismicità nelle diverse parti del paese. Infatti, se per le aree di maggiore pericolosità sismica (per esempio la fascia appenninica centrale e meridionale, l'arco calabro e la Sicilia orientale) il catalogo dei terremoti storici riporta un elevato numero di eventi con effetti di danno importanti, per regioni dove i terremoti forti hanno una ricorrenza più bassa, i dati disponibili sono alquanto più limitati.

Quest'ultimo è appunto il caso della regione pugliese, dove la maggior parte dei terremoti storici di maggiore impatto si concentra in un arco di tempo di poco più di secolo tra il 1627 e il 1743. La presenza di un record storico più povero di eventi non deve però indurre a ritenere che la regione pugliese non sia esposta a terremoti potenzialmente disastrosi: una mappa dei massimi scuotimenti sismici documentati in Italia, per esempio in termini di intensità macrosismica secondo la scala MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg), mostra che questi massimi sono del tutto confrontabili con quelli relativi alle aree italiane di maggiore pericolosità (vedi *Fig.* 1).

Il fatto che in una data area forti terremoti si ripresentino ad intervalli che scavalcano diverse generazioni può indurre ad una scarsa considerazione del problema. L'assenza di esperienze dirette o di testimonianze di prima mano sugli effetti dei grandi terremoti del passato può portare a pratiche che, sulla base di valutazioni poco meditate e di interessi di breve termine, creano i presupposti perché, al prossimo verificarsi di un forte terremoto, ne conseguano effetti disastrosi. Da questo punto di vista, i recenti eventi sismici dell'Italia centrale costituiscono una lezione che non va dispersa. È perciò essenziale coltivare la memoria storica della sismicità di una regione, per rendere diffusa la consapevolezza dell'esistenza di un rischio da non sottovalutare, sollecitando un atteggiamento più attento e responsabile rispetto alla prevenzione dei rischi naturali.

In considerazione di ciò, questa nota richiama i dati fondamentali della storia sismica della Puglia, evidenziando l'eterogeneità delle caratteristiche sismiche del territorio pugliese ed alcune problematiche relative ai riflessi che la limitatezza del record storico ha sulle incertezze di stima della pericolosità.

2. DATI DI SISMICITÀ STORICA

Una mappa degli scuotimenti sismici documentati storicamente per il territorio pugliese, anche in una forma grezza come quella dei massimi di intensità (*Fig.* 1), evidenzia una considerevole eterogeneità delle caratteristiche di sismicità del territorio pugliese, con un andamento tendenzialmente decrescente dell'energia degli scuotimenti da nord a sud, passando dall'area della Capitanata, alle Murge ed al Salento, sia pure articolato dalla presenza di rilevanti massimi locali nel territorio salentino.

Questo trend appare correlato con il quadro tettonico-strutturale che individua nella Puglia un lembo emerso di una piattaforma carbonatica al margine della microplacca Adriatica. Svariati dati di geodinamica convergono nell'attribuire a tale microplacca un moto di rotazione antioraria, sotto la spinta contrapposta delle macro-placche Africana ed Euroasiatica. Trattandosi di una microplacca rigida circondata su tre lati da domini strutturali più deformabili, essa condiziona la sismicità di questi ultimi, scaricando su di essi gli stress tettonici accumulati lungo i suoi margini, in corrispondenza di strutture orogeniche che vanno dalla catena appenninica a quella alpina ed alle catene costiere della penisola balcanica (*Fig.* 2).

In questo contesto, l'allungamento della Puglia lungo una direzione obliqua rispetto al confine strutturale che separa la placca Adriatica dalla fascia orogenica appenninica, implica la presenza di un gradiente degli stress tettonici, che si riflette anche nel differente livello di sollevamento dei blocchi in cui è segmentata la piattaforma carbonatica (dal Gargano, alle Murge ed al Salento: vedi Doglioni *et al.*, 1994), a cui è associato un correlato decremento della sismicità.

Di seguito si richiamano i principali dati di sismicità storica relativi alle tre parti principali della regione pugliese.

2.1 Capitanata

La mappa di *Fig.* 1 mostra come la parte della Puglia che storicamente è stata interessata dai terremoti più distruttivi, con effetti fino al X grado MCS, è quella settentrionale, storicamente denominata Capitanata e compresa entro i vecchi confini della provincia di Foggia, fino al fiume Ofanto. Benché sia opinione diffusa che i maggiori fenomeni sismici pugliesi si siano localizzati nell'area del promontorio del Gargano, la suddetta mappa mostra che effetti sismici altamente distruttivi si sono verificati in passato praticamente in tutto il territorio della Capitanata, nel Subappennino Dauno come nel Tavoliere.

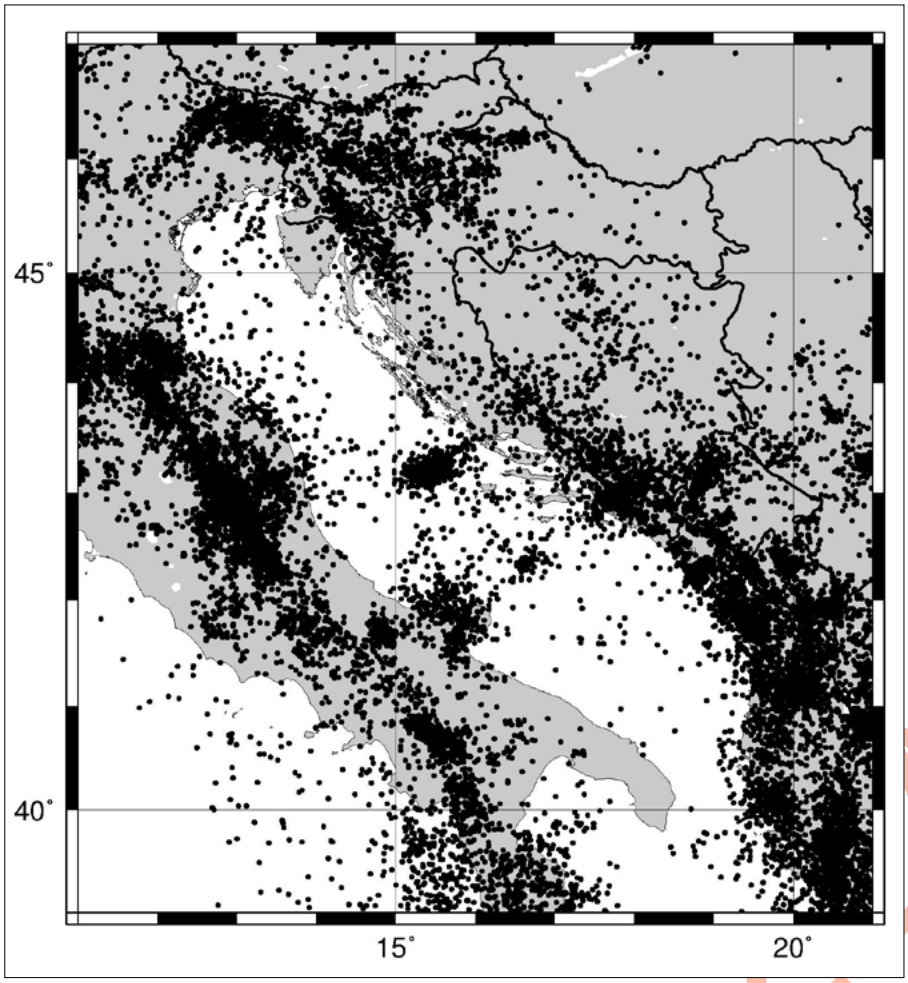


Figura 2 – Eventi di magnitudo maggiore di 2.0 registrati nell'area della placca Adriatica dal 1975 al 2016 (dati del USGS - National Earthquake Information Center, fino al 2005, e dell'INGV, per il periodo successivo)

Il più antico terremoto per il quale ci sono circostanziate testimonianze coeve circa la presenza di un numero rilevante di vittime è il terremoto del 17 luglio 1361, che colpì principalmente l'abitato di Ascoli Satriano, nel Sub-appennino Dauno. Cronache dell'epoca riportano che 4000 persone perirono per effetto di crolli diffusi in tutto l'abitato, ma l'area di danneggiamento severo si estese almeno fino a Canosa dove crollarono parte delle mura e molti edifici (Boschi *et al.*, 2000). L'area per la quale sono riportate indicazioni di danneggiamenti per questo terremoto non è però molto ampia. Se questo dipenda dal fatto che si siano perse nel tempo le testimonianze relative agli effetti del terremoto in altre località, o invece da una effettiva limitata estensione dell'area colpita, non è possibile accertarlo allo stato attuale delle conoscenze. Sulla base delle caratteristiche complessive del campo macrosismico, la più recente stima della magnitudo di momento sismico di questo terremoto (Lovati *et al.*, 2015, Rovida *et al.*, 2016) gli ha attribuito un valore Mw = 6.0 ± 0.5. Il numero di vittime riportato ad Ascoli Satriano appare anormalmente elevato per un terremoto di simile energia, ma è possibile, data l'ubicazione dell'abitato alla sommità di un rilievo collinare, che gli effetti di danneggiamento siano stati aggravati da fenomeni di amplificazione e/o dalla induzione di movimenti franosi che hanno destabilizzato i suoli di fondazione dell'edificato.

Dopo questo terremoto, per oltre 250 anni non sono riportati per la Puglia eventi con Mw ≥ 6.0 fino al 1627, anno della peggiore catastrofe sismica della storia pugliese, nonché inizio di un periodo di intensa sismicità durato circa 30 anni. L'evento del 1627 fu caratterizzato da un mainshock di magnitudo stimata Mw = 6.7 ± 0.1, verificatosi intorno a mezzogiorno del 30 luglio, e seguito da almeno tre aftershock di magnitudo considerevole, il primo un quarto d'ora dopo la scossa principale (Mw = 5.8) e gli altri nelle date del 7 agosto (Mw = 6.0) e 6 settembre (Mw = 5.8). L'area epicentrale è stata individuata nel Tavoliere settentrionale, tra San Severo, Apricena e Serracapriola e la distribuzione spaziale degli aftershock suggerisce un'evoluzione del processo di rottura lungo un allineamento approssimativamente Nord-Sud. Il numero di vittime riportate in cronache diverse è molto variabile, ma un'analisi critica delle fonti porta a ritenere come più attendibile una cifra intorno alle 5000 vittime, principalmente concentrate negli abitati di Apricena, Lesina, San Paolo di Civitate, San Severo, Serracapriola e Torremaggiore (Boschi *et al.*, 2000).

Di questo terremoto esistono diverse cronache e relazioni contemporanee, come quelle di Giovanni de Poardi (1627) e di Giovanni Antonio Foglia (1627) ed esiste persino quella che si può considerare uno dei primissimi esempi di 'carta macrosismica' (*Fig.* 3), redatta da Matthäus Greuter, un incisore alsaziano che operava a Roma. In tale carta è adottato un simbolismo per rappresentare diversi livelli di danneggiamento dei centri abitati («città ro-

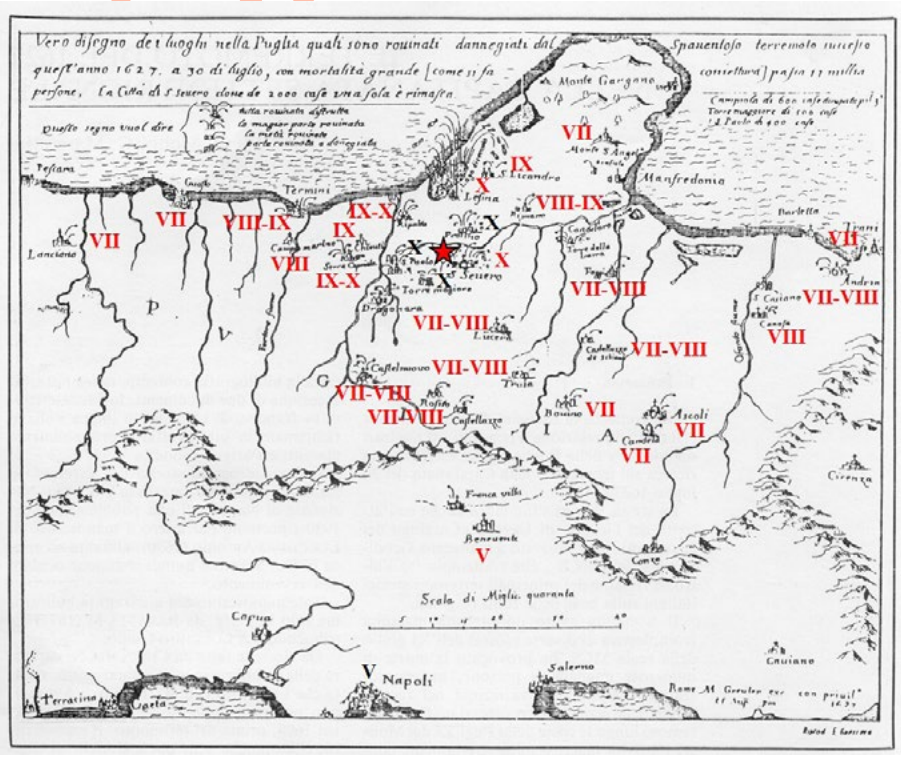


Figura 3 – Mappa degli effetti del terremoto del 1627, redatta da Matthäus Greuter (modificata dalla riproduzione riportata da Molin e Margottini, 1982), con sovrapposti, in rosso, la localizzazione dell'epicentro (marcata da una stella) e i valori di intensità macrosismica MCS secondo le stime del catalogo DMBI15 (Locati et al., 2015)

vinata distrutta», «la magior parte rovinata», «la metà rovinata», «parte rovinata o danegiata»), cui si possono far corrispondere diversi valori di intensità macrosismica, dedotti dalla descrizione dei danneggiamenti.

Tra le testimonianze degli effetti di questo terremoto appare di particolare interesse quanto riportato, tra gli altri, da Foglia (1627) circa il fatto che «... il mare della riviera di Fortore e di S. Nicandro si ritirò indietro due miglia e poi uscì fuori li suoi confini oltre due miglia ...». Si tratta chiaramente della descrizione di uno tsunami, di cui Gianfreda *et al.* (2001) hanno ritrovato anche alcune tracce geologiche, sotto forma di depositi di età cronologicamente compatibile, associati ad una violenta ingressione marina entro il bacino lacustre. È da sottolineare che lo studio citato ha anche evidenziato depositi della stessa natura datati a circa 1000 e 2000 anni prima, che suggeriscono il ripetersi di eventi tsunamogenici, sia pure ad intervalli di tempo molto lunghi.

Un altro fenomeno di interesse è riferito nella cronaca di de Poardi (1627), il quale, citando abbazie e chiese danneggiate, riporta che «... quella di Ripa Alta si dice sia stata inghiottita dalla voragine.». Questa descrizione potrebbe riferirsi allo sprofondamento dell'abbazia, di cui oggi rimane solo la chiesa ricostruita dopo il terremoto, per effetto della liquefazione di terreni alluvionali, essendo l'abbazia ubicata in prossimità della riva sinistra del fiume Fortore. Ciò richiama nuovamente l'attenzione sul fatto che il danneggiamento prodotto dagli scuotimenti sismici trasmessi dal suolo agli edifici può essere aggravato da fenomeni di deformazione e instabilità dei suoli su cui essi poggiano.

Diciannove anni dopo questo terremoto, il 31 maggio 1646, un altro evento colpì pesantemente il promontorio del Gargano, ed in particolare gli abitati di Ischitella, Vico del Gargano, Vieste e Peschici. Danni molto gravi furono però riportati anche a notevole distanza dall'area epicentrale, in particolare, ancora una volta, a Canosa, forse per effetti di amplificazione di sito, e le onde sismiche furono avvertite distintamente almeno fino a Napoli (Camassi *et al.*, 2008). Il complesso dei dati macrosismici ha portato a valutare per esso una magnitudo simile a quella dell'evento del 1627 (Mw = 6.7 ± 0.3), tuttavia il numero di vittime, per quanto più incerto, fu stimato nell'ordine di alcune centinaia, e quindi molto al di sotto della precedente crisi sismica. Ciò è da mettere in relazione con la minore densità di popolazione del promontorio garganico rispetto alla piana del Tavoliere ed evidenzia l'importanza che, nel quadro di danneggiamento, hanno le caratteristiche dell'insediamento della popolazione nei territori colpiti da eventi sismici.

Un recente studio (Camassi *et al.*, 2008) ha richiamato l'attenzione su un altro terremoto, sottovalutato dai precedenti cataloghi sismici, avvenuto circa 10 anni dopo in un'area in parte sovrapponibile a quella del terremoto del 1627. L'area epicentrale è stata individuata nei pressi di Lesina, con un mainshock avvenuto il 29 gennaio 1657, forse preceduto da una scossa minore il 17 ottobre dell'anno precedente e seguita da alcuni aftershock nel febbraio del 1657. Testimonianze coeve riportano che il terremoto, produsse danni, oltre che a Lesina, anche a San Severo, Torremaggiore, Apricena e Monte Sant'Angelo e che fu avvertito sino a Napoli. Le caratteristiche del campo macrosismico hanno portato ad attribuire alla scossa principale una magnitudo di momento pari a 6.0 ± 0.2.

L'ultima crisi sismica di dimensione regionale si ebbe nel 1731 e colpì il Tavoliere centro-meridionale. La scossa principale si verificò intorno alle quattro (ora solare locale) del 20 marzo e causò gravi distruzioni soprattutto a Foggia ed a Cerignola. In particolare, a Foggia ci furono 500 vittime, ma il bilancio complessivo, che, secondo diverse fonti, oscilla tra 1200 e 3600, fu reso incerto dalla presenza nelle campagne dei pastori abruzzesi impegnati nella pratica della transumanza. Questi pernottavano in fabbricati rurali di scadente qualità che crollarono diffusamente, ma di tali vittime, trattandosi di residenti temporanei, non fu possibile ottenere un censimento completo (Boschi *et al.*, 2000). Ci furono crolli diffusi e vittime anche a Cerignola e danni gravi con vittime furono registrati anche a Molfetta. La magnitudo stimata dai dati macrosismici è di 6.3 ± 0.1.

Dopo di questo terremoto, anche se scosse con effetti di danno e qualche vittima sono riportati dai cataloghi storici (per esempio una scossa di magnitudo 5.4 ± 0.2 il 10 agosto 1893, che fece quattro vittime a Mattinata), non si hanno notizie di crisi sismiche di impatto paragonabile a quello dei terremoti avvenuti tra il '600 e il '700.

2.2 Puglia centrale

Nell'area compresa tra l'Ofanto e la penisola salentina i cataloghi storici riportano un solo evento sismico noto per aver causato vittime, sia pure in numero limitato. Si tratta del terremoto di magnitudo 5.6 ± 0.5 verificatosi l'11 maggio del 1560, con effetti dell'VIII grado MCS a Barletta e Bisceglie, dove si ebbe un numero imprecisato di vittime, e del VII grado a Giovinazzo, dove crollò uno delle due torri campanarie della cattedrale. La localizzazione epicentrale di questo terremoto è incerta e, dato che tutte le località che lo hanno maggiormente risentito sono in zona costiera, è stato anche ipotizzato che la sorgente fosse in mare o persino lungo le prospicienti coste balcaniche.

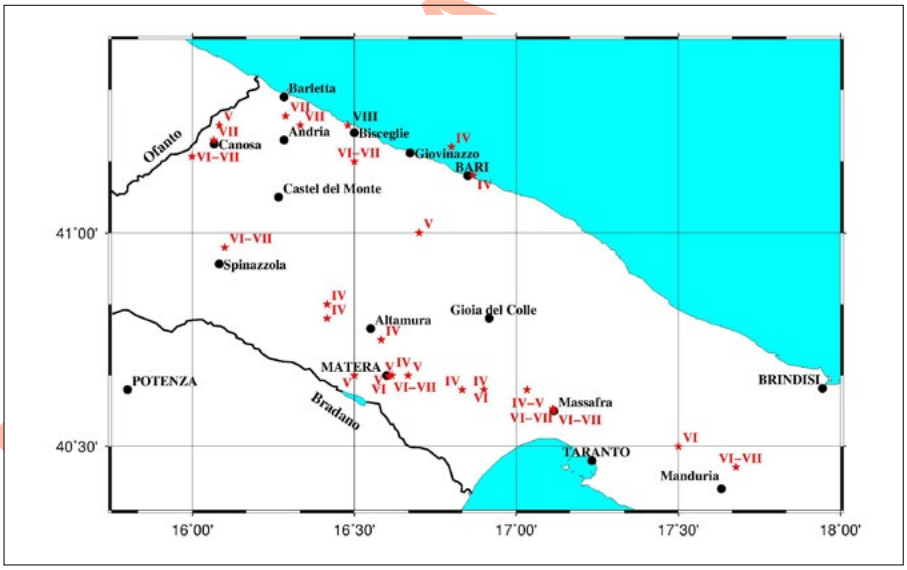


Figura 4 – Localizzazione epicentrale dei terremoti storici documentati nella Puglia centrale (stelle rosse). Le intensità epicentrali indicate derivano dai cataloghi CPTI (Rovida et al., 2016) e dal catalogo del progetto Finalizzato Geodinamica (Postpischl, 1985)

Ci sono tuttavia evidenze sia storiche che strumentali di un'attività sismica, sia pure di bassa energia, endogena nell'area dell'altopiano murgiana (Del Gaudio *et al.*, 2005). La *Fig.* 4 riporta una mappa degli eventi sismici avvenuti nella Puglia centrale, di cui si ha notizia storica.

La difficoltà di una accurata localizzazione di tale attività, per quel che riguarda la sismicità storica, è legata a due circostanze. La prima è che tutti i maggiori centri abitati dell'area murgiana sono distribuiti o in prossimità della costa o verso la valle del Bradano, mentre sono assenti nella parte centrale dell'altipiano, il che ha indotto ad identificare le aree sorgente dei terremoti risentiti in questa regione verso l'esterno dell'area murgiana, o in corrispondenza dell'area adriatica o di quella appenninico-bradanica, a seconda

di quali fossero i centri per i quali sono stati riportati i maggiori risentimenti. A ciò si aggiunge il fatto che, in molti casi, i terremoti di area murgiana si sono verificati nella coda di crisi sismiche maggiori verificatesi in aree contigue sismicamente più attive (catena appenninica o Capitanata), andandosi così a confondere con gli aftershocks di quelle sequenze sismiche. Per esempio, scosse con effetti del VI-VII grado hanno interessato gli abitati di Andria e Barletta tra il 21 e il 22 settembre 1689, a poco più di un anno dal fortissimo terremoto di magnitudo 7.1 ± 0.1 che causò estese devastazioni e circa 10000 vittime nel Sannio. Analogamente, dopo un altro fortissimo terremoto di analoga magnitudo, che causò circa 20000 vittime in Val d'Agri il 16 dicembre 1857, all'interno della serie di aftershock vennero rilevate, tra gennaio e maggio dell'anno successivo, alcune scosse con probabile localizzazione murgiana, che produssero i massimi risentimenti a Canosa, Matera e Spinazzola.

A proposito di questo tipo di eventi è stata avanzata l'ipotesi che rotture di grandi faglie al margine della placca adriatica in occasione di forti terremoti possano aver indotto una redistribuzione degli stress tettonici anche all'interno della placca, con riattivazione di faglie preesistenti (Del Gaudio *et al.*, 2005). Questa interpretazione è supportata dall'osservazione di eventi strumentali, sia pure su una scala energetica più ridotta. Meno di un anno dopo il terremoto di magnitudo 5.0 del 5 maggio 1990 nel potentino, una sequenza sismica comprendente una ventina di scosse venne registrata nell'area di Castel del Monte. La più forte scossa della sequenza, avvenuta il 25 febbraio 1991, ebbe magnitudo 3.1 e, nell'insieme, la distribuzione degli ipocentri suggerisce un'origine associata ad una faglia diretta che delimita una struttura a graben nelle Murge alte.

Non mancano, per altro, casi di eventi sismici che non sono collegati a forti terremoti di regioni contigue, come il terremoto del 12 maggio 1856, di cui è citato un mainshock con intensità epicentrale VI-VII MCS, seguito da due aftershocks, che causarono lievi danni nella parte settentrionale della provincia di Bari. Così pure, il più forte terremoto murgiano registrato dalle reti strumentali è una scossa isolata di magnitudo 3.4 avvenuta il 26 giugno 1988, con epicentro pochi chilometri a sud-est di Altamura. È inoltre degno di nota che i dati delle maggiori scosse strumentali (come il mainshock della sequenza del 1991 e l'evento del 1988) indicano profondità ipocentrali relativamente elevate (intorno ai 20 km), che collocano le associate rotture di faglia a livello della crosta inferiore

Nel complesso, i dati storici e strumentali indicano che l'area centrale della Puglia non è da considerarsi totalmente asismica ed episodi di rilascio di stress tettonici si verificano occasionalmente, anche se lungo strutture di dimensioni ridotte, che generano terremoti di energia limitata, capaci al più di produrre qualche danno, ma non crisi sismiche di elevato impatto. Ne consegue che la pericolosità sismica di quest'area è principalmente legata al risentimento di forti terremoti di area appenninica o nord-apula, che localmente può produrre scuotimenti potenzialmente pericolosi, quando sussistono condizioni di amplificazioni di sito. Questo può essere, per esempio, il caso di Canosa, che ha spesso mostrato risentimenti di intensità superiore rispetto a ad altri siti meno distanti dall'area epicentrale, come nei casi del terremoto dauno del 1361 e di quello garganico del 1646.

2.3 Salento

Fissando il limite geografico della penisola salentina in corrispondenza della depressione Taranto-Brindisi, anche nota come "Soglia Messapica" (Pieri *et al.*, 1997), i dati di sismicità storica riconducibili a sorgenti localizzate all'interno del Salento sono molto scarsi, in accordo con le osservazioni di sismicità strumentale che indicano un'attività sismica piuttosto debole (Pierri *et al.*, 2013). Il catalogo CPTI (Rovida *et al.*, 2016), riporta solo due eventi all'interno della penisola salentina, con magnitudo modesta (4.2 - 4,5) nel 1710 e nel 1909 e con effetti massimi del V grado MCS, rispettivamente localizzati in prossimità di Manduria e di Nardò (*Fig.* 5).

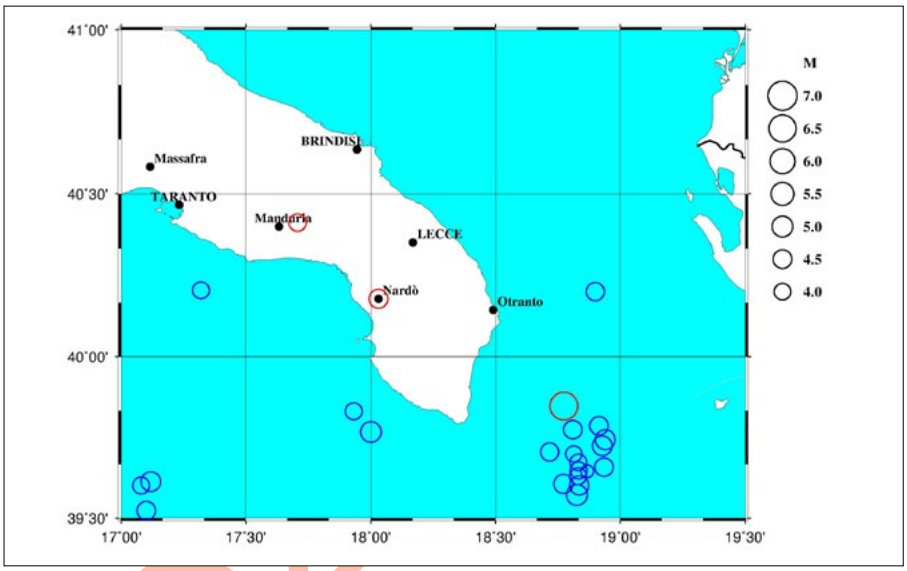


Figura 5 – Eventi sismici dell'area salentina riportati nel catalogo CPTI (Rovida et al., 2016). Il diametro dei cerchi è proporzionale alla magnitudo stimata (vedi legenda). I cerchi in rosso si riferiscono a eventi la cui magnitudo è stata ricavata da dati di intensità macrosismica, mentre i cerchi in blu identificano magnitudo ricavate da registrazioni strumentali

Rispetto a questo quadro c'è però una vistosa eccezione rappresentata da un terremoto di incerta localizzazione che il 20 febbraio 1743 causò un considerevole numero di morti in alcuni centri del Salento, in particolare tra 120 e 400 nella sola Nardò, ed altri, in numero più limitato, tra Brindisi, Francavilla Fontana, Galatina e Taranto (Boschi *et al.*, 2000; Galli &

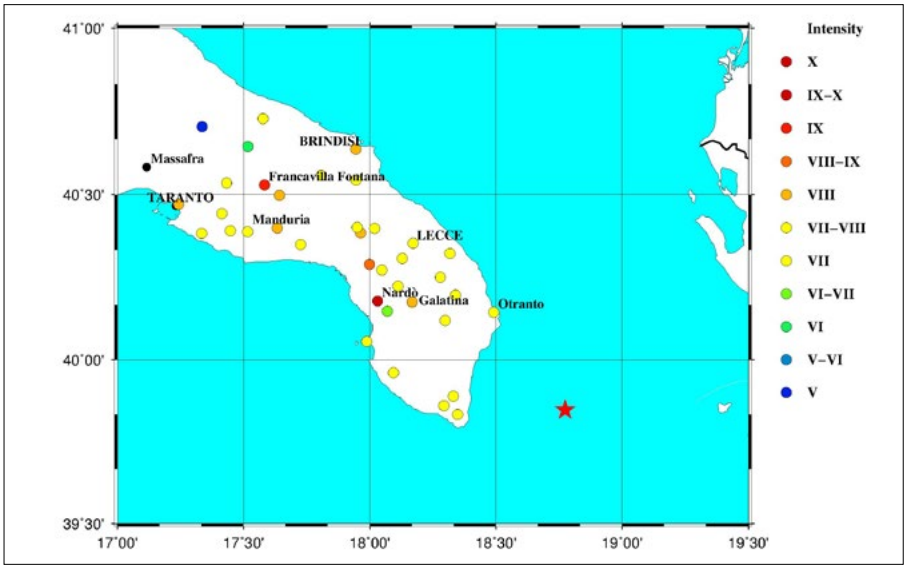


Figura 6 – Campo macrosismico del terremoto del 20 febbraio 1743 (dati da Locati et al., 2015). Le intensità sono riportate secondo la scala di colori in legenda. La stella rossa indica la localizzazione epicentrale riportata da Rovida et al., 2016.

Naso, 2008). A questo terremoto è stata attribuita, su base macrosismica, una magnitudo di 6.7 ± 0.1 (Rovida *et al.*, 2016) ed ebbe un'area di risentimento molto estesa: danni e vittime vennero riportate in alcune isole greche dello Ionio (Lefkada, Corfù, Zante) e la scossa venne avvertita in località molto distanti, da Malta a Napoli, Roma, Milano e Venezia (Boschi *et al.*, 2000). La localizzazione epicentrale di questo terremoto è resa incerta dalla irregolarità del campo macrosismico che mostra una dispersione di effetti di intensità molto variabile entro brevi distanze (*Fig.* 6), sicché risulta difficile individuare un'area ristretta di massimo risentimento. Attualmente l'ipotesi maggiormente accreditata colloca la sorgente nel Canale d'Otranto in un'area dove in tempi più recenti è stata registrata da reti strumentali una certa attività sismica (vedi anche *Fig.* 5). Va osservato che il forte risentimento di questo terremoto può essere stato favorito dalla ridotta attenuazione delle onde sismiche che si propagano attraverso la struttura rigida della Placca Adriatica, il che accentua sistematicamente il risentimento di terremoti di area greco-ionica anche relativamente distanti (Pierri *et al.*, 2013).

Il fatto che in Salento le intensità massime non siano state risentite nelle località più prossime all'epicentro, ma a Nardò (IX-X) e Francavilla Fontana (IX), trova spiegazione come il risultato di amplificazioni di sito legate alla geologia locale caratterizzata dalla presenza di depositi sabbioso-argillosi pleistocenici sovrapposti a rocce carbonatiche più rigide (Galli & Naso, 2008). Questi depositi riempiono bacini associati a bassi strutturali, con spessori dell'ordine dei 20 m, una situazione che induce amplificazioni a frequenze di risonanza proprie delle costruzioni di pochi piani, tipiche dell'edilizia tradizionale locale. Questi bacini si alternano con alti strutturali dove il bedrock carbonatico affiora e dove sono quindi assenti effetti di amplificazione: ciò può spiegare la irregolare distribuzione di intensità osservate per questo terremoto attraverso tutto il territorio salentino.

Questi dati evidenziano, quindi, che la pericolosità sismica del Salento è legata principalmente ad una attività sismica che ha origine esternamente al territorio salentino. Gli effetti di questa sismicità possono essere fortemente risentiti localmente, sia per la maggiore efficienza della propagazione dell'energia sismica attraverso la Placca Adriatica, sia per effetti di amplificazione locale che, date le diversificate caratteristiche della risposta di sito, determinano un quadro di forte variabilità locale del quadro di danneggiamento.

3. PROBLEMATICHE NELLE STIME DI PERICOLOSITÀ SISMICA

L'affidabilità delle stime di pericolosità sismica e, conseguentemente, quella della definizione delle azioni sismiche di progetto, dipende dalla adeguatezza dei modelli statistici nel rappresentare l'evoluzione futura della sismicità e da quanto siano affidabili le stime dei tassi di sismicità dedotti dall'analisi della sismicità storica. Rispetto a ciò, l'uso dei dati di sismicità storica per il calcolo della pericolosità sismica della Puglia presenta alcuni problemi che richiamano la necessità di un approfondimento degli studi sulla sismicità di questa regione.

Un primo problema è rappresentato dalla identificazione delle sorgenti dei maggiori terremoti storici, in particolare di quelli che hanno interessato la Capitanata. La identificazione delle strutture sismogenetiche responsabili dei maggiori terremoti influenza la definizione della geometria delle zone sismogenetiche, che, a sua volta, condiziona considerevolmente gli esiti dei calcoli di pericolosità. La zonazione sismogenetica attualmente utilizzata per le stime di pericolosità associa quasi tutti i maggiori terremoti della storia pugliese (1361, 1627, 1731, 1560) a strutture di tipo trascorrente con sviluppo est-ovest (vedi DISS Working Group, 2015). Non essendo state trovate evidenze superficiali delle rotture di tali faglie, cronologicamente compatibili con i terremoti storici, è stato ipotizzato che questi abbiano avuto origine da faglie cieche relativamente profonde, la cui rottura non ha raggiunto la superficie. Tuttavia, tali ricostruzioni sono ancora affette da ampi margini di incertezza e non individuano l'origine di alcuni terremoti importanti (1646, 1657). Non mancano, inoltre, dati discordanti con questo modello ed ipotesi alternative circa l'ubicazione delle faglie responsabili di tali terremoti, per cui la questione non può considerarsi definitivamente risolta e merita senz'altro di essere ancora oggetto di investigazioni, data l'importanza che riveste ai fini di una corretta valutazione della pericolosità.

Un secondo aspetto critico, oltre alla definizione della geometria delle zone sismogenetiche, è quella della definizione dei relativi tassi di sismicità. Come precedentemente riportato, il numero di forti terremoti verificatisi in Puglia (ed in particolare nella sua parte settentrionale) è piuttosto ridotto, a causa dei tempi medi di ritorno alquanto lunghi dei maggiori terremoti. Ciò comporta elevate in-

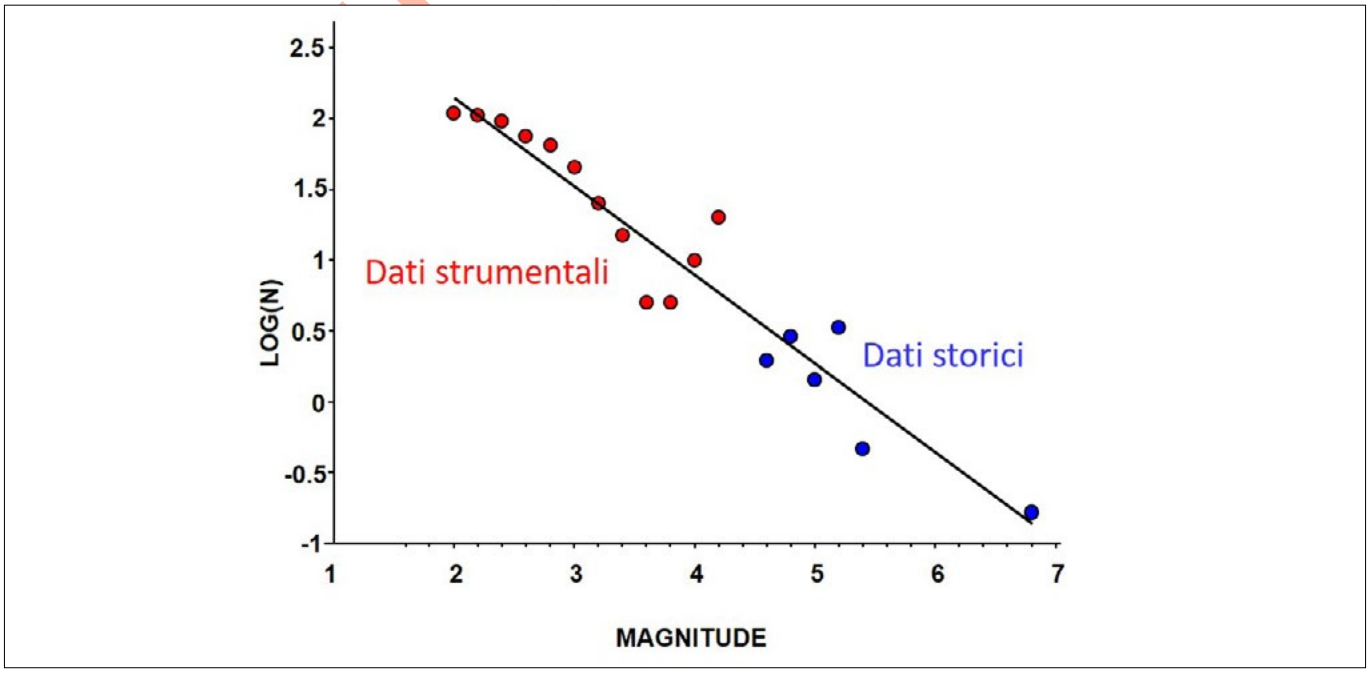


Figura 7 – Grafico rappresentativo dei tassi di sismicità di una zona sismogenetica, in cui, secondo la legge di Gutenberg-Richter (1944), il logaritmo del numero di terremoti di magnitudo maggiore o uguale ad M decresce linearmente con il valore di M. Nel grafico sono combinati dati relativi ad eventi di bassa magnitudo registrati strumentalmente (in rosso) con eventi maggiori riportati in cataloghi storici (in blu)

COPIA

certezze nelle stime dei parametri statistici necessari al calcolo dei tassi di sismicità.

Rispetto a questo problema, però, un supporto alla riduzione delle incertezze può derivare dall'acquisizione continua di dati strumentali di bassa energia. Il numero dei terremoti di diversa magnitudo che si verificano per unità di tempo in una data regione segue una ben nota legge di dipendenza log-lineare dal valore della magnitudo (Gutenberg e Richter, 1944). È quindi possibile definire il numero atteso di forti terremoti individuando i parametri di tale legge attraverso l'integrazione dei dati relativi al numero di piccoli terremoti registrati, con quello, più incerto, dei terremoti maggiori (vedi esempio di *Fig.* 7). Dato che i terremoti di bassa energia sono molto più frequenti, il tasso con cui il loro numero si riduce al crescere della magnitudo può essere definito anche attraverso osservazioni condotte in un numero relativamente ridotto di anni. Ciò fornisce un vincolo più stringente alla definizione di tale tasso anche per eventi di energia maggiore.

Un ultimo aspetto che merita approfondimenti è rappresentato dall'influenza che sugli effetti dei terremoti risentiti in una regione deriva dalla presenza di condizioni geologiche locali tali da produrre effetti di amplificazione degli scuotimenti sismici. Come rilevato da Galli e Naso nel loro studio sul terremoto che interessò il Salento nel 1743, le intensità macrosismiche dei terremoti storici possono registrare le differenze di risposta di sito associate alle condizioni geologiche locali. Questo può influenzare considerevolmente la definizione del campo macrosismico e la stessa individuazione dei parametri dei terremoti storici (coordinate epicentrali e magnitudo) che poi si riflettono anche nella definizione dei tassi di sismicità usati per il calcolo della pericolosità di base. È quindi di grande importanza approfondire le caratteristiche della risposta sismica di sito su tutto il territorio, sia per "filtrare" e correggere i dati di sismicità storica, ai fini di una più corretta definizione della pericolosità di base, sia perché tali caratteristiche vanno tenute in conto per una valutazione della effettiva pericolosità locale. Diversi esempi tratti dalla storia sismica tratteggiata nel precedente capitolo, evidenziano che rilevanti effetti di danno possono verificarsi anche in aree non interessate da una significativa sismicità autoctona, in occasione di forti terremoti che si verificano a distanze apparentemente di sicurezza, quando sussistono condizioni di amplificazione locale o suscettibilità a fenomeni deformativi del suolo indotti dalle onde sismiche.

Rispetto a questo problema, per altro, non è necessario attendere l'osservazione diretta di tali effetti di sito in occasione di forti terremoti, dato che esiste un complesso di pratiche investigative di natura geologica e geofisica, in grado di identificare aree potenzialmente esposte a fenomeni di questo tipo. Si tratta, naturalmente, di avere la lungimiranza di investire risorse adeguate per l'applicazione di tali pratiche, senza attendere la spinta emotiva della prossima catastrofe sismica, con la consapevolezza che le risorse investite nella prevenzione degli effetti futuri si risolverà in un risparmio sia in termini economici che di lutti e devastazioni.

3. CONCLUSIONI

Coltivare la memoria storica dei terremoti che hanno colpito una regione è particolarmente importante lì dove i terremoti di elevata energia avvengono ad intervalli di tempo che coprono multiple generazioni. La mancanza di esperienze dirette di eventi sismici, o almeno di una memoria trasmessa oralmente da una generazione alla successiva, tende a produrre una sottovalutazione del problema e una scarsa attenzione rispetto all'adozione di misure di prevenzione del rischio.

Il territorio pugliese si trova appunto in questo tipo di situazione. I dati di sismicità storica indicano che terremoti di magnitudo pari o superiore a 6.0 hanno avuto luogo in più occasioni nel nord della Puglia, causando un numero di vittime nell'ordine delle migliaia, ma il più recente di questi eventi risale al 1731. Inoltre, gravi effetti sono stati riscontrati in Salento almeno in una occasione nel 1743, per effetto di un forte terremoto che, pur avendo avuto origine al di fuori del territorio regionale, ha causato devastazioni e un considerevole numero di vittime, probabilmente per effetto di amplificazioni locali del moto sismico, prodotte dalla particolare conformazione geologica del Salento. La distanza temporale di questi eventi può indurre a far ritenere il rischio sismico un problema secondario cui non è necessario prestare particolare attenzione. I recenti eventi sismici dell'Italia centrale devono oggi essere colti come monito circa le disastrose conseguenze che possono derivare dall'abitare un territorio senza conoscerlo approfonditamente e avendo cancellato dalla memoria la lezione degli eventi sismici del passato.

BIBLIOGRAFIA

Boschi E., Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Valensise G., Gasperini P. (2000), *Catalogue of strong Italian earthquakes from 461 B.C. to 1997*. Ann. Geofis., 43, 609-868.

Camassi R., Ercolani E., Mirto C., Stucchi M. (2000), *Analisi e confronti verso la nuova mappa delle massime intensità macrosismiche osservate*. In: *Le ricerche del GNDT nel campo della pericolosità sismica (1996-1999)*, a cura di F. Galadini, C. Meletti, A. Rebez. CNR-GNDT, 345-355.

Camassi R., Bernardini F., Castelli V., Meletti C. (2008), *A 17th Century Destructive Seismic Crisis in the Gargano Area: Its Implications on the Understanding of Local Seismicity*. J. Earthq. Eng., 12, 1223-1245.

Del Gaudio V., Pierri P., Calcagnile G., Venisti N. (2005), *Characteristics of the low energy seismicity of central Apulia (southern Italy) and hazard implications*. J. Seismol., 9, 39-59.

De Poardi G. V. (1627), *Nuova relatione del grande e spaventoso terremoto successo nel Regno di Napoli, nella provincia di Puglia, in venerdì alli 30 di Luglio 1627*, Roma.

diss working group (2015), *Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*. http://diss.rm.ingv.it/diss/, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; doi:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.

Doglioni C., Mongelli F., Pieri P. (1994), *The Puglia uplift (SE Italy): an anomaly in the foreland of the Apenninic subduction due to buckling of a thick continental lithosphere*. Tectonics 13, 1309-1321.

Foglia G. A. (1627), *Historico discorso del gran terremoto successo nel regno di Napoli, nella provincia di Capitanata di Puglia, nel corrente anno 1627 adì 30 di luglio à hore sedici*, Napoli.

Galli P., Naso G. (2008), *The 'Taranta' Effect of the 1743 Earthquake in Salento (Apulia, Southern Italy)*, Boll. Geofi. Teor. Appl., 49 (2), 177-204.

Gianfreda F., Mastronuzzi G., Sansò P. (2001), *Impact of historical tsunamis on a sandy coastal barrier: an example from the northern Gargano coast, southern Italy*, in Natural Hazard and Earth System Science, 1, 213-219.

Gutenberg B., Richter C.F. (1944), *Frequency of earthquakes in California*. Bulletin of Seismological Society of America, 34, 185-188.

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'amico S., Conte S., Rocchetti E. (2015), DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15.

Molin D., Margottini C. (1982), *Il terremoto del 1627 nella Capitanata settentrionale. Contributo alla caratterizzazione della sismicità del terremoto italiano*. Memorie presentate al Convegno annuale del Progetto Finalizzato Geodinamica del CNR sul tema: "Sismicità dell'Italia: stato delle conoscenze scientifiche e qualità della normativa sismica", Udine, 12-14 maggio 1981, Commissione ENEA-ENEL per lo studio dei problemi sismici connessi con la realizzazione di impianti nucleari, Roma, 251-279.

Pieri P., Festa V., Moretti M., Tropeano M. (1997), *Quarternary Tectonic Activity of the Murge area (Apulian Foreland-Southern Italy)*," Ann. Geophys., 40 (5), 1395-1404.

Pierri P., De Lorenzo S., Calcagnile G. (2013), *Analysis of the Low-Energy Seismic Activity in the Southern Apulia (Italy)*, Open Journal of Earthquake Research, 2, 91-105.

Postpischl D. (ed.) (1985), *Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980*. CNR-Progetto Finalizzato Geodinamica, Quaderni della Ricerca Scientifica, 114 2B, Bologna, pp.239.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (editors) (2016), *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15.

BOZZA

Storia sismica della Basilicata con particolare riguardo ai secoli XIX e XX

Seismic history of Basilicata with special regard to the 19th and 20th centuries

Fabrizio Terenzio Gizzi
E-mail: f.gizzi@ibam.cnr.it

Maria Rosaria Potenza
E-mail: m.potenza@ibam.cnr.it

Istituto per i Beni Archeologici e Monumentali,
Consiglio Nazionale delle Ricerche (IBAM, CNR)
Tito Scalo (PZ)

Parole chiave (*key words*): terremoto (*earthquake*), Appennino meridionale (*Southern Apennines*), distribuzione del danno (*damage pattern*), ricostruzione (*rebuilding*)

INTRODUZIONE

La fragilità del territorio italiano riguardo ai rischi naturali, segnatamente quello sismico ed idrogeologico, è un aspetto ben noto. Questa problematicità ha condotto la comunità nazionale ad affrontare, dal 1944 al 2012, costi complessivi pari a circa 242.5 miliardi di euro, 181 dei quali per danni provocati da eventi sismici e 61.5 per quelli legati ad eventi idrogeologici, per un costo medio annuo di 3.5 miliardi di euro (ANCE-CRESME, 2012).

In quest'ottica, la conoscenza degli eventi naturali estremi che hanno storicamente interessato un determinato territorio e l'analisi delle conseguenze sul tessuto antropico e territoriale sono un tassello imprescindibile per la messa in campo di strategie mirate sia alla previsione sia alla prevenzione. Ciò è particolarmente vero in un territorio come quello italiano caratterizzato da un'importante attività sismica e nel contempo da scarsa percezione del rischio da parte della popolazione, fattore questo che tende ad aggravare gli esiti di un evento naturale estremo (Gizzi *et al.*, 2016a).

Nel contesto dei paesi del Mediterraneo, l'Italia è un territorio caratterizzato da sismicità medio-alta: in media ogni 100 anni si verificano più di 100 terremoti di magnitudo compresa tra 5.0 e 6.0 e dai 5 ai 10 terremoti di magnitudo superiore a 6.0. Le aree sedi dei terremoti sono quelle dell'intero arco appenninico, della parte orientale delle Alpi e quelle in prossimità delle aree vulcaniche. Soffermandosi più da vicino sulla storia sismica dell'Italia, una rapida analisi del *Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015* (CPTI15, Rovida *et al.*, 2016) mette in evidenza come il Paese sia stato teatro di numerosi ed energetici eventi. Per avere un quadro statistico di riferimento dei forti terremoti basta ricordare che nel corso degli ultimi mille anni circa quaranta terremoti con magnitudo (Mw) maggiore o uguale a 6.5 hanno colpito l'Italia, con specifico riguardo alla fascia assiale appenninica tra l'Umbria e la Calabria. Questi terremoti hanno determinato profondi cambiamenti nel tessuto urbano con abbandoni di località, ricostruzioni in sito o delocalizzazioni di centri demici, conseguenze socio-economiche con distruzioni di contesti produttivi e compromissione delle interrelazioni sociali, mutamenti nel contesto territoriale indotti, ad esempio, dagli effetti secondari di eventi sismici come i fenomeni franosi (Gizzi *et al.*, 2014; Gizzi *et al.*, 2016b).

In questo ambito si colloca la Basilicata che è stata soggetta a terremoti che hanno avuto origine sia in aree interne alla regione o al confine con la Campania (ad esempio la sequenza sismica dei mesi di luglio-agosto 1561, terremoto del 14 agosto 1851 e del 16 dicembre 1857) sia in aree ad essa esterne, ubicate prevalentemente in Irpinia (ad esempio i terremoti dell'8 settembre 1694 e del 23 novembre 1980).

Il quadro sismico della Basilicata è, tuttavia, più complesso sia per quanto riguarda l'articolazione delle aree di origine degli eventi sismici (*Fig.* 1), sia per quanto attiene gli impatti degli effetti diretti (a breve termine) o indiretti (a lungo termine) che si sono verificati nel tessuto antropico-insediativo nel corso dei secoli.

Partendo da questa premessa, il contributo analizza brevemente la sismicità che ha interessato la Basilicata nel corso degli ultimi mille anni. A tal fine sono stati estratti dal CPTI15 i terremoti di cui in Tabella 1. Tale elenco, che include circa 60 eventi, è stato costruito selezionando i terremoti, o in taluni casi le loro sequenze, per i quali in almeno una località della Regione sono stati osservati effetti riconducibili ad un'intensità macrosismica uguale o superiore al grado 6 MCS. Nel prosieguo dell'articolo saranno discussi più in dettaglio, ma senza alcuna pretesa di esaustività, i terremoti che hanno causato le maggiori conseguenze nel territorio lucano.

LA CRONISTORIA SISMICA

Terremoto del 18 dicembre 1273 (Potenza)

Analizzando la storia sismica della Basilicata attraverso il CPTI15 emerge come il primo terremoto verificatosi dopo l'anno Mille sia quello occorso nel 1273. L'evento determinò



Figura 1 – Terremoti in Basilicata e nelle aree contermini nel corso degli ultimi mille anni. Una selezione di tali eventi è riportata in Tab. 1. Gli eventi sismici più significativi per la Regione e oggetto di trattazione specifica nel testo sono segnalati nella figura con l'anno (e eventualmente il mese) di occorrenza (da Rovida et al., 2016, modificato)

WEB COPY

Tabella 1 – Terremoti che hanno determinato danni in Basilicata dall'anno 1000 in poi. Sono elencati gli eventi sismici per i quali in almeno una località regionale sono documentati effetti riconducibili ad un'intensità macrosismica uguale o superiore al grado 6 MCS (grado da cui inizia il danneggiamento lieve, ma esteso). I dati identificativi del terremoto (data, orario, area epicentrale, intensità epicentrale-Io- e magnitudo-Mw-) derivano da CPTI15 (Rovida *et al.*, 2016). Nell'ultima colonna di destra è aggiunto il settore della Regione interessato dalle conseguenze dell'evento sismico, considerando la distribuzione geografica delle località con intensità macrosismica pari o superiore al grado 6 MCS. Quando il terremoto ha coinvolto una sola località, la stessa è riportata. Tra parentesi quadre è indicata la provincia della località, tra parentesi tonde il valore più elevato dell'intensità macrosismica (MCS) tra le località regionali coinvolte nel terremoto. DS=Terremoti descritti nell'articolo (l'ubicazione di questi ultimi è evidenziata in *Fig.* 1)

Anno Mese Giorno		Ora Min	Area epicentrale	Io	Mw	Porzione della Regione o località coinvolta
1273 12 18	DS	--	Potenza	8-9	5.80	Potenza (8-9)
1353 04 22	--	--	Vulture	-	-	Melfi [PZ] ("gravi danni")
1456 12 05	--	--	Appennino centro-meridionale	11	7.19	Vulture-Melfese (8-9)
1466 01 15		02 25	Irpinia-Basilicata	8-9	5.98	Nord-occidentale (8)
1561 07 31	DS	19 45	Vallo di Diano	9	6.34	Centro-occidentale (9)
1561 08 19	DS	15 50	Vallo di Diano	10	6.72	Nord-occidentale (10-11)
1625 08 --	--	--	Vulture	8-9	5.80	Venosa [PZ] (8-9)
1634 11 10	--	--	Matera	6-7	4.86	Matera (6-7)
1638 03 27	--	15 05	Calabria Centrale	11	7.09	Maratea [PZ] (6)
1688 06 05	--	15 30	Sannio	11	7.06	Vulture (8)
1692 03 04	--	22 20	Irpinia	8	5.88	Muro Lucano [PZ] (8)
1693 01 08	--	--	Pollino	7	5.27	Anglona e Pedali ("danno")
1694 09 08	DS	11 40	Irpinia-Basilicata	10	6.73	Centro-settentrionale (10)
1708 01 26	--	--	Pollino	8	5.56	Pollino (8-9)
1731 03 20	--	03	Tavoliere delle Puglie	9	6.33	Vulture (7)
1732 11 29	--	07 40	Irpinia	10-11	6.75	Vulture (6-7)
1743 02 20	--	--	Ionio settentrionale	9	6.68	Matera (7)
1783 03 28	--	18 55	Calabria centrale	11	7.03	Trecchina [PZ] (6-7)
1805 07 26	--	21	Molise	10	6.68	Melfi [PZ] (6)
1807 11 11	--	--	Val d'Agri	6-7	4.87	Val d'Agri (7)
1826 02 01	DS	16	Potentino	8	5.74	Sud-ovest di Potenza (9)
1831 01 02	--	14 07	Appennino lucano	8	5.53	Lagonegrese [PZ] (8)
1836 04 25	--	00 20	Calabria settentrionale	9	6.18	Craco-Peschiera [MT] (6-7)
1836 11 20	DS	07 30	Appennino lucano	8	5.86	Sud-occidentale (9)
1845 08 10	--	--	Materano	5	4.51	Matera (6)
1846 08 08	--	--	Potentino	6-7	5.18	Potentino (6-7)
1851 08 14	DS	13 20	Vulture	10	6.52	Settentrionale (10)
1851 08 14	--	14 40	Vulture	7-8	5.48	Melfi [PZ] (8-9)
1857 12 16	DS	21 15	Basilicata	11	7.12	Val d'Agri e intera regione (11)
1857 12 26	--	05	Basilicata	7-8	5.33	Montemurro [PZ] (7-8)
1858 03 08	--	04 --	Vibonati	5-6	4.40	Lagonegro [PZ] ("danno")
1885 12 24	--	10 50	Basilicata	6-7	5.09	Centro-orientale (7)
1894 05 28	--	20 15	Pollino	7	5.01	Pollino (7)
1905 06 29	--	19 49	Brienza	5-6	4.14	Brienza [PZ] (6-7)
1910 06 07	DS	02 04	Irpinia-Basilicata	8	5.76	Nord-occidentale (8)
1917 10 13	--	16 04	Val d'Agri	6	5.46	Pollino (6)
1923 11 08	--	12 28	Appennino campano-lucano	6	4.73	Nord-occidentale (6)
1930 07 23	DS	00 08	Irpinia	10	6.67	Vulture e centro-sett. (9)
1934 07 03	--	16 11	Castelsaraceno	6	4.55	Meridionale (6)
1935 12 03	--	--	Calvello	5	4.15	Calvello [PZ] (6)
1948 08 18	--	21 12	Gargano	7-8	5.55	Vulture (6)
1954 08 06	--	19 21	Potentino	5-6	5.18	Potenza (6)
1956 01 09	--	00 44	Materano	6	4.72	Ovest città di Matera (7)
1962 08 21	--	18 19	Irpinia	9	6.15	Montemilone [PZ] (6)
1963 02 13	--	12 45	Potentino	7	5.19	Potentino (7)
1978 09 24	--	08 07	Materano	6	4.75	Matera (6)
1980 03 09	--	12 03	Pollino	5-6	4.71	Viggianello [PZ] (6)
1980 05 14	--	01 41	Alta Val d'Agri	5-6	4.83	Paterno [PZ] (6)
1980 11 23	DS	18 34	Irpinia-Basilicata	10	6.81	Prov. PZ e parte Prov. MT (9)
1980 12 03	--	23 54	Irpinia-Basilicata	6	4.83	Nord-occidentale (6-7)
1982 03 21	--	09 44	Golfo di Policastro	7-8	5.23	Maratea/lagonegrese (7)
1986 07 23	--	08 19	Potentino	6	4.61	Ovest di Potenza (6)
1988 01 08	--	13 05	Pollino	7	4.70	Pollino (6-7)
1988 01 12	--	23 01	Cilento	6	4.52	Limit. porzione Val d'Agri (6)
1990 05 05	--	07 21	Potentino	-	5.77	Centro-settentrionale (7)
1990 08 26	--	13 41	Potentino	6	4.03	Savoia di Lucania [PZ] (7)
1990 08 28	--	19 02	Potentino	-	4.21	Sarconi [PZ] (6)
1991 05 05	--	17 16	Val d'Agri	5-6	4.00	Sarconi [PZ] (6)
1991 05 26	--	12 25	Potentino	7	5.08	Centro-settentrionale (7)
1991 06 20	--	11 32	Potentino	5-6	3.71	Rapone [PZ] (6)
1996 04 03	--	13 04	Irpinia	6	4.90	Sasso di Castalda [PZ] (6)
1998 09 09	--	11 28	Appennino lucano	6-7	5.53	Meridionale (6-7)
2012 10 25	--	23 05	Pollino	6	5.31	Piano dell'Incoronata (6 EMS)

gravi danni agli edifici del capoluogo regionale, unica località per la quale è disponibile, se pur sommariamente, il quadro degli effetti riconducibile ad un'intensità del grado 8-9 MCS, uno dei più forti terremoti nella storia sismica osservata per Potenza (Locati *et al.*, 2016).

Le conseguenze del terremoto sono rintracciabili in un'unica fonte archivistica, presa come riferimento e riportata dal Bonito (1691) relativa ad un documento della cancelleria angioina. Si tratta, in particolare, di una missiva datata Corato 18 dicembre 1273 nella quale il re di Napoli Carlo I chiede al giustiziere di Basilicata, suo locale rappresentante,di relazionare circa i reali danni prodotti dal terremoto che aveva colpito la città di Potenza.

Il documento riferisce danni gravissimi alla maggior parte degli edifici oltre che perdite relative ad oggetti di arredo sia nelle case sia nei luoghi di culto. L'impossibilità di precisare i danni nella città ed eventualmente in altre località deriva essenzialmente dalla circostanza che il prezioso resoconto del giustiziere di Carlo I circa gli effetti prodotti dal terremoto non è disponibile per la consultazione.

Terremoto del 31 luglio 1561 (Vallo di Diano) e del 19 agosto 1561 (Vallo di Diano)

Il 31 luglio ed il 19 agosto 1561 si verificarono due eventi sismici di magnitudo (Mw) superiore a 6 nell'area sud-orientale della regione Campania, al confine con la regione Basilicata. La scossa di fine luglio (Mw=6.34) causò gravissimi effetti a Buccino (SA), con il crollo di 200 abitazioni, la morte di circa 100 persone e danni alle località del Vallo di Diano ed ebbe effetti più contenuti in Basilicata. L'evento più energetico di agosto (Mw=6.72) colpì particolarmente la Valle del Tanagro e quella del Calore e produsse danni di rilievo anche in Basilicata.

Castelli *et al.* (2008) analizzando fonti primarie ed indipendenti hanno esaminato separatamente da un punto di vista macrosismico i due eventi. Per quanto attiene il contesto regionale lucano, il terremoto di agosto causò danni molto ingenti nelle località ubicate ad ovest e nord-ovest della città di Potenza. Tra le località più colpite ricordiamo Tito (10-11 MCS), Balvano (9-10), Muro Lucano (9), Picerno (9), Pignola (9) seguite, ad esempio, da Potenza e Ruoti (8), Bella e Castelgrande (7-8).

Terremoto dell'8 settembre 1694 (Irpinia-Basilicata)

Sei anni dopo il terremoto del 5 giugno 1688 (Sannio), che ebbe conseguenze anche nella porzione nord-orientale della Basilicata (Atella, grado 8 MCS; Venosa, 7-8 MCS), l'Irpinia e la Basilicata furono coinvolte in un altro devastante evento sismico che determinò la distruzione ed il grave danneggiamento di molteplici località poste in un'area a cavallo tra la Campania e la Basilicata, tra le province di Avellino e Potenza, con effetti più rilevanti nell'alta valle dell'Ofanto. Effetti di danneggiamento si ebbero anche in numerose località sia della costa tirrenica, come Napoli e Salerno (7 MCS), sia di quella adriatica, come Barletta e Bari (6 MCS).

Quattordici località furono quasi completamente rase al suolo (10 MCS), equamente suddivise tra la provincia di Avellino e Potenza, come Atella (PZ), Bella (PZ), Cairano (AV), Calitri (AV), Carife (AV), Castelgrande (PZ), Guardia Lombardi (AV), Muro Lucano (PZ), Pescopagano (PZ), Rapone (PZ), Ruvo del Monte (PZ), Sant'Andrea di Conza (AV), Sant'Angelo dei Lombardi (AV) e Teora (AV), mentre all'incirca altri quattordici paesi patirono distruzioni diffuse interessanti circa la metà dei rispettivi abitati. Si verificò anche l'innesco di frane in otto località (Esposito *et al.*, 1998).

In particolare ad Atella morirono 160 persone, a Castelgrande le abitazioni che furono risparmiate furono meno di 10, a Pescopagano quasi tutti i palazzi residenziali e di edilizia religiosa crollarono, causando la morte di 200 persone. Spostandoci più a sud, anche Potenza (8 MCS) subì gravi conseguenze con circa 300 case che crollarono totalmente o parzialmente e con la morte di 5 persone. Per quanto attiene l'edilizia religiosa, fu danneggiata la cattedrale di San Gerardo e crollarono la chiesa e il campanile della SS. Trinità, crollarono quasi integralmente il Palazzo Vescovile e il Seminario. Effetti riconducibili ad un'intensità del grado 8 MCS sono accertati anche per alcune località del Vulture. A Melfi crollarono più di cinquanta abitazioni con gravi danni alle rimanenti, oltre a conseguenze importanti patite dall'edilizia monumentale e religiosa, come il Castello, la Chiesa Madre ed il Convento degli Agostiniani (Vera, e distinta Relatione del Terremoto…;Vera, e distinta Relatione dello spaventoso…; Pacichelli, 1695; ADPR, Lettera del Governatore…). L'area del Vulture-melfese sarà il settore lucano interessato, anche se marginalmente, da due terremoti di circa quaranta anni dopo, quello del Tavoliere delle Puglie del marzo 1731 (Mw=6.33) e quello dell'Irpinia del novembre 1732 (Mw=6.75) che produssero effetti massimi nell'area nord-orientale lucana parametrizzabili rispettivamente con il grado 7 MCS (Barile, Melfi e Leonessa) e il grado 6-7 MCS (Barile, Melfi e Ruvo del Monte).

Terremoto del 1 febbraio 1826 (Potentino)

Il primo terremoto del XIX secolo che ha interessato la Basilicata con effetti rilevanti accadde il 1 febbraio del 1826. L'epicentro del sisma (Mw=5.74) fu il potentino nella cui area centro-occidentale si ebbero i maggiori esiti. Le conseguenze riguardarono anche la limitrofa provincia di Salerno, con particolare riguardo a Sala Consilina ed Atena Lucana (7-8 MCS).

Tra le località lucane più colpite ricordiamo Tito (9 MCS), dove vi furono 7 morti e 4 feriti. Secondo il Lombardi (1829), ripreso dal Baratta (1901), crollò la Chiesa Madre, caddero oltre 60 case, alcune crollarono parzialmente, molte rimasero crollanti e tutte furono fortemente lesionate. Secondo un'altra fonte il paese fu reso inabitabile "[…] per crollamento di circa tre quarti delle abitazioni, ed il resto lesionato […]" (ASNa, Relazione del sottoingegnere…). La stessa fonte riporta anche che due quartieri in particolare ("San Nicola" e "La Piazzolla") furono pressoché distrutti. Il Lombardi ricorda anche alcuni effetti al suolo, come l'intorbidamento dell'acqua dei pozzi, frane di crollo e la comparsa di sorgenti.

Anche Potenza subì conseguenze importanti con il crollo di sole due o tre case, ma con lesioni diffuse al patrimonio abitativo e gravi danni agli edifici pubblici (Lombardi, 1829). Il grado di danneggiamento va comunque letto sulla base dell'effettivo stato di conservazione del patrimonio immobiliare che può essere compreso leggendo quanto relazionato dalla Deputazione comunale incaricata di verificare i danni post-sisma:"[…] in generale tutte (le case) sono state affette da qualche lesione, sebbene si fa avvertire ch'essendo molto antico il fabbricato del paese, così molte lesioni esistevano, e perciò nella circostanza del tremuoto si sono rese più sensibili" (Sannino A., 1990). Danni di una certa gravità furono registrati anche agli edifici pubblici o religiosi come il Palazzo dell'Intendenza, l'Episcopio, il monastero dei Riformati e l'Ospedale civico, mentre il campanile della cattedrale perse la sua verticalità (Lombardi, 1829).

L'esame della documentazione archivistica che preserva il carteggio prodotto dalle istituzioni in seguito al terremoto, con particolare riferimento al lavoro delle commissioni stabilite per il rilievo del danno, ha consentito di redigere la cartografia della distribuzione spaziale del danno nel centro storico di Potenza. Questa evidenzia effetti maggiori sul fianco occidentale del centro storico ed in minor misura nella sua porzione centro-orientale (Gizzi & Masini, 2007).

Altre località colpite dal sisma, con differente grado di severità, sono individuabili più a sud della Regione, nella Val d'Agri, come Tramutola (8 MCS), dove crollarono le torri dell'ex Badia dei Benedettini, della cappella del Soccorso e del soppresso convento degli Osservanti oltre a lesioni a tutte le abitazioni, Marsico Nuovo (7-8 MCS), dove caddero una parte del campanile ed un muro della chiesa S. Maria delle Grazie, oltre ad un muro

ANTEPRIMA

della chiesa di S. Gianuario e Montemurro (7 MCS) dove subì danni la porzione superiore del campanile della chiesa (Lombardi, 1829; Racioppi, 1858; Baratta, 1901).

Terremoto del 20 novembre 1836 (Appennino lucano)

Il 20 novembre 1836 l'area sud-occidentale della Regione fu interessata dagli effetti di un terremoto di magnitudo (Mw) 5.86. L'area più colpita fu il Lagonegrese, coinvolto cinque anni prima da un altro evento di magnitudo inferiore (Mw=5.53), ma danni importanti tra il grado 7 e il grado 8 MCS furono registrati anche in alcune località della Val d'Agri (Montemurro e Corleto Perticara) e del Pollino (Latronico, Castelsaraceno, Carbone e Chiaromonte) oltre che della provincia di Salerno.

Per quanto attiene la località di Lagonegro, il terremoto causò il crollo di numerose case e gravi danni a quasi tutte le altre che furono rese inabitabili o dovettero essere abbattute. In totale furono danneggiate 804 abitazioni per complessive 2385 stanze, delle quali 311 (13%) crollarono, 589 (24.7%) dovettero essere abbattute e 1485 (62.3%) furono lesionate. Fu danneggiato anche il palazzo della Sottintendenza. I morti furono 10 e i feriti 50 su un totale di quasi 5000 abitanti (Guidoboni *et al.*, 2007). Lesioni diffuse al patrimonio edilizio furono registrate anche in quasi tutte le altre località coinvolte, con il crollo degli edifici più vulnerabili (Baratta, 1901). Si verificarono anche effetti al suolo quali fratture e frane (Porfido *et al.*, 1988).

Terremoto del 14 agosto 1851 (Vulture)

Il terremoto del 14 agosto 1851 fu contraddistinto da due forti scosse, la prima alle 13:20 GMT di magnitudo (Mw) 6.52, la seconda un'ora e venti minuti più tardi di magnitudo (Mw) 5.48. Il sisma colpì fortemente un'area piuttosto circoscritta della provincia di Potenza gravitante attorno al Monte Vulture, mentre conseguenze di minore entità si ebbero nella provincia di Foggia, dove tra le località più danneggiate ricordiamo Ascoli Satriano, Candela e Canosa (7-8 MCS) ed in Irpinia dove Monteverde ed Aquilonia Vecchia (Carbonara) patirono danni riconducibili rispettivamente al grado 7-8 e 7 MCS. I danni furono maggiori nei paesi posti in posizioni topograficamente più elevata ed all'interno di essi la parte più colpita fu quella posta in pendio o nella loro porzione sommitale, in corrispondenza delle alture degli abitati (Arabia, 1852; Palmieri & Scacchi, 1852).

Melfi, Barile, Rapolla e Rionero in Vulture in provincia di Potenza furono le località più colpite sia in termini di perdita di vite umane sia in termini di effetti sull'edilizia residenziale e monumentale.

Per quanto concerne Melfi, il terremoto del 1851 rappresenta il più forte (10 MCS) evento nella storia sismica della città (Locati *et al.*, 2016). In conseguenza del terremoto persero la vita tra 444 e 1000 persone, mentre circa 100 rimasero ferite, su un totale di 9130 abitanti. L'abitato fu quasi completamente distrutto sia nell'edilizia pubblica e monumentale sia in quella residenziale. Particolarmente colpita, con crolli totali degli edifici, fu la porzione dell'abitato compresa tra la chiesa Sant'Agostino e la Porta Bagno:" […] dalla Chiesa S. Agostino […], dietro alla quale erano le prigioni, sino alla porta che dicesi *Bagno*, tutto è rovesciato e pareggiato al suolo […]" (Paci, 1853, p. 49). Per quanto attiene l'edilizia monumentale crollarono 22 chiese, tra cui le quattro chiese parrocchiali in cui era divisa la Città, cioè quella di San Teodoro, San Nicola, San Lorenzo e del Carmine. Il campanile della Cattedrale crollò nella sua porzione superiore sfondando la copertura del sottostante Duomo che a sua volta subì lesioni nelle murature non così gravi però da compromettere la staticità della facciata. Il Palazzo Vescovile crollò in gran parte come pure il Seminario e le carceri, dove morirono 18 persone, la casa comunale ed il monastero di San Bartolomeo. Gravi danni soffrì anche il castello. Lo scuotimento sismico determinò anche l'innesco di frane e fratture nel suolo. A Porta Calcinara si osservò un'apertura del terreno pari ad oltre un metro e mezzo, coinvolgendo direttamente nel crollo gli edifici sovrastanti e causando, in tal modo, un incremento locale del danno. Nel complesso, le tecniche costruttive locali non avevano ancora assimilato l'esperienza di terremoti del passato. Le murature, infatti, erano realizzate con pietra non squadrata e l'uso di leganti di scarsa qualità. La presenza, inoltre, di strutture spingenti costituite da pesanti volte realizzate in pietra locale, determinarono un ulteriore aggravio di carico dinamico sui muri perimetrali, peraltro non interconnessi (Arabia, 1852; Echaniz, 1852; Palmieri & Scacchi, 1852; Paci, 1853).

A Barile (10 MCS), su un totale di 4065 abitanti si ebbero 105-120 morti e 196-250 feriti. Nell'abitato, dove la parte più colpita fu quella più elevata (Arabia, 1852), "[…] Non vi sono più strade, perché tutte ingombre di monti di rottami e di macerie […] non una casa, perché tutte crollate, e se qualche muro è peranco in piedi, è crollante […]" (Paci, 1853, p. 43). Anche l'edilizia palazziata e monumentale fu coinvolta nelle distruzioni come il palazzo baronale del Principe di Torella, le due chiese parrocchiali della Madonna delle Grazie e di San Nicola e quella della confraternita di San Rocco che crollarono (Arabia, 1852; Echaniz, 1852; Palmieri & Scacchi, 1852; Paci, 1853).

Per quanto attiene Rapolla (9-10 MCS) su 3200-3500 abitanti, 37-70 morirono e 40-50 rimasero feriti. La maggior parte delle case crollarono o furono ridotte in uno stato crollante o subirono gravi lesioni. La parte dell'abitato più colpita fu quella posta nella porzione sommitale. Per quanto concerne l'edilizia monumentale e religiosa, crollò la Cattedrale, già fortemente danneggiata, specie nel campanile, dal terremoto dell'8 settembre 1694, insieme ad altre tre chiese, la Casa Vescovile, la Chiesa ed il Convento dei Minori Osservanti e il Palazzo baronale. In prossimità della chiesa del Crocifisso si aprì una frattura piuttosto ampia nel terreno similmente a quanto si verificò lungo una strada dove si aprirono fessure tali da non renderla più percorribile (Arabia, 1852; Echaniz, 1852; Palmieri & Scacchi, 1852; Paci, 1853).

In Rionero in Vulture (9 MCS) si registrarono 63-64 morti su 10193-13000 abitanti totali oltre a 98 feriti. Si verificò il crollo di un terzo degli edifici mentre la restante parte subì lesioni più o meno gravi. Anche per Rionero, come per le altre località sopra esaminate, il danno non fu localizzato egualmente nel tessuto urbano, ma prevalse in particolare nel Rione dei Morti ed in quello gravitante attorno la chiesa Collegiale. Crollarono o furono rese crollanti tutte le chiese, tra cui la chiesa madre di San Marco, oltre ad un piccolo convento (Arabia, 1852; Echaniz, 1852; Palmieri & Scacchi, 1852; Paci, 1853) (*Fig.* 2).

L'ultima località che ricordiamo è quella di Venosa (8-9 MCS), dove su 6533 abitanti vi furono 2-4 morti e si verificarono "non pochi danni" (Palmieri & Scacchi, 1852 p. 138). Secondo Echaniz (1852) e Paci (1853) gravi lesioni e crolli interessarono molti edifici pubblici e privati, mentre secondo Arabia (1852) le case furono tutte lesionate con differente grado di severità. Crollarono parzialmente i due cenobi ed il Convento dei Riformati; gravi lesioni o crolli si verificarono nel Regio Giudicato, nella casa comunale, nell'Episcopio e Seminario e nelle



Figura 2 – Lapide posta nella chiesa di San Marco di Rionero in Vulture (PZ) che ricorda l'occorrenza del terremoto del Vulture del 1851 (foto F. Gizzi)

IN BOZZA

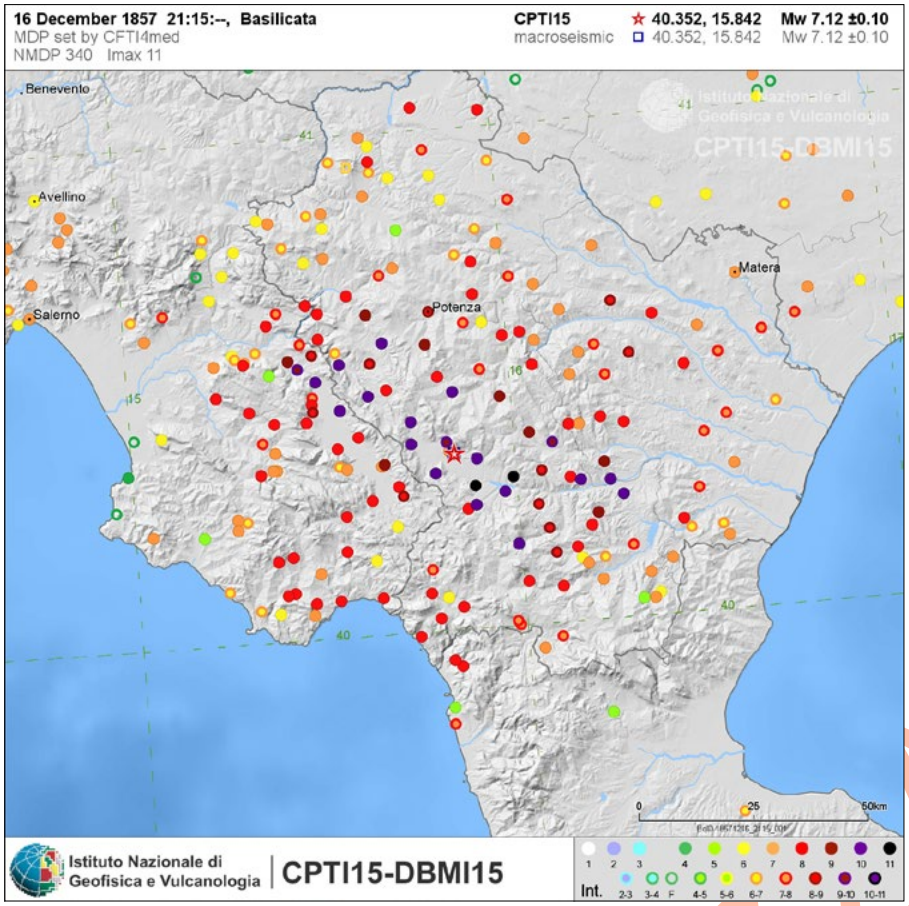


Figura 3 – Campo macrosismico del terremoto del 16 dicembre 1857

chiese di San Rocco e della Trinità. Lesioni non gravi si ebbero, invece, nel castello (Arabia, 1852; Palmieri & Scacchi, 1852; Paci, 1853).

Terremoto del 16 dicembre 1857 (Basilicata)

Nel mese di dicembre del 1857 la Basilicata fu sede di uno dei più violenti terremoti (Mw=7.12) della storia sismica italiana, il terzo per magnitudo dopo il sisma della Sicilia orientale del 1693 (Mw=7.32) e quello dell'Appennino meridionale del 1456 (Mw=7.19) che pur vide conseguenze nella porzione settentrionale della Basilicata (Rovida *et al.*, 2016) (*Fig.* 3).

L'evento principale del giorno 16 dicembre, di magnitudo (Mw) 7.12, fu seguito dieci giorni dopo da una scossa di magnitudo (Mw) 5.33. Comunque questi due eventi più energetici si inserirono in un periodo sismico caratterizzato da un centinaio di scosse di differente magnitudo (Magri & Molin, 1979).

Il sisma causò danni ingenti in un'ampia porzione della Basilicata ed in minor misura nella limitrofa regione Campania, nella sua porzione meridionale. Le conseguenze furono concentrate nella dorsale appenninico-potentina, con particolare riguardo alla Val d'Agri e agli abitati dell'area centro-orientale della provincia di Salerno.

L'esame del campo macrosismico del CPTI evidenzia come circa una trentina di località furono pressoché distrutte. Saponara (oggi Grumento Nova) e Montemurro furono completamente rase al suolo (11 MCS), ma ben altre sedici località subirono danni pari al grado 10 MCS tra cui Brienza, Tito, Calvello, Viaggiano e Marsico Nuovo. Numerosi furono anche gli effetti al suolo, consistenti in frane e fratture, come quelli verificatesi a Viggiano, Bella, Tito, Tramutola, Montemurro in provincia di Potenza e Padula e Polla in provincia di Salerno (Esposito *et al.*, 1998).

Il terremoto causò, secondo le fonti ufficiali, 9732 morti nella sola provincia di Potenza e 1207 nella provincia di Salerno per un totale di circa 11000 morti, con un forte impatto demografico specie per alcune località come Montemurro e Saponara dove nell'insieme persero la vita circa 7000 persone, pari rispettivamente a circa i tre quarti e la metà dei abitanti. Peraltro stime non confermate ufficialmente farebbero ascendere il numero dei morti a circa 19000, circa il doppio di quelli ricavabili dai dati formali. Per quanto riguarda l'impatto sul costruito, una stima complessiva riferisce circa 3300 case crollate e circa 2800 quelle pericolanti e inabitabili (Guidoboni *et al.*, 2007). I danni al patrimonio monumentale furono ingentissimi. Secondo studi in corso da parte degli Autori di questo contributo oltre 350 furono le strutture edilizie storiche danneggiate con differente severità includenti principalmente chiese, campanili, cappelle, monasteri, conventi e castelli.

Come detto in precedenza, il terremoto causò la completa distruzione dell'abitato di Saponara (Grumento Nova), con grave danneggiamento anche del Castello Giliberti mentre solo lungo il fianco orientale nel paese si scorgeva ancora qualche muro non crollato completamente. Furono registrate 2000 vittime, numero così elevato probabilmente perché la popolazione nel tentativo di sfuggire ai crolli rimase intrappolata nelle strade aventi larghezza limitata, e 70 feriti su una popolazione complessiva di 4010 abitanti. In seguito alla distruzione dell'abitato il governo borbonico diede mandato all'ingegnere Francesco Pagliuca di predisporre il piano di

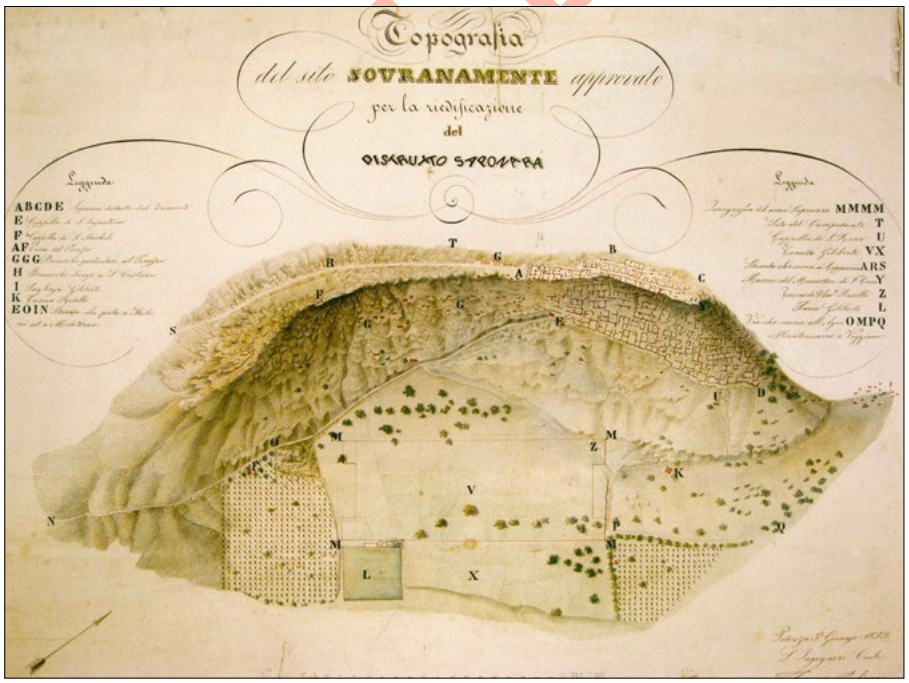


Figura 4 – Mappa rappresentante le rovine di Saponara, distrutta dal terremoto del 16 dicembre 1857 (area individuata dalle lettere "A B C D E"). La cartografia include anche il rilievo topografico del sito ipotizzato per la ricostruzione dell'abitato (area individuata dalle lettere "M M M M"). Mappa redatta dall'Ing. Francesco Pagliuca. Potenza, 3 gennaio 1859 (Archivio di Stato di Potenza, Consiglio d'Intendenza, mappa n. 19)

trasferimento del sito nella porzione a valle (*Fig.* 4). L'ipotesi progettuale, tuttavia, non incontrò i favori del governo post-unitario per cui il trasferimento del sito non fu più perseguito (Verrastro, 2004).

Per quanto riguarda Montemurro, la località registrò approssimativamente 5000 vittime e circa 900 feriti su un totale di 7000 abitanti. Dalla distruzione furono risparmiati un palazzo ed il convento dei Frati Minori che comunque subirono serie lesioni oltre a tre campanili crollati solo parzialmente (Guidoboni *et al.*, 2007).

Il terremoto del 1857 rappresentò un laboratorio a cielo aperto per l'ingegnere irlandese Robert Mallet che il 27 gennaio 1858 su finanziamento della Royal Society di Londra partì alla volta delle aree più disastrate dal sisma per sperimentare sul campo e verificare l'applicazione delle sue teorie per lo studio dei terremoti. Il Mallet giunse a Napoli il 5 febbraio 1858 e qui rimase una settimana circa in attesa delle autorizzazioni allo spostamento verso le aree colpite dal terremoto. La sua missione in queste aree durò circa tre settimane e fu caratterizzata da difficoltà imputabili a motivazioni sia logistiche sia climatiche legate, queste ultime, al rigido inverno delle aree interne (Becchetti & Ferrari, 2004; Ferrari & McConnel, 2004). Nonostante tali difficoltà il Mallet effettuò una notevole mole di rilievi nelle località danneggiate (*Fig.* 5). Gli esiti scientifici delle sue osservazioni furono poi pubblicati, nel 1862, nella sua opera in due volumi: "Great Neapolitan Earthquake. The First Principles of Observational Seismology" che può considerarsi come la pietra miliare che pone le basi della sismologia come scienza (Ferrari & McConnel, 2004). La monografia include oltre 150 fotografie sia monoscopiche sia stereoscopiche scattate da Alphonse Bernoud e da tal Grellier [Grillet] (quest'ultimo incaricato direttamente dal Mallet) che ritraggono sia interi paesi nel loro quadro complessivo di danneggiamento sia soggetti individuali come edifici e porzioni di muri lesionati o crollati, di specifico interesse per il Mallet per documentare le direzioni di caduta o spostamento co-sismico (Becchetti & Ferrari, 2004). La monografia include, inoltre, corredi informativi sul quadro geologico, urbanistico, sulle tipologie costruttive e sulla loro potenziale vulnerabilità, oltre ad analisi del quadro sociale dei centri visitati. Fu proprio l'esame dell'aspetto costruttivo che portò il Mallet ad attribuire alla vulnerabilità del costruito l'esito del maggiore danneggiamento in alcune porzioni dei centri abitati, come nel caso di Tramutola:" […] si trovano case crepate e crollate un po' dappertutto, ma il danno maggiore si è avuto nei quartieri sud ed est del paese dove si trovano gli edifici più vecchi e peggio costruiti […]" (Guidoboni & Ferrari, 1987, p. 273).

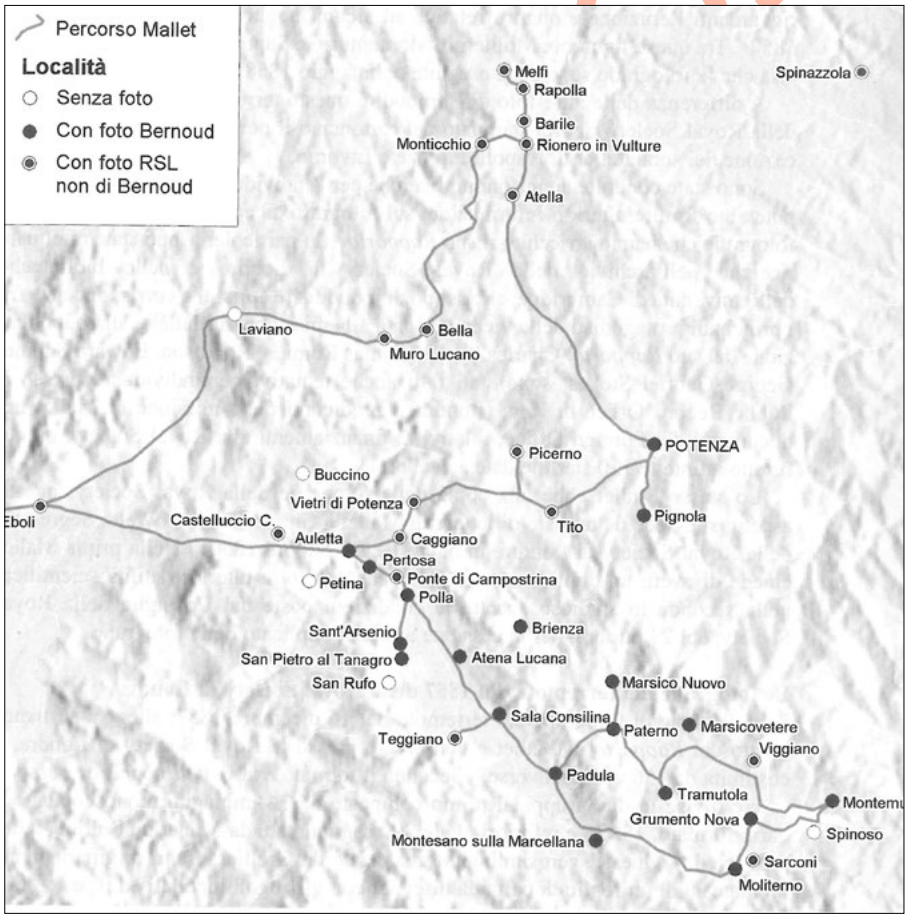


Figura 5 – Località colpite dal terremoto del 16 dicembre 1857 visitate da Robert Mallet, dal fotografo Grillet (su incarico dello stesso Mallet) e dal fotografo Bernoud (da Becchetti e Ferrari, 2004, p. 77)

Tra le varie località che Mallet visitò ci fu anche Potenza per la quale l'ingegnere riferisce che: "[…] Tutta la città in generale aveva sofferto danni gravissimi, anche se le zone maggiormente colpite erano i fianchi liberi est, ovest e NO dove moltissimi edifici erano crollati o lesionati…" (Guidoboni & Ferrari, 1987, pag. 296). In base a queste informazioni, ma soprattutto all'esame del corredo documentario disponibile nel Fondo Intendenza di Basilicata, preservato presso l'Archivio di Stato di Potenza, Gizzi & Masini (2007) hanno analizzato in dettaglio gli effetti in ambito urbano, redigendo così la mappa del danno (sintesi in *Fig.*10). Altre elaborazioni sono tuttora in corso da parte degli autori del presente contributo per esaminare la distribuzione del danno causata dal terremoto nelle località più danneggiate della Basilicata. Questi studi, come si dirà più innanzi, potranno essere funzionali alle analisi di microzonazione sismica.

Terremoto del 7 giugno 1910 (Irpinia-Basilicata)

Il sisma di magnitudo Mw=5.76 interessò un'ampia area dell'Appennino meridionale situata al confine irpino-lucano. Le località più danneggiate furono quelle situate in asse con la catena appenninica. Si registrarono complessivamente circa 50 morti, la maggior parte dei quali (40) nella sola Calitri che ebbe le conseguenze più rilevanti, con il crollo di circa il 30% delle case e lesioni in quasi tutti gli edifici. I danni si concentrarono soprattutto nella parte alta del paese (Guidoboni *et al.*, 2007).

Per quanto attiene l'area lucana i paesi più colpiti furono quelli localizzati nell'area nord-occidentale della provincia di Potenza, tra cui Rapone e San Fele, per i quali i danni registrati riconducono ad un'intensità del grado 8 MCS. Rapone subì lesioni in tutte le abitazioni ed alcuni crolli. Danni in particolare si ebbero in Via Garibaldi. Nell'abitato di San Fele diverse case furono lesionate ed alcune crollarono. I rioni più colpiti furono quello Pergola e Santa Lucia. A Balvano (7 MCS) le richieste indirizzate al Consorzio per le Sovvenzioni Ipotecarie provennero principalmente da proprietari di abitazioni site nella porzione occidentale del paese. Potenza (6 MCS) subì danni nella porzione occidentale del centro storico (Gizzi, 2010; Gizzi *et al.*, 2012).

Terremoto del 23 luglio 1930 (Irpinia)

Il sisma (Mw=6.67) colpì alle ore 00:08 GMT un territorio dell'Italia meridionale esteso circa 6500 kmq con conseguenze più rilevanti nell'area appenninica inclusa tra Melfi (PZ) ed Ariano Irpino (AV). Il sisma causò la morte di 1404 persone e circa 4600 feriti. La maggioranza delle vittime fu registrata nella

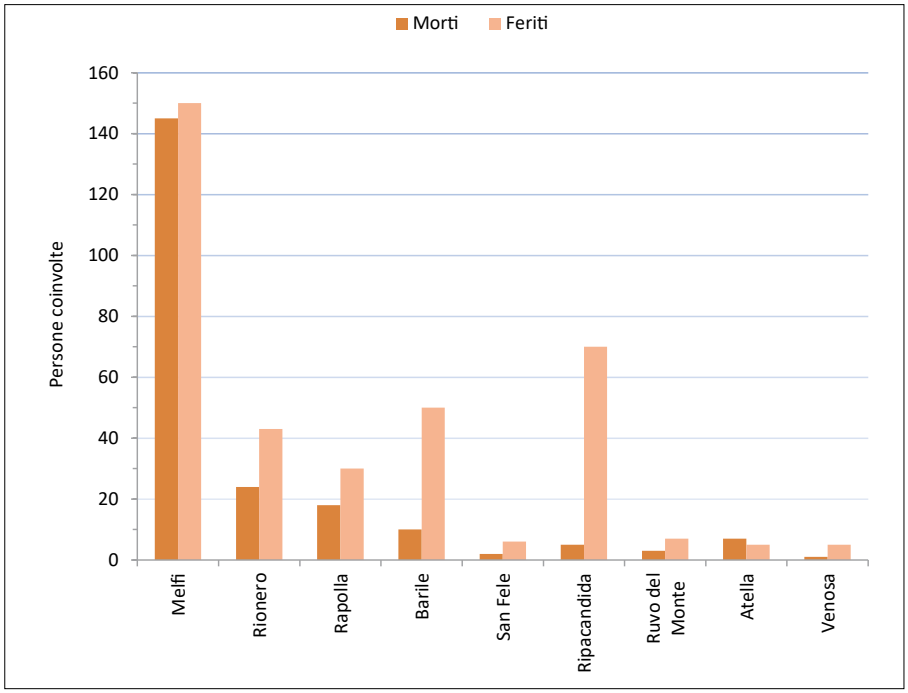


Figura 6 – Dato epidemiologico relativo ai danni diretti del terremoto del 23 luglio 1930 nei comuni della provincia di Potenza (da Gizzi, 2010)

provincia di Avellino, dove vi furono 1052 morti, mentre nella provincia di Potenza persero la vita 214 persone. Le altre vittime si ebbero nelle province di Foggia, Benevento, Salerno e Napoli. Per quanto attiene la provincia di Potenza, ed in particolare l'area del Vulture che fu la più colpita, il numero maggiori di morti si ebbero a Melfi e Rionero in Vulture ed in minor misura negli altri paesi (*Fig.* 6) (Spadea *et al.*, 1985; Gizzi, 2010).

Particolarmente devastanti furono le conseguenze per Aquilonia Vecchia, Scampitella e Villanova del Battista, in provincia di Avellino, che subirono conseguenze riconducibili al grado 10 MCS. Ad Aquilonia, in particolare, si ebbe la distruzione pressoché completa dell'abitato con 281 morti pari a 8.2% della popolazione mentre le case crollate furono 600 e quelle lesionate 200, pari al 75% e il 25% dell'edilizia residenziale (Alfano, 1931). Il danno fu dovuto anche all'attivazione di un fenomeno franoso che coinvolse l'abitato (Esposito & Porfido, 2010).

Il terremoto determinò effetti geologici sia primari, come la fagliazione superficiale, sia secondari quali, ad esempio, fratturazioni, fenomeni gravitativi, costipamenti e variazioni idrologiche. In particolare, fenomeni di fagliazione superficiale fisicamente non continui si verificarono tra Ariano Irpino (AV) ed Aquilonia (AV). Fenomeni franosi interessarono numerose località, tra le quali l'abitato di Aquilonia (AV), che come ricordato precedentemente fu coinvolto parzialmente nelle conseguenze di una frana cosismica e un'area posta a sud dell'abitato di San Giorgio la Molara (BN). Anche a Melfi (PZ) ed Acerenza (PZ) si innescarono fenomeni franosi o fratture nel suolo mentre ad Atella (PZ), come a Venosa (PZ), si registrarono effetti ascrivibili a variazioni idrologiche (Esposito & Porfido, 2010).

In Basilicata i danni maggiori si ebbero a Melfi (9 MCS), dove i morti furono 144, le case crollate furono 415 e quelle lesionate 1465, rispettivamente pari al 21% e il 73% del patrimonio edilizio (Alfano, 1931, Gizzi, 2010). Secondo Majo (1931) le case crollate furono invece il 22% dell'intero abitato e le case lesionate furono il 72%. L'analisi degli effetti a scala urbana effettuata da Gizzi *et al.* (2010a) per Melfi, così some per tutte le altre località gravitanti attorno al Monte Vulture, evidenzia una concentrazione di effetti in particolare nell'area sud-occidentale dell'abitato ed in altre limitate porzioni del centro storico (*Fig.* 7). I maggiori danni, almeno in una parte dell'abitato, sono probabilmente imputabili a fenomeni di amplificazione sismica, all'innesco di fenomeni franosi cosismici, oltre che alla presenza di cavità antropiche non consolidate (Gizzi, 2004; Gizzi & Masini, 2004; Parisi *et al.*, 2010). Danni importanti si ebbero anche al patrimonio monumentale, come alla Cattedrale, con gravi danni alla cupola centrale minacciante crollo e danni ulteriori alla restante porzione dell'edificio, mentre nessun danno di rilievo fu registrato nel campanile peraltro consolidato poco prima del sisma. Il castello subì danni in particolare nella Torre dell'Orologio, nella Torre dell'Imperatore, nei perimetrali del Baluardo del Leone ed in alcune volte dove si registrarono dei crolli. Nel complesso, comunque, i danni furono non

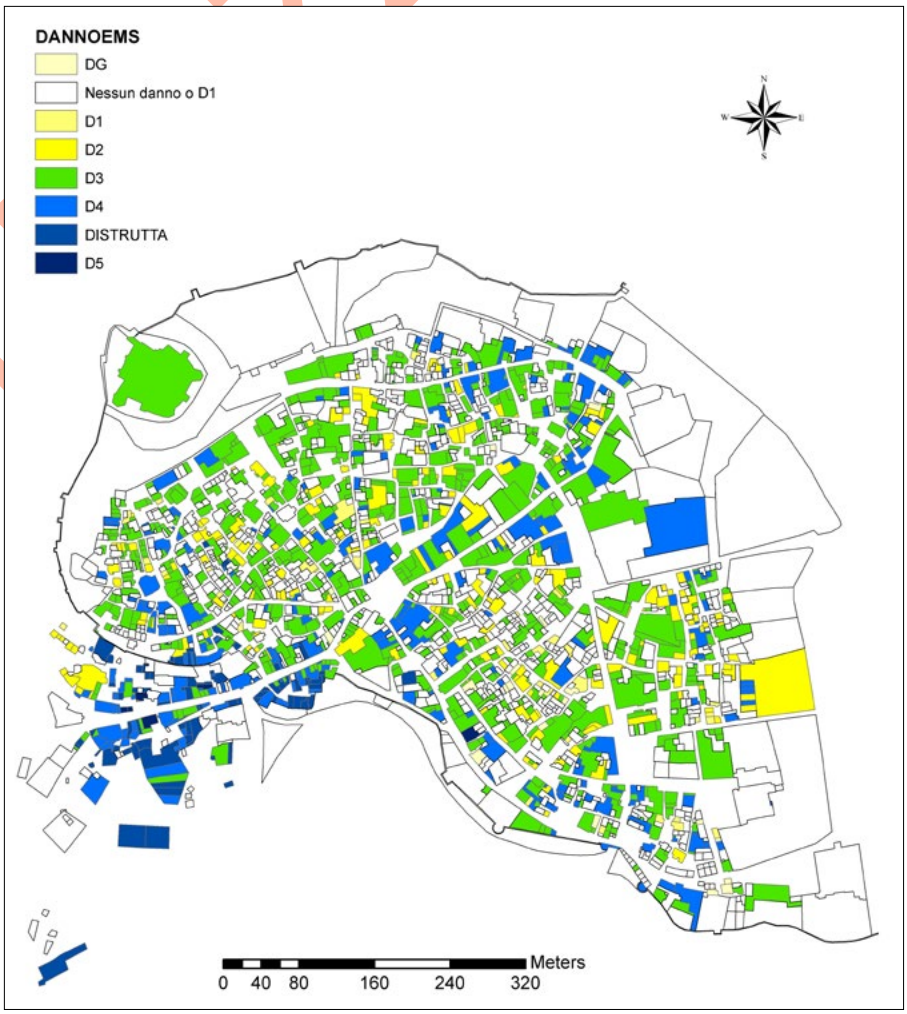


Figura 7 – Distribuzione degli effetti di danneggiamento nell'abitato di Melfi (PZ) in conseguenza del terremoto del 23 luglio 1930 (da Gizzi et al., 2010a)

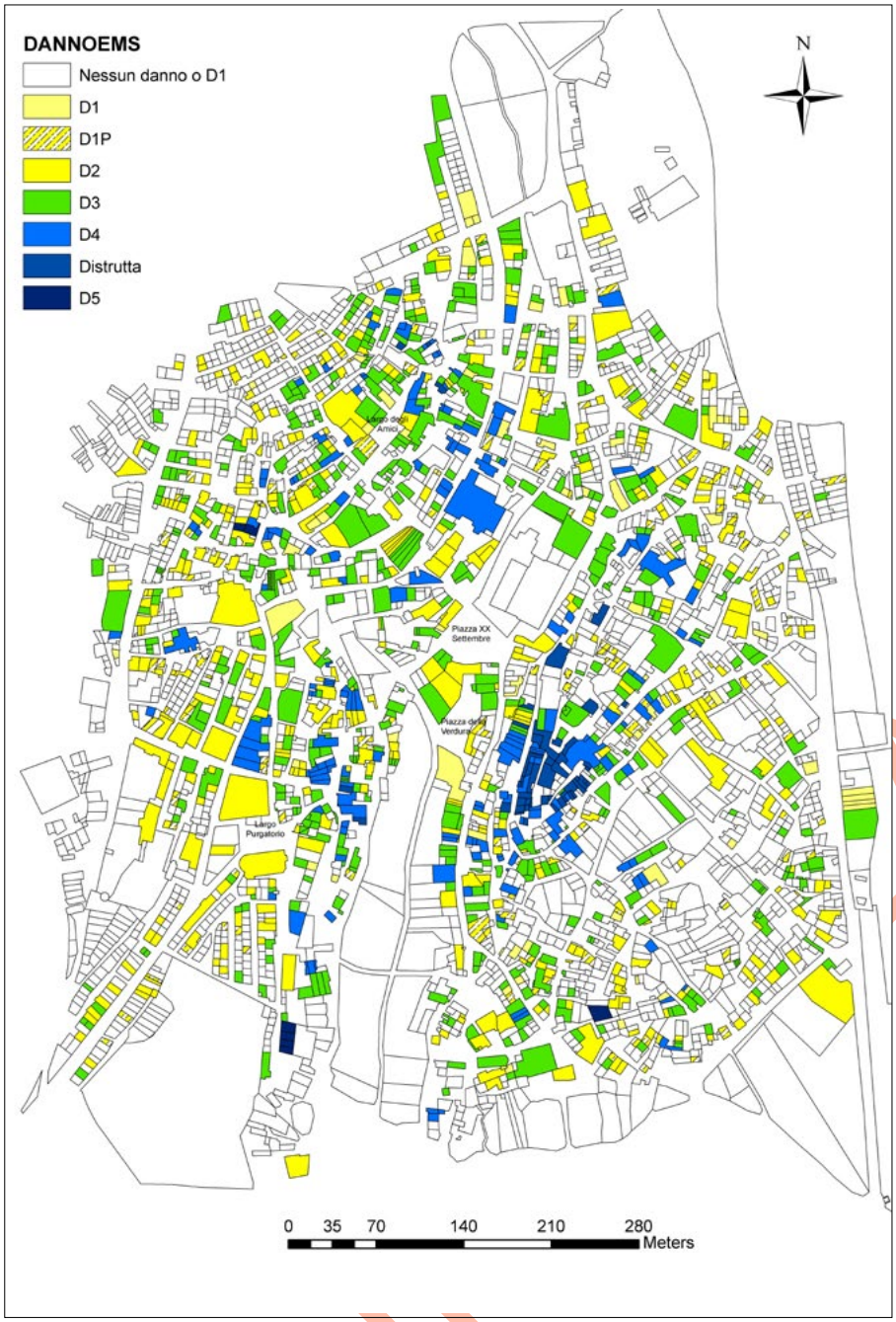


Figura 8 – Distribuzione degli effetti di danneggiamento nell'abitato di Rionero in Vulture (PZ) in conseguenza del terremoto del 23 luglio 1930 (da Gizzi et al., 2010a)

ingenti, anche grazie agli efficaci interventi di riparazione e consolidamento effettuati in seguito alla riparazione dei danni post-sisma del 1851 (Masini, 2010).

In Rionero in Vulture (8 MCS) si ebbero 24 morti e 43 feriti. Secondo Alfano (1931) le case crollate furono 150 e quelle lesionate 2800, rispettivamente il 5% e il 93% del costruito mentre secondo Majo (1931) le case crollate furono il 6% dell'intero abitato e le case lesionate furono il 70%. L'analisi degli effetti nel panorama urbano evidenzia i maggiori danni in particolare nel Rione Costa (*Fig.* 8). Anche in questo caso i più intensi danni possono in parte essere ricondotti a fenomeni di amplificazione sismica, alla presenza di una fitta ed interconnessa rete di cavità che può aver agito come fattore predisponente per l'incremento locale del danno sismico, alla disarticolazione di blocchi tufacei che in seguito al sisma causarono instabilità fondazionale degli edifici (Gizzi, 2004; Gizzi & Masini, 2006; Parisi *et al.*, 2010).

A Rapolla (8-9 MCS) si ebbero circa venti morti e trenta feriti. Secondo Alfano (1931) le case crollate ammontarono a 50, le lesionate 800, rispettivamente il 6% e il 100% dell'edificato, mentre secondo Majo (1931) le case lesionate furono il 54% del totale. I maggiori danni nell'abitato si concentrarono nel Rione Santa Sofia, San Giovanni e Castello.

Le condizioni di stabilità dell'abitato destavano preoccupazione già prima del sisma. Si ebbero maggiori danni negli immobili costruiti sul ciglio di strapiombi formati da tufi vulcanici disarticolati e/o attraversati da diffusi sgrottamenti. Molte case furono fortemente danneggiate perché situate in prossimità delle frane di Santa Sofia e San Giovanni, già mobilizzate prima del sisma (Gizzi, 2004; Gizzi *et al.*, 2010a). Danni importanti si ebbero anche al patrimonio monumentale, tra cui la Cattedrale.

La località di Barile, dove si ebbero 10 morti e 50 feriti, fu colpita anch'essa da effetti di valutazione incerta (8-9 MCS). Secondo Alfano (1931) le case crollate furono 75 pari all'8% del costruito mentre la rimanente porzione fu lesionata. Secondo Majo (1931) le case crollate furono l'8% dell'intero abitato a cui si aggiunsero il 58% delle case lesionate. Il danno fu concentrato nella porzione sud-orientale e settentrionale nell'abitato (Gizzi *et al.*, 2010a).

Le altre località del Vulture subirono danni riconducibili al grado 8 MCS. Per queste località recenti studi hanno consentito, analogamente ai siti prima discussi, di delineare la distribuzione spaziale degli effetti in ambito urbano (Gizzi *et al.*, 2010a). Anche il capoluogo lucano fu colpito pur se non gravemente dall'evento (6-7 MCS) (Gizzi & Masini, 2007).

All'indomani del sisma il governo intraprese azioni miranti oltre che alla ricostruzione dell'edilizia privata e pubblica, alla costruzione dei "ricoveri stabili" per i senzatetto, le cosiddette "casette asimiche". Furono inoltre progettati ed attuati i Piani Regolatori di spostamento dei centri abitati, tesi ad accogliere gli edifici non ricostruibili in sito per motivazioni di carattere geologico-tecnico. Entrambi questi interventi rappresentano ancora oggi elementi di persistenza e caratteri urbanistici distintivi degli abitati del Vulture così come di parte dell'Irpinia (Gizzi *et al.*, 2010b; Gizzi *et al.*, 2016b).

Il terremoto del 23 novembre 1980 (Irpinia-Basilicata)

Il sisma del 23 novembre 1980 (Mw=6.81) causò gravissimi danni al tessuto insediativo di una vasta porzione dell'Appennino meridionale, con specifico riferimento alle province di Avellino, Potenza e Salerno. L'area dei massimi effetti fu quella gravitante nelle alte valli dell'Ofanto e del Sele (*Fig.* 9). Il sisma determinò mutamenti nel contesto territoriale, con effetti primari come la fagliazione superficiale estesa per circa 40 km in lunghezza, ed effetti secondari, con l'innesco o la rimobilitazione di numerosi fenomeni franosi come a Senerchia, Caposele e Calitri in provincia di Avellino, San Giorgio La Molara in provincia di Benevento e Grassano in provincia di Matera (Cotecchia, 1986; Esposito *et al.*, 1998; Blumetti *et al.*, 2002). I morti accertati ufficialmente furono 2735 dei quali 1762 in provincia di Avellino, 674 in provincia di Salerno, 153 in provincia di Potenza, 131 in provincia di Napoli, 12 in provincia di Caserta e 3 in provincia di Benevento. Si contarono, invece, 8848 feriti distribuiti principalmente

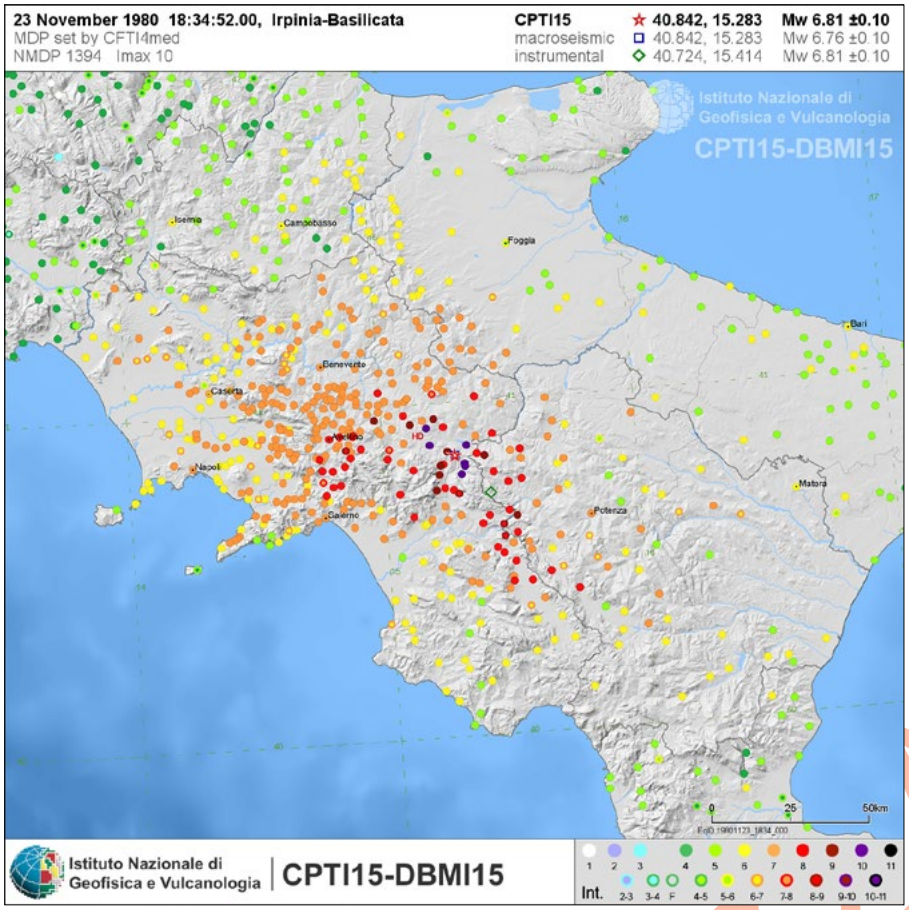


Figura 9 – Campo macrosismico del terremoto del 23 novembre 1980

nelle provincie di Avellino, Salerno e Napoli. Tra i 687 comuni colpiti, 37 furono dichiarati disastrati, 314 gravemente danneggiati e 336 danneggiati (Commissione parlamentare d'inchiesta, 1991). Su un totale di circa 1850000 abitazioni, 75000 furono distrutte, 275000 gravemente danneggiate e 480000 lievemente danneggiate.

Subirono distruzioni pressoché complete i paesi di Castelnuovo di Conza, Conza della Campania, Laviano, Lioni, Sant'Angelo dei Lombardi e Santomenna (10 MCS) mentre crolli e gravi lesioni nel costruito si ebbero a Balvano, Calabritto, Caposele, Guardia Lombardi, Pescopagano, San Mango sul Calore, Senerchia, Teora e Torella dei Lombardi (9 MCS) (Rovida *et al.*, 2016). Ingenti furono anche i danni al patrimonio culturale, con circa 2000 tra chiese, campanili, castelli, palazzi e emergenze archeologiche danneggiate con differente grado di severità. Nella sola provincia di Potenza furono colpiti 301 350 con livelli di danno variabili da lesioni lievi a crolli, mentre circa 100 furono quelli colpiti, con gli stessi livelli di danno, nella provincia di Matera. Gli effetti sul patrimonio culturale delle regione Basilicata comportarono interventi di restauro per una spesa complessiva, sostenuta negli anni Ottanta o preventivata come ulteriore fabbisogno agli inizi degli anni Novanta, stimabile in oltre 700 miliardi di lire. Per contro, le spese sostenute o preventivate per i restauri nelle cinque province della regione Campania ammontarono a circa 4700 miliardi di lire (Frattini, 1982; Proietti, 1994).

Per questo evento sismico è stata effettuata un'analisi sistematica degli effetti di danneggiamento prodotti in ambito urbano per l'intera regione Basilicata attraverso l'ausilio di documentazione inedita quale le schede di rilievo danno, elaborati tecnici a corredo dei piani di recupero dei centri storici redatti in base alla legge 219/81, foto aeree dell'Istituto Geografico Militare scattate nell'immediato post-sisma, riprese fotografiche aeree e terrestri reperite presso la Soprintendenza per i Beni Ambientali ed Architettonici di Potenza, elaborati relativi alla microzonazione sismica commissionata dalla Regione Basilicata per alcuni dei comuni più colpiti dal sisma, testate giornalistiche nazionali e locali (Gizzi *et al.*, 2012).

Le località della provincia di Potenza più danneggiate furono Balvano e Pescopagano (9 MCS). Nell'intero territorio comunale di Balvano 1388 unità edilizie furono distrutte o danneggiate più o meno gravemente mentre si registrarono 73 morti e 41 feriti (Proietti, 1994). Nel centro abitato 492 case subirono danni di entità variabile da grave a crollo totale (Gizzi, 2010). Per quanto attiene l'edilizia religiosa, la chiesa madre di Santa Maria Assunta subì il crollo della facciata e delle coperture. Anche la chiesa di Santa Maria di Costantinopoli crollò pressoché completamente. Danni gravissimi si ebbero ad almeno altri due edifici religiosi, mentre il castello registrò crolli diffusi nelle strutture edilizie (Frattani, 1982). Per quanto attiene Pescopagano, in tutto il territorio comunale i morti furono 20 e i feriti 45 mentre 1844 furono le unità edilizie distrutte o danneggiate con differente grado di severità (Proietti, 1994). Nel centro abitato 589 case patirono danni di entità variabile da grave a crollo totale. Crolli parziali si ebbero in Via Nazionale, Piazza XX Settembre e Via San Giacomo, oltre che nelle vie Tullio, dove peraltro si ebbero anche crolli totali di 13 abitazioni (Gizzi, 2010). Molti edifici monumentali subirono gravissimi danni. Il Castello, che già versava in precarie condizioni di manutenzione, subì lesioni di varia

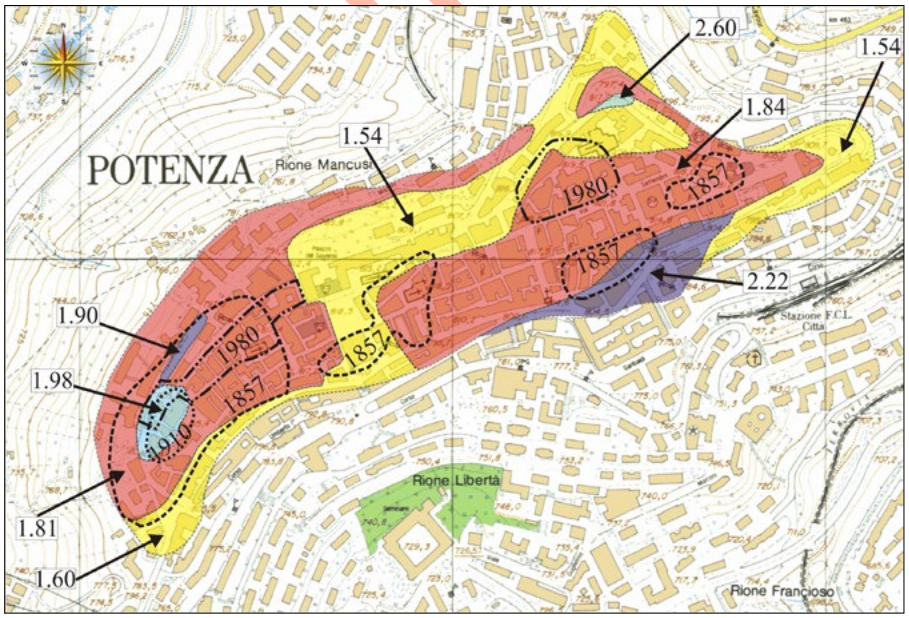


Figura 10 – Centro storico di Potenza. Aree maggiormente danneggiate in conseguenza dei terremoti del 1857, 1910 e 1980 (aree evidenziate con tratteggio): l'area occidentale del centro storico ha storicamente subito effetti di maggior entità. Gli areali di danneggiamento sono sovrapposti alla mappa delle amplificazioni sismiche relative. La mappa mostra un discreto accordo tra le aree più danneggiate in occasione di terremoti del passato e l'amplificazione (da Gizzi et al., 2012)



Figura 11 – Terremoto del 23 novembre 1980: crollo del Palazzo Bollettino nella città di Potenza (Fonte: Soprintendenza Archeologia, Belle Arti e Paesaggio della Basilicata, Potenza)

entità. Danni significativi si ebbero anche ai palazzi storici, come il Palazzo Scioscia e Tullio. Per quanto attiene l'edilizia ecclesiastica, la chiesa madre di Santa Maria Assunta soffrì il crollo delle volte, del muro perimetrale dell'abside e del campanile, con danni gravissimi alle restanti porzioni dell'edificio. Anche la chiesa di San Giovanni, la chiesa del Convento di Sant'Antonio e la chiesa di San Leonardo subirono crolli parziali mentre la chiesa dell'Incoronata collassò completamente (Frattani, 1982).

Il capoluogo lucano soffrì danni importanti (7 MCS): considerando l'intero territorio comunale di Potenza le unità edilizie danneggiate più o meno gravemente furono 9484, mentre i senzatetto furono 3990 (6%) su un totale di circa 64000 abitanti. Si registrarono anche 7 morti e 47 feriti. Nella parte più elevata del centro abitato 842 unità immobiliari subirono danni da grave a crollo totale (Gizzi, 2010). La porzione occidentale del centro storico fu la più danneggiata, similmente a quanto accaduto anche per altri terremoti, come quello del 1 febbraio 1826 e del 16 dicembre 1857 (*Fig.* 10). Per quanto attiene il patrimonio culturale, gravi conseguenze si ebbero alla chiesa di San Michele Arcangelo e alla chiesa di San Francesco dove tra i danni si constatarono anche inneschi di cinematismi nelle facciate principali, mentre alla cattedrale di San Gerardo lesioni gravi si registrarono alle volte (Frattani, 1982). Danni di varia entità si ebbero anche all'edilizia palazziata, dalle lesioni lievi del Palazzo Bonifacio sino al crollo del Palazzo Bollettino (*Fig.* 11).

All'indomani del sisma fu intrapreso un ampio progetto volto non solo alla ricostruzione dei territori colpiti, ma anche allo sviluppo delle aree colpite. Provvedimenti in tal senso furono codificati principalmente attraverso la legge 219 del 14-05-1981. Le attività complessive di ricostruzione e rinascita delle aree colpite dal sisma hanno comportato un onere di spesa pubblica pari a 34.3 miliardi di euro. L'ambiziosa progettualità e la sua attuazione concreta presentano, tuttavia, luci ed ombre legate, queste ultime, essenzialmente alla discussa efficacia del processo di industrializzazione nel contesto e nel quadro di riferimento storico nel quale maturò (Gizzi *et al.* 2016).

CONCLUSIONI

Il contributo ha analizzato concisamente la storia sismica della Basilicata, discutendo gli effetti causati dai terremoti più significativi che hanno coinvolto la Regione negli ultimi mille anni circa. La disamina sinottica dei terremoti evidenzia come le aree di origine della sismicità siano localizzate sia entro i confini regionali, come la Val d'Agri, il settore posto al confine campano-lucano, l'area del Vulture, il Potentino, il Lagonegrese, il Pollino, sia in aree esterne identificabili principalmente nell'Irpinia ed in subordine nel Sannio e nel Tavoliere delle Puglie.

Nello studio dei principali eventi sismici si è soffermata l'attenzione principalmente sulle conseguenze dirette e a breve termine, come i danni fisici all'edilizia residenziale, al patrimonio culturale ed alle infrastrutture ed in minor misura alle conseguenze indirette e a lungo termine come quelle legate alla fase di ricostruzione.

L'analisi degli effetti prodotti dai terremoti, unitamente ad una disamina della risposta messa in campo dalle istituzioni per fronteggiare l'impatto di un evento naturale estremo, è utile sia in chiave di prevenzione sismica sia per valutazioni più mirate nelle fasi ricostruttive da intraprendere in seguito al verificarsi di futuri eventi sismici. Per quanto attiene in particolare il primo aspetto, gli Autori di questo contributo hanno intrapreso un'attività di ricerca mirata all'esame dettagliato degli effetti causati da forti terremoti del passato nei centri urbani, con specifica attenzione ai centri storici. Il target territoriale di tale studio è l'Italia meridionale, con particolare riguardo alla porzione appenninica campano-lucana. Per quanto attiene l'arco cronologico di riferimento l'interesse è rivolto allo studio dei terremoti occorsi nel XIX-XX secolo per i quali, grazie ad una migliore qualità e completezza delle documentazioni, è mediamente maggiore la probabilità di attingere dati storici utili a redigere dettagliate cartografie tematiche del danno. L'insieme di queste elaborazioni macrosismiche costituiranno la base informativa del WebGIS ALDASS, l'*AtLante dei DAnni Sismici Storici a scala urbana*, in corso di strutturazione (www.aldass.it). I dati contenuti nell'Atlante, pur non avendo alcun carattere di previsione di futuri effetti, potranno essere utili per supportare gli studi di microzonazione sismica, cioè proprio quegli importanti strumenti funzionali alla prevenzione del rischio.

BIBLIOGRAFIA DELLE OPERE CITATE NEL TESTO

Documenti archivistici

ADPR (Archivio Doria-Pamphilj, Roma), Corrispondenza da Napoli e Melfi, Scaffale 19, Busta 4 (agosto-dicembre 1694), Lettera del governatore dello Stato di Melfi Antonio Maria Maineri al principe Giovanni Andrea III Doria, Melfi 11 settembre 1694.

ASNa (Archivio di Stato di Napoli),Amministrazione generali di Ponti e Strade, Fascio 575, Fascicolo 5612.Relazione del sottoingegnere Luigi Ciofi al Direttore generale di Ponti e Strade di Napoli in merito ai danni del terremoto del 1826 a Potenza e Tito. Potenza, 7 febbraio 1826.

Volumi, articoli e risorse web (cataloghi e database)

Alfano G.B. (1931), *Il terremoto irpino del 23 luglio 1930*, Pubblicazione dell'Osservatorio di Pompei.

ANCE-CRESME (Rapporto) (2012), *Lo stato del territorio italiano 2012 – Insediamento e rischio sismico e idrogeologico*, Roma.

Arabia F.S. (1852), *Relazione storica del tremuoto di Basilicata nell'anno 1851 (letta nella tornata del 14 dicembre dell'Accademia Pontaniana)*, Napoli.

Baratta M. (1901), *I terremoti d'Italia. Saggio di storia, geografia e bibliografia sismica italiana* (ristampa anastatica, Sala Bolognese 1979).

Becchetti P., Ferrari G. (2004), *Fotografia e osservazione scientifica. Robert Mallet e il reportage fotografico nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857*, in *Viaggio nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857. L'opera di Robert Mallet nel contesto scientifico e ambientale attuale del Vallo di Diano e della Val d'Agri*, (a cura di) G. Ferrari, pp. 63-92, SGA, Bologna.

Blumetti A.M., Esposito E., Ferreli L., Michetti A.M., Porfido S., Serva L., Vittori E. (2002), *Ground effects of the 1980 Irpinia earthquake revisited: evidence for surface faulting near Muro Lucano*, in F. Dramis P., Farabollini, Molin P. (eds) Large-scale vertical movements and related gravitational processes, Studi Geol Camerti, pp. 19–27.

Bonito M. (1691), *Terra Tremante*. Ristampa anastatica (ristampa anastatica, Sala Bolognese 1980).

Castelli V., Galli P., Camassi R., Caracciolo R. (2008), *The 1561 Earthquake(s) in Southern Italy: New Insights into a Complex Seismic Sequence*, J. Earthquake Eng., 12, pp. 1054-1077.

Commissione Parlamentare d'Inchiesta… (1991), *Commissione parlamentare d'inchiesta sulla attuazione degli interventi per la ricostruzione e lo sviluppo dei territori della Basilicata e della Campania colpiti dai terremoti del novembre 1980 e febbraio 1981*, Relazione conclusiva e propositiva, Vol. I, Tomo I.

Cotecchia V. (1986), *Ground deformations and slope instability produced by the earthquake of 23 November 1980 in Campania and Basilicata*, in Proceedings of the International Symposium Engineering geology problems in seismic areas, 5, pp. 31-100,Bari.

WEBZA

Echaniz F. (1852), *Relazione del tremuoto del giorno 14 agosto 1851 nelle prossimità ed adiacenze del Monte Vulture al Segretario perpetuo della Reale Accademia delle Scienze di Napoli*,in "Giornale Economico-Letterario della Basilicata", fasc.1,Potenza.

Esposito E., Gargiulo A., Iaccarino G., Porfido S. (1998), *Distribuzione dei fenomeni franosi riattivati dai terremoti dell'Appennino meridionale. Censimento delle frane del terremoto del 1980*, in Proceedings of the International Conv. On Prev. Of Hydrogeological Hazards, CNR-IRPI, vol. I, pp. 409–429, Torino.

Esposito E., Porfido S. (2010), *Gli effetti cosismici sull'ambiente fisico per la valutazione della vulnerabilità del territorio*, in Gizzi F.T. & Masini N. (a cura di), *Dalle Fonti all'Evento. Percorsi strumenti e metodi per l'analisi del terremoto del 23 luglio 1930 nell'area del Vulture*, pp. 129-142, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli. ISBN 978-88-495-2050-7.

Ferrari G., McConnell A. (2004), *Robert Mallet e il terremoto del 16 dicembre 1857: dalla teoria alla sperimentazione di un metodo*, in *Viaggio nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857. L'opera di Robert Mallet nel contesto scientifico e ambientale attuale del Vallo di Diano e della Val d'Agri*, (a cura di) G. Ferrari, pp. 11-62, SGA, Bologna.

Frattani P. (1982), *Sisma 1980 effetti sul patrimonio artistico della Campania e della Basilicata*, Ministero per i Beni Culturali ed Ambientali. Suppl. 2 e 3 (Campania e Basilicata), Bollettino d'Arte.

Gizzi F.T. (2004), *Il terremoto irpino del 1930: cause geologiche del danno nell'area del Vulture, Atti del 22° Convegno del Gruppo Nazionale di Geofisica delle Terra solida*. Sessione Microzonazione ed effetti di sito, 18-20 novembre 2003,Roma. CD-ROM.

Gizzi F.T. (2010), *Il terremoto del 23 luglio 1930: nuovi dati macrosismici a scala regionale*, in Gizzi F.T. & Masini N. (a cura di), *Dalle Fonti all'Evento. Percorsi strumenti e metodi per l'analisi del terremoto del 23 luglio 1930 nell'area del Vulture*, pp.117-127, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli. ISBN 978-88-495-2050-7.

Gizzi F.T., Masini N. (2004), *Damage scenario of the earthquake on 23 July 1930 in Melfi: the contribution of the technical documentation*, Annals of Geophysics, 47(5), pp. 1641-1665.

Gizzi F.T., Masini N. (2006), *Historical damage pattern and differential seismic effects in a town with ground cavities: A case study from Southern Italy*, Engineering Geology, 88, pp. 41-58.

Gizzi F.T., Masini N. (2007) *Historical earthquakes and damage patterns for Potenza (Basilicata, southern Italy)*, Annals of Geophysics, 50(5), pp. 599-611.

Gizzi F.T., Potenza M.R., Zotta C. (2010a*), Effetti macrosismici nei centri storici: dati per un Atlante degli scenari*. In: Gizzi F.T. & Masini N. (a cura di), *Dalle Fonti all'Evento. Percorsi strumenti e metodi per l'analisi del terremoto del 23 luglio 1930 nell'area del Vulture*, 165-182. Napoli, Edizioni Scientifiche Italiane. ISBN 978-88-495-2050-7.

Gizzi F.T., Masini N., Potenza M.R., Zotta C. (2010b), *La risposta istituzionale all'evento: modalità, tempi ed aspetti economici*, in Gizzi F.T. & Masini N. (a cura di), *Dalle Fonti all'Evento. Percorsi strumenti e metodi per l'analisi del terremoto del 23 luglio 1930 nell'area del Vulture*, pp. 245-266, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli. ISBN 978-88-495-2050-7.

Gizzi F.T., Potenza M.R., Zotta C. (2012), *23 November 1980 Irpinia–Basilicata earthquake (Southern Italy): towards a full knowledge of the seismic effects*, in Bulletin of Earthquake Engineering, X (4).

Gizzi F.T., Potenza M.R., Sileo M., Zotta C. (2014), *Reconstructions, Transfers and Forced Abandonments Brought About by Earthquakes and Landslides in the Historical Centres of Southern Italy: The Role of Primary Sources*, in Engineering Geology for Society and Territory, VIII, pp. 453-457.

Gizzi F.T., Potenza M.R., Zotta C. (2016a), *The Insurance Market of Natural Hazards for Residential Properties in Italy, Open Journal of Earthquake Research*, 5, pp. 35-61. http://dx.doi.org/10.4236/ojer.2016.51004.

Gizzi F.T., Potenza M.R., Zotta C. (2016b), *Le ricostruzioni in Irpinia ed in Basilicata dopo i terremoti del 1930, 1962 e 1980: confronti ed implicazioni*, in *Atti del Convegno di Studi dal titolo Marsica 1915-l'Aquila 2009 Un secolo di ricostruzioni, Pescina 17 gennaio 2015*, F. Galadini e C. Varagnoli (a cura di), pp. 51-68, Gangemi Editore, Roma. ISBN 9788849291841.

Guidoboni E., Ferrari G. (a cura di) (1987), *Mallet's Macroseismic survey on the Neapolitan earthquake of 16th December 1857*, con ristampa anastatica e traduzione italiana dell'opera di Mallet "Great Neapolitan earthquake of 1857", Vol. 1-2, Bologna.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007), CFTI4Med, *Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*, INGV-SGA. http://storing.ingv.it/cfti4med/.

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo, C.H., Tertulliani A., Rossi Azzaro A., D'Amico R., Conte S., Rocchetti E. (2016), *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia*. doi: http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15

Lombardi A. (1829), *Cenno sul terremoto avvenuto in Tito, ed in altri luoghi della Basilicata il dì primo di febbraio 1826*, Potenza.

Magri G., Molin D. (1979), *Attività macrosismica in Basilicata, Campania e Puglia dal 1847 al 1861*, Roma.

Majo E. (1931), *Il terremoto irpino del 23 luglio 1930-VIII*, in "Bollettino della Società dei Naturalisti in Napoli", vol.43, pp.377-391, Napoli.

Masini N. (2010), *Il sisma ed il patrimonio monumentale: quadro dei danni, prassi amministrativa e criteri di intervento*, in Gizzi F.T. & Masini N. (a cura di), *Dalle Fonti all'Evento. Percorsi strumenti e metodi per l'analisi del terremoto del 23 luglio 1930 nell'area del Vultur*e, pp. 183-200, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli. ISBN 978-88-495-2050-7.

Paci G.M. (1853), *Relazione dei tremuoti di Basilicata del 1851*, Stab. Tip. del Real Ministero dell'Interno nel Reale Albergo de' Poveri, Napoli. Parziale ristampa (parte I), in Paci G.M., Il terremoto del 1851 in Basilicata, ed. Libria, Melfi 1990.

Pacichelli G.B. (1695), *Tremuoto di Napoli, e del Regno à puntino spiegato (Al Signor Abate Francesco Battistini Maestro di Camera dell'Eminentiss. Negrone, Roma)*, in *Lettere Familiari, Istoriche, & Erudite, tratte dalle Memorie Recondite dell'Abate D. Gio. Battista Pacichelli in occasione de' suoi Studj, Viaggi, e Ministeri*, ed. D.A.Parrino, vol.2, pp.353-363, Napoli.

Palmieri L., Scacchi A. (1852), *Della regione vulcanica del Monte Vulture e del tremuoto ivi avvenuto nel 14 agosto 1851*, Napoli.

Parisi A., Leccese G., Bianca M., Gallipoli M.R., Gizzi F.T. (2010), *Effetti macrosismici, geofisica e cause del danno*,in Gizzi F.T. & Masini N. (a cura di), *Dalle Fonti all'Evento. Percorsi strumenti e metodi per l'analisi del terremoto del 23 luglio 1930 nell'area del Vulture*, pp. 227-244, Edizioni Scientifiche Italiane, Napoli. ISBN 978-88-495-2050-7.

Porfido S., Esposito E., Luongo G., Marturano A. (1988), *I terremoti del XIX secolo dell'Appennino Campano-Lucano*,Mem. Soc. Geol. It., 41, II, pp. 1105-1116, Roma.

Proietti G. (a cura di) (1994), *Dopo la polvere. Rilevazione degli interventi di recupero post-sismico del patrimonio archeologico, architettonico ed artistico delle regioni Campania e Basilicata danneggiato dal terremoto del 23 novembre 1980 e del 14 febbraio 1981 (anni 1985-1989)*, Ministero per i Beni Culturali e Ambientali - Soprintendenza generale agli interventi post-sismici in Campania e Basilicata. Roma. 5 Voll.

Racioppi G. (1858), *Sui tremuoti di Basilicata nel dicembre 1857*, "L'Iride", a.2, n. 41, Napoli.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) (2016), *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15

Sannino A.L. (1990), *Territorio e popolazione a Potenza nell'età moderna*, Roma.

Spadea M.C., Vecchi M., Gardellini P., Del Mese (1985), *The Irpinia earthquake of July 23, 1930, in Postpischl D. (Ed.), Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes*, CNR, 114,2A, Bologna.

Vera, e distinta Relatione del Terremoto accaduto in Napoli, e parte del suo Regno il giorno 8 di Settembre 1694. Dove si dà raguaglio delli danni, che il medesimo hà caggionato in molte parti del medesimo Regno. Et in particolare nelle tré Provincie di Principato Citra, Ultra, e Basilicata. Con il numero de' morti, e feriti che nelle medesime sono restati sotto delle Pietre. Napoli 1694.

Vera, e distinta Relatione dello spaventoso, e funesto Terremoto accaduto in Napoli, e parte del suo Regno, il giorno 8 Settembre 1694. Dove si dà raguaglio delli danni, che il medesimo hà caggionato in molte parti del Regno. Et in particolare nelle tré Provincie di Principato Citra, Ultra, e Basilicata. Con il danno notabilissimo delle medesime, restando numero grande delle sue Terre intieramente distrutte. Con il numero de' morti, che nelle medesime sono restati sotto delle Pietre. Napoli 1694.

Verrastro V. (2004),*"…camminando tra le macerie". Governo e terremoto nelle carte borboniche dell'Archivio di Stato di Potenza*, in *Viaggio nelle aree del terremoto del 16 dicembre 1857. L'opera di Robert Mallet nel contesto scientifico e ambientale attuale del Vallo di Diano e della Val d'Agri*, (a cura di) G. Ferrari, pp. 239-268, SGA, Bologna.

ANTEPRIMA

La sequenza sismica del Sannio-Matese 2013-2014: un esempio di intrusione attiva in Appennino meridionale

The 2013-2014 Sannio-Matese seismic sequence: an example of active intrusion in southern Apennines

Parole chiave (*key words*): intrusione attiva (*active intrusion*), catene montuose (*mountain chains*), sismicità (*seismicity*), Appenino meridionale (*southern Apennines*)

Francesca Di Luccio
Istituto Nazionale di Geofisica, Sezione di Sismologia e Tettonofisica, Roma
E-mail: francesca.diluccio@ingv.it
Giovanni Chiodini
Istituto Nazionale di Geofisica, Sezione di Bologna
E-mail: giovanni.chiodini@ingv.it
Stefano Caliro
Istituto Nazionale di Geofisica, Sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano, Napoli
E-mail: stefano.caliro@ingv.it
Carlo Cardellini
Dipartimento di Fisica e Geologia, Università di Perugia
E-mail: carlo.cardellini@unipg.it
Vincenzo Convertito
Istituto Nazionale di Geofisica, Sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano, Napoli;
E-mail: vincenzo.convertito@ingv.it
Nicola Alessandro Pino
Istituto Nazionale di Geofisica, Sezione di Napoli Osservatorio Vesuviano, Napoli
E-mail: alessandro.pino@ingv.it
Cristiano Tolomei
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Sezione Centro Nazionale Terremoti, Roma
E-mail: cristiano.tolomei@ingv.it
Guido Ventura
Istituto Nazionale di Geofisica, Sezione di Sismologia e Tettonofisica, Roma
E-mail: guido.ventura@ingv.it

RIASSUNTO

Le intrusioni si trovano anche in prossimità di catene montuose e testimoniano la presenza di magma in profondità. La comprensione dei meccanismi di formazione e sviluppo delle intrusioni, come risalita diapirica o di tipo dicco è fondamentale per capire l'evoluzione e la struttura della crosta terrestre. I dati geologici e petrologici consentono di ricostruire i percorsi del magma e i processi di differenziazione e assemblaggio del magma a lungo termine. Tuttavia, la nostra capacità di rilevare e ricostruire le dinamiche delle intrusioni attive a breve termine in aree montuose è ancora all'inizio a causa della mancanza di segnali geofisici. In questo studio analizziamo una sequenza sismica avvenuta in Appenino meridionale tra il 2013 e il 2014 (massima magnitudo 5), caratterizzata da profondità focali anomale e basso contenuto in frequenza dei segnali sismici. Inoltre dimostriamo il coinvolgimento di fluidi nel processo di nucleazione degli eventi e identifichiamo un'anomalia termica nei vicini acquiferi dove è dissolta anidride carbonica di origine magmatica. Sottolineiamo che intrusioni di tipo dicco nelle catene montuose possono dar luogo a terremoti con magnitudo significative per la valutazione della pericolosità sismica. I risultati mostrati in questo studio forniscono una nuova prospettiva sui meccanismi delle intrusioni magmatiche in aree non vulcaniche e sull'interpretazione della sismicità in aree montuose.

INTRODUZIONE E INQUADRAMENTO TETTONICO

L'intrusione di magma e di fluidi associati nella crosta svolge un ruolo importante nel controllare la crescita, l'evoluzione e la composizione della litosfera (Keller *et al.*, 2015; Bachmann and Huber, 2016; Kelemen and Behn, 2016). La dinamica dei corpi intrusivi è stata studiata oltre che a livello sperimentale anche numericamente, e sono stati proposti due meccanismi principali (Petford *et al.*, 2000; Cao *et al.*, 2016): (i) risalita di magma attraverso fessure riempite di fluidi (dicchi) e (ii) risalita diapirica. Indipendentemente dal meccanismo proposto, le intrusioni aumentano con successivi episodi di alimentazione (impulsi) (Annen, 2009). Tuttavia, anche se i processi di trasferimento di magma in superficie durante le eruzioni vulcaniche sono relativamente ben conosciute, quelli legati alla risalita di corpi intrusivi in catene montuose rimangono ancora sconosciuti, per la scarsità di segnali geofisici e geochimici. La sismicità in prossimità di catene montuose è comunemente spiegata come dovuta esclusivamente allo stress tettonico e/o a cambiamenti nella pressione dei fluidi (Brooks *et al.*, 2011; Miller, 2013).

L'Appennino Meridionale (AM) è associato alla subduzione verso sud-ovest della placca Adriatica e separa una zona occidentale caratterizzata da rilascio di CO_2 profonda (2 x 10^{11} mol anno^{-1}) da un'area di avampaese ad est, dove non si registra degassamento (Chiodini *et al.*, 2004). La catena appenninica è attualmente interessata da delaminazione crostale, con materiali fusi provenienti dal cuneo del mantello che alimentano il Vesuvio, i Campi Flegrei e i vulcani attivi di Ischia, lungo la costa tirrenica (*Fig.* 1A) (De Astis *et al.*, 2006). Intrusioni mafiche sono state trovate in alcuni pozzi situati a oltre 100 km di distanza dai vulcani, ad una profondità tra 2 e 5 km all'interno dei carbonati che ricoprono il basamento cristallino, ma la loro età e il volume occupato rimangono sconosciuti (Improta *et al.*, 2014). In AM, terremoti con magnitudo fino a 7 si sono verificati nei primi 15 km di crosta. Questi terremoti e le associate faglie normali sismogenetiche formano una fascia di deformazione Nord-Ovest / Sud-Est (NO-SE) parallela all'asse della catena (Ventura *et al.*, 2007). Il rilascio cosismico di CO_2 intrappolata nella crosta in zone dove si hanno i danni maggiori causati dai terremoti, ha giocato un ruolo importante nell'evoluzione temporale e spaziale di alcune sequenze sismiche (Chiodini *et al.*, 2004; Miller *et al.*, 2004; Di Luccio *et al.*, 2010).

In questo lavoro, dati sismologici e geochimici dimostrano la presenza di intrusioni attive all'interno della crosta sottostante la catena appenninica, analizzando la sequenza sismica (M_w^{max}= 5) avvenuta il 29 dicembre 2013 nella regione Matese (*Fig.* 1). In particolare analizziamo l'evoluzione spazio-temporale della sequenza e la composizione geochimica della sorgenti nell'area, inoltre calcoliamo l'attenuazione sismica nell'area ipocentrale, modelliamo la pressione dei fluidi a profondità sismogenetiche e deriviamo il flusso di calore geotermico. I risultati trovati evidenziano le caratteristiche geofisiche e geochimiche del magma che risale nella crosta e ne rivelano il meccanismo di formazione. I nostri risultati possono aprire nuove prospettive sui processi di innesco dei terremoti in zone non-vulcaniche e sulla valutazione della pericolosità sismica in aree montuose.

LA SEQUENZA SISMICA DEL MATESE 2013-2014

Il 29 dicembre 2013 alle ore 17:08 UTC viene registrato un terremoto di magnitudo momento (M_w) pari a 5 sotto il massiccio del Matese in AM (*Fig.* 1A). Nei successivi 50

in bozza

giorni, ~350 aftershock sono registrati dalla rete sismica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (http://iside.rm.ingv.it; ultimo accesso, novembre 2016). Abbiamo rilocalizzato la sequenza con un metodo noto in letteratura (Waldhauser and Ellsworth, 2000), ottenendo 216 eventi ben localizzati a fronte degli oltre 300 iniziali. Le soluzioni focali dell'evento principale e della replica più forte (avvenuta il 20 gennaio 2014 con M_w = 4.2) indicano meccanismi di faglia normale NO-SE con una componente di dipolo lineare (CLVD) del 14 e 29%, rispettivamente (http://cnt.rm.ingv.it/tdmt; ultimo accesso, novembre 2016; Fig. 1A).

La sequenza del 2013-2014 si concentra tra 10 e 25 km profondità nel basamento cristallino della catena esattamente sopra il cuneo del mantello, mentre la sismicità precedente nella stessa zona era generalmente meno profonda (*Fig.* 1, C e D), come del resto tutta la sismicità presente lungo l'AM (Ventura *et al.*, 2007). L'evoluzione della sequenza mostra che gli aftershock migrano verso sud-est già dopo pochi minuti dall'occorrenza del mainshock (*Figg.* 1B e 2A). Gli ipocentri definiscono due cluster, con gli eventi più forti alla base di ogni cluster (stella nera e rombo nero in *Fig.* 1); gli eventi che sono avvenuti dopo la replica di M_w=4.2 si trovano nel cluster più meridionale. I due cluster della sequenza del Sannio-Matese circondano un'area ~ 8 km x ~2.5 km x ~1.5 km di larghezza pressoché asismica che ha la tipica forma di un dicco (*Fig.* 1B). Il trend delle profondità ipocentrali nei primi 28 giorni dopo l'evento principale (*Fig.* 2A) indica un processo di rottura tipo "burst" (impulso) simile a quello osservato nel caso di iniezione di fluidi in sismicità indotta (Talwani *et al.*, 2007; Shapiro and Dinske, 2009; Ingebritsen and Manning, 2010). Di conseguenza, riteniamo che i fluidi abbiano avuto un ruolo importante nel processo sismogenetico che ha prodotto la sequenza del Matese.

Per valutare le proprietà dispersive delle rocce, abbiamo determinato l'attenuazione come l'inverso del fattore di qualità Q_0 che non dipende dalla frequenza in funzione dell'azimut e della distanza per il mainshock, utilizzando il dataset di Convertito *et al.* (2016). In pratica abbiamo calcolato gli spettri in spostamento delle fasi S, assumendo il modello iniziale di Boatwright (1980) e applicando la tecnica utilizzata da Convertito *et al.* (2016). Abbiamo dimostrato che $1/Q_0$ non dipende dall'azimut delle stazioni ma solo dalla distanza (*Fig.* 2B). A distanze ipocentrali inferiori a 30 km, i valori di attenuazione sono ≥0.0016, mentre a distanze più grandi, sono per lo più inferiori a questo valore. Questo risultato indica una zona delimitata dagli ipocentri caratterizzata da elevata attenuazione, che probabilmente testimonia la presenza di fluidi e/o materiale più caldo in profondità (Artemieva *et al.*, 2004). Escludiamo la possibilità che la variazione di attenuazione con la distanza sia dovuta a stratificazione orizzontale, perché la crosta superiore risulta molto eterogenea in questo settore dell'AM (*Fig.* 1) (Improta *et al.*, 2014).

Per meglio comprendere i segnali registrati in termini di contenuto in frequenza, abbiamo calcolato gli spettrogrammi della velocità del suolo per il mainshock (20131229) e l'aftershock più energetico (20140120) a stazioni entro 60 km dall'epicentro. Vengono usate le tre componenti normalizzate delle forme d'onda. Gli spettrogrammi sono stati calcolati su finestre di 4s con sovrapposizione del 50% nell'intervallo di frequenze 0-10 Hz e sono mostrati in *Fig.* 3 insieme alle componenti verticali dei due eventi principali. In *Fig.* 3 si osserva che sia il mainshock che l'aftershock hanno un contenuto in frequenza al di sotto di 3 Hz, raggiungendo 6 Hz in pochi casi. Lo stesso si osserva per altri eventi registrati dalla rete sismica nazionale nel 2014 e 2016 nella stessa area e qui non riportati. Questi eventi a bassa frequenza differiscono significativamente dagli eventi slow-slip registrati nelle zone di subduzione, perché questi ultimi sono più profondi e associati a tremore, oltre al fatto che gli ipocentri definiscono strati sismogenetici sub-orizzontali (Ide, 2016). Invece, il contenuto in frequenza degli eventi del Matese è simile a quello dei terremoti registrati in aree vulcaniche, dove la sismicità è generalmente associata a crack riempiti di

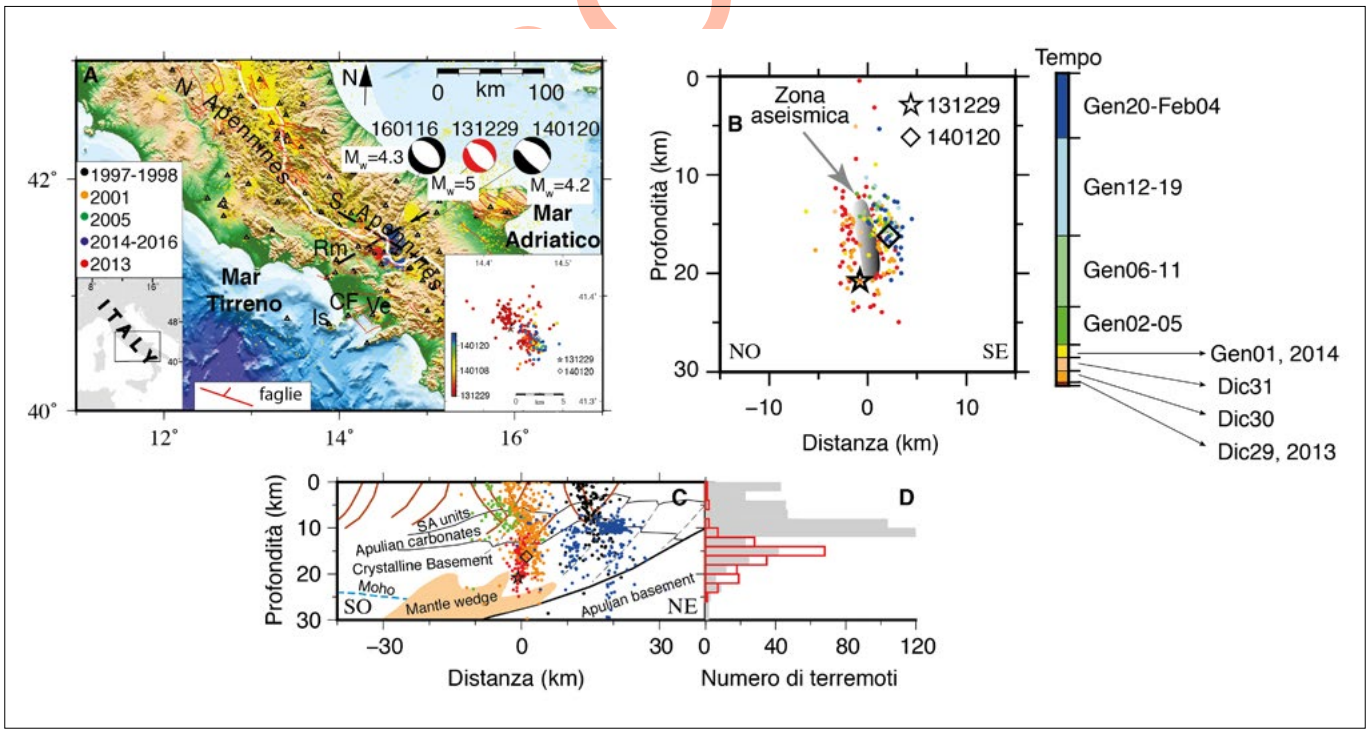


*Figura 1 – **A.** La sismicità crostale dal 1990 al 2016 con magntudo maggiore di 2 è graficata in giallo in A. Gli altri punti colorati identificano diverse sequenze sismiche avvenute nell'area negli ultimi 20 anni come mostrato nel riquadro a sinistra; in particolare la sismicità del 1997-1998 (punti neri) e del 2001 (punti arancioni) sono presi da Castello* et al. *(2005). In rosso sono riportati gli epicentri del 2013-2014 rilocalizzati e analizzati in questo studio. I meccanismi focali riportati sono presi da http://cnt.rm.ingv.it/tdmt. Le linee nere tratteggiate rappresentano i due profili sismici rappresentati in B (NO-SE) e in C (SO-NE). La linea bianca rappresenta il confine orografico da Vezzani* et al. *(2010). Le faglie sono prese da Comerci* et al. *(2013). I triangoli neri sono le stazioni sismiche. CF=Campi Flegrei; Ve=Vesuvio; Is=Ischia; Rm=Roccamonfina. **B.** Profilo NO-SE. I colori corrispondono all'evoluzione temporale della sequenza secondo la barra colorata. L'area in grigio rappresenta il "dicco" asismico derivato in questo studio. **C.** Profilo SO-NE in cui la sismicità è colorata secondo i colori indicati nella mappa A. La sezione geologica è modificata da Improta et al. (2014): le linee rosse sono le faglie normali attive, le faglie inverse sono rappresentate da linee grigie, mentre la linea continua rappresenta la Moho tirrenica. **D.** Istogramma del numero di eventi in funzione della profondità. Le barre rosse si riferiscono agli eventi del 2013-2014, mentre le barre grigie al resto della sismicità rappresentata in A .*

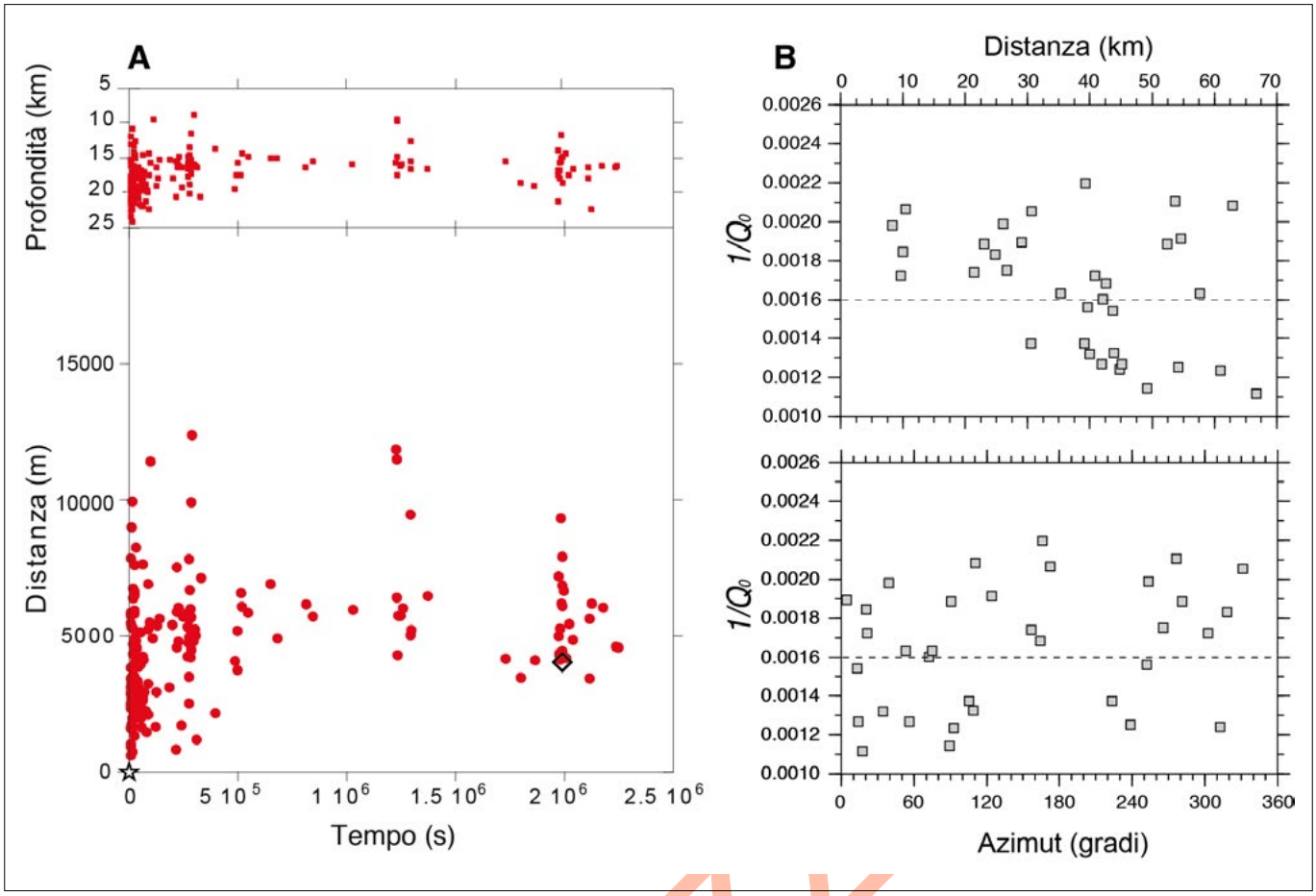


*Figura 2 – **A.** Distribuzione nel tempo delle profondità e delle distanze dal mainshock. In rosso è graficata la sismicità registrata nei primi 28 giorni dopo il mainshock indicato con la stella nera. L'aftershock del 20 gennaio 2014 è indicato con il rombo nero. **B.** Distribuzione dei valori di attenuazione in funzione dell'azimut (in basso) e della distanza ipocentrale (in alto) per 34 stazioni sismiche (vedi Convertito* et al.*, 2016, per i dettagli). Il valore medio di Q_0 è 616±128.*

fluidi (McNutt, 2005). Di conseguenza, i nostri dati sono coerenti con il coinvolgimento di fluidi nella sequenza del Sannio-Matese e suggeriscono rotture tensili intorno a un'area asismica, che potrebbe rappresentare un corpo magmatico. Per verificare se questi fluidi profondi risalgono in superficie e per stabilirne la natura, analizziamo la composizione delle sorgenti d'acqua e le emissioni di gas nella zona del Matese.

EMISSIONI DI CO_2

Gli epicentri della sequenza del 2013-2014 si trovano all'interno dell'area interessata dalla falda dell'acquifero del Matese, che copre una superficie di 812 km^2 (*Fig.* 4A), e scarica 22900 l s^{-1} di acqua (Boni *et al.*, 1986). Le acque che circolano nelle falde acquifere dissolvono la maggior parte del gas sotterraneo, poiché la CO_2 è relativamente solubile in acqua. Abbiamo stimato la quantità di CO_2 profonda che entra nelle falde acquifere definendo C_{ext}, che è la frazione di carbonio disciolto nelle acque sotterranee derivate da fonti di carbonio esterne alle falde acquifere. L'origine del C_{ext} disciolto dalle acque sotterranee è stata investigata utilizzando la composizione isotopica di C_{ext}, $\delta^{13}C$, e l'inverso della concentrazione (*Fig.* 4B). Nel diagramma, un gruppo di dati è caratterizzato da un più basso contenuto di C_{ext} e da valori più negativi di $\delta^{13}C$, che rappresentano le acque infiltranti (punti verdi in *Fig.* 4B). Questo trend caratterizza le acque sotterranee il cui carbonio è di origine biogenica. Quando viene aggiunta CO_2 di origine profonda, si osservano valori più alti di $\delta^{13}C$ e concentrazioni più elevate del carbonio disciolto (punti rossi nella *Fig.* 4B). La CO_2 profonda che penetra nella falda acquifera, come si evince dal carbonio disciolto nelle sorgenti, è molto simile a quella delle emissioni di gas ricche di CO_2 localizzate nell'area (quadrati gialli nella *Fig.* 4B). Pertanto, consideriamo i valori $\delta^{13}C$ vicini a 0 ‰ per la componente profonda disciolta nelle sorgenti vicine (punti rossi in *Fig.* 4B). In particolare, $\delta^{13}C \sim 0$ ‰ caratterizza le emissioni di gas nei sistemi magmatici del Vesuvio e di Roccamonfina, che si trovano a 60-70 km di distanza dalle falde acquifere del Matese (Minissale, 2004; Caliro *et al.*, 2005). La massa totale di CO_2 di origine profonda trasportata in soluzione dalle acque sotterranee, C_{deep}, è 380 t d^{-1}, mentre una quantità di ~ 570 t d^{-1} è stimata per l'intero acquifero del Matese, considerando che abbiamo campionato il 66% della portata totale dell'acqua. La maggior parte di questa CO_2 (283 t d^{-1}) viene scaricata dalle sorgenti la cui area di ricarica è vicina ai terremoti del 2013-2014 (campioni 1612, 1617,1618 e 1628 in *Fig.* 4A). Simile, e anche maggiore, è la quantità di CO_2 che viene disciolta dagli acquiferi vicini (*Fig.* 4A). Questi risultati indicano che la CO_2 di origine magmatica raggiunge la superficie nell'area del Matese.

FLUSSO DI CALORE

I gas rilasciati da una intrusione magmatica potrebbero essere l'origine della CO_2 profonda delle falde acquifere nel Matese (*Fig.* 4A). Per verificare se esiste un'anomalia di temperatura correlata a magma, facciamo riferimento al campione 1612 (*Fig.* 4A), che contribuisce per circa il 50% al bilancio del carbonio. Gli isotopi stabili indicano chiaramente un'origine meteorica per quest'acqua (Minissale, 2004). La temperatura dell'acqua del campione 1612 non è molto alta (12,4 °C), ma è 2 °C superiore a quella prevista per l'acqua che si infiltra a 1300-1400 m di altitudine, considerando anche il riscaldamento dovuto alla dissipazione di energia potenziale gravitazionale (Manga and Kirchner, 2004; Chiodini *et al.*, 2013). Il flusso di calore della sorgente 1612 è stimato in ~ 242 mW m^{-2}, un valore che evidenzia il ruolo primario delle falde acquifere nel nascondere il reale flusso di calore in regioni montuose e permeabili, perché è 5 volte superiore al flusso di calore conduttivo stimato per il Matese (40-50 mW m^{-2}) (Della Vedova *et al.*, 2001). Questo calcolo indica

INGV

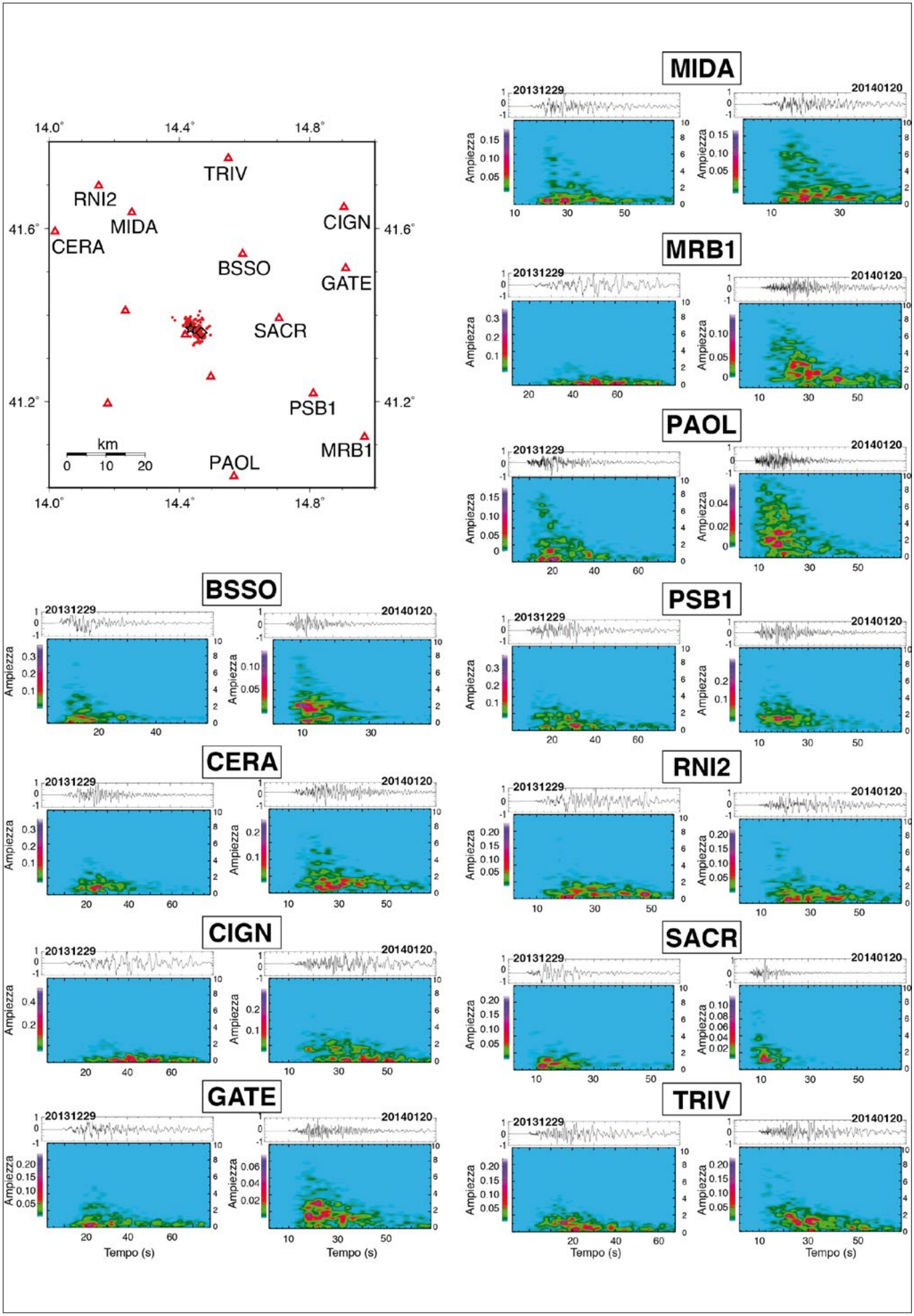


Figura 3 – Spettrogrammi della componente verticale della velocità del suolo per il mainshock (20131229) e l'aftershock (20140120) alle stazioni sismiche indicate, la cui posizione è indicata nella mappa. Ogni forma d'onda è normalizzata alla massima ampiezza.

che la CO_2 profonda è associata alla risalita di fluidi caldi. Sebbene la stima del flusso di calore della sorgente 1612 sia influenzata da incertezze di difficile quantificazione a causa dell'anomalia a bassa temperatura delle acque, la presenza di un'anomalia termica legata alla risalita di fluidi ricchi di CO_2 è confermata dalle vicine sorgenti termali ricche di CO_2 con portata inferiore (ad esempio, campioni 1617, 1618 e 1628 con temperature di 20.7 °C, 20.6 °C e 22.3 °C, rispettivamente, *Fig.* 4A). Per meglio vincolare questo risultato, esaminiamo le acque di questo settore dell'acquifero del Matese tracciando il contenuto di sodio (Na) delle acque, C_{ext} e l'entalpia rispetto al contenuto di cloro (Cl) (*Fig.* 5). La *Fig.* 5 mostra che il campione 1612 (la più grande sorgente con una portata di 5500 litri al secondo, *Fig.* 4A) è una miscela di normale acqua freatica e acqua termale relativamente ricca di Cl, Na e CO_2. Il dato fornisce anche un'indicazione indipendente dell'anomalia termica del campione 1612 che risulta essere di circa 2 °C (sorgente a T=12,4 °C). Ciò implica che, nel modello di miscela illustrato in *Fig.* 5, la componente di acqua freatica della miscela 1612 dovrebbe essere caratterizzata da una temperatura di ~10,4 °C, cioè da un'entalpia di 43,7 J g^{-1}. Questo calcolo conferma l'affidabilità delle nostre stime del flusso di calore.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Le nostre analisi sismologiche e geochimiche e i risultati della modellazione del flusso di calore dimostrano che la sequenza del 2013-2014 nel Sannio- Matese si è verificata in un'area dell'AM caratterizzata da un'anomalia geotermica. Gli eventi sismici hanno una distribuzione tipo dicco intorno ad un'area asismica e mostrano rotture di tipo tensile innescate da fluidi in sovrappressione. La zona ad alta attenuazione centrata nell'area epicentrale del Matese, il volume asismico delineato dagli ipocentri, l'anomalia del flusso di calore e il rilascio di CO_2 di origine profonda riflettono una condizione frequentemente osservata in aree vulcaniche attive (Scandone and Malone, 1985; Sanders *et al.*, 1995; Della Vedova *et al.*, 2001; De Gori *et al.*, 2011). Di conseguenza, quanto dedotto dai dati geochimici e geofisici potrebbe indicare la presenza di magma caldo che alimenta un'intrusione preesistente e genera una sovrappressione di fluidi nella crosta dell'AM. Il serbatoio magmatico tipo dicco e l'alto contenuto di fluidi spiegano l'elevata attenuazione sismica subverticale intorno al cluster di ipocentri. Queste caratteristiche non si possono spiegare solo con un input di gas perché l'ascesa del gas in generale produce sciami sismici subverticali e non zone di elevata attenuazione a scala chilometrica. La distribuzione insolita di eventi a bassa frequenza (*Fig.* 1B, C & D e *Fig.* 3) e l'evoluzione nel tempo delle profondità degli eventi di tipo "burst" come nella sequenza del Matese (*Fig.* 2A) sono caratteristiche trovate anche in Giappone a distanze dai vulcani superiori a 50 km, prodotti da fluidi in sovrappressione (Vidale *et al.*, 2006).

Questo processo può spiegare la sequenza sismica del Matese, suggerendo che la sovrappressione dei fluidi può essere associata a magma che alimenta un'intrusione con meccanismo ad "impulso o burst". L'allineamento NO-SE degli epicentri 2013-2014 del Matese e le soluzioni dei meccanismi focali dei terremoti indicano piani di rottura NO-SE (*Fig.* 1A), che si verificano in risposta a un'estensione regionale NE-SO dell'AM. Per aprire crack e consentire la migrazione dei fluidi, la pressione di fluido Pf deve essere maggiore del minimo stress orizzontale regionale $\sigma 3$. Assumendo una rottura tensile e applicando il criterio di Griffith (Sibson, 2000), la relazione $Pf \geq \sigma 3 + T$, dove T [20MPa (Perras and Diederichs, 2014)] è la resistenza tensile delle rocce, deve essere soddisfatta (per i calcoli dettagliati, vedi Di Luccio *et al.*, 2018). Ipotizziamo che la sorgente di pressione sia ad una profondità di 15 km, vale a dire nella parte superiore del "dicco" asismico. Per le rocce del basamento cristallino otteniamo Pf = 308 ±

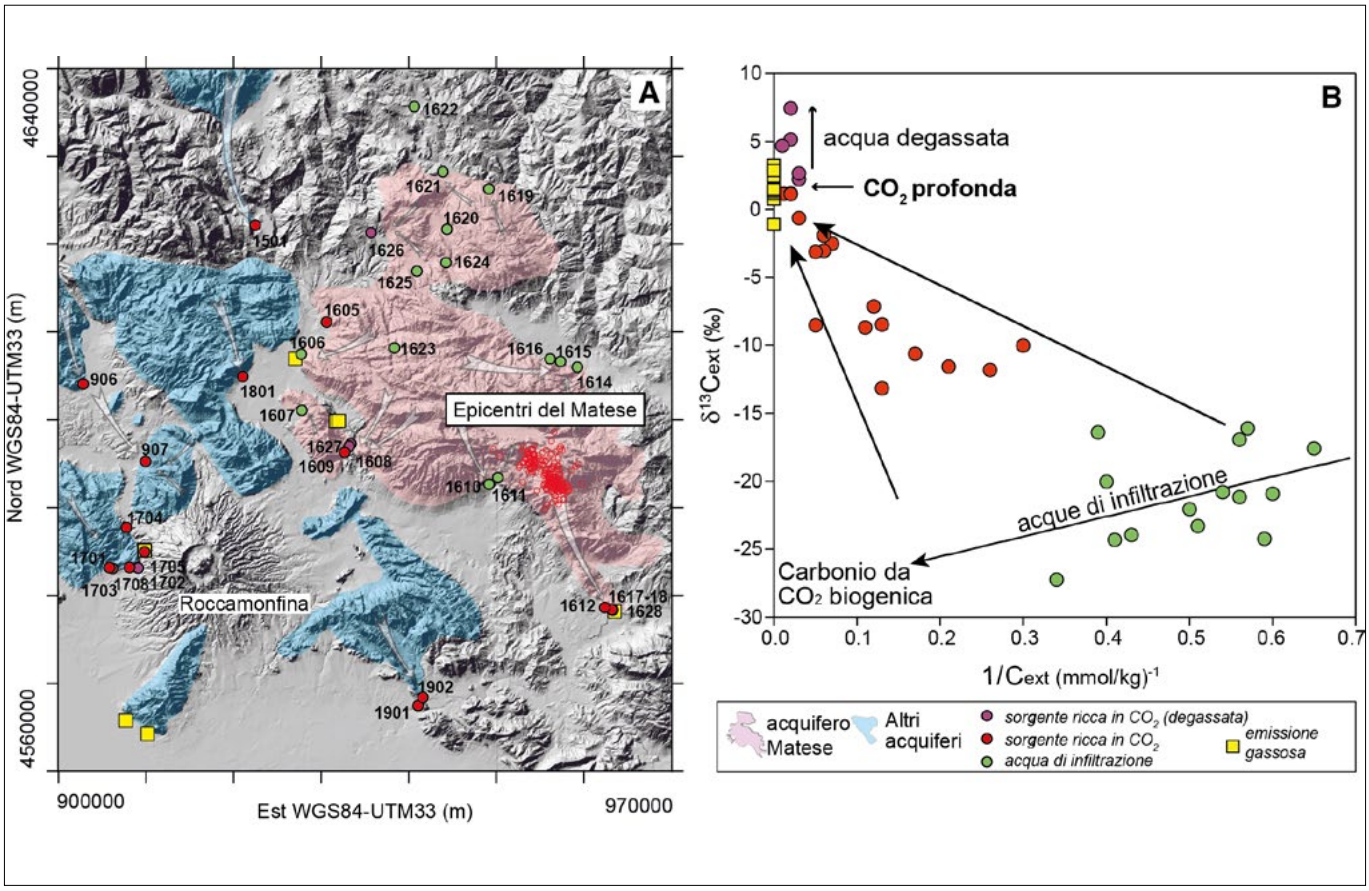


*Figura 4 – **A.** Posizione delle sorgenti nell'area del Matese, acquiferi, acque che degassano CO_2 e punti di emissione di gas ricchi di CO_2. I cerchi rossi sono gli epicentri della sequenza sismica del Matese. **B.** Diagramma di δC_{ext} in funzione di $1/C_{ext}$. Il campionamento e l'analisi dei gas e delle acque sono stati eseguiti tra settembre 1999 e maggio 2000.*

22 MPa e $\sigma 3 = 290 \pm 20$ MPa a una profondità di 15 km. Questi valori indicano che, entro le incertezze legate ai valori di T e $\sigma 3$, la condizione per l'apertura di un crack è soddisfatta (Sibson, 2000). Gli ipocentri del 2013-2014 si concentrano a profondità tra i 10 e 25 km, all'interno del basamento cristallino dell'AM al di sopra del cuneo del mantello e sotto i carbonati dell'Apula (*Fig.* 1C). Suggeriamo che l'interfaccia basamento cristallino-carbonati in AM è una zona di densità e/o discontinuità meccaniche, dove il deposito e l'accumulo di magma sono possibili perché tale interfaccia può rappresentare il livello dove la densità del magma è uguale a quella delle rocce incassanti (Burov *et al.*, 2003) e/o una barriera di rigidità all'interno della crosta (Menand, 2011). Questa conclusione è validata da dati sismici e geochimici indipendenti (Ghisetti and Vezzani, 2002), dimostrando che, quando presente in AM, materiali fusi e fluidi in sovrappressione si concentrano nella crosta a profondità tra 10 e 15 km all'interfaccia fra il basamento cristallino e gli strati sovrastanti. Proponiamo che la sorgente magmatica profonda che alimenta l'intrusione nel Matese è il cuneo del mantello al di sotto dell'AM, dove materiali fusi si accumulano sotto la litosfera appenninica (*Fig.* 1) (De Astis *et al.*, 2006; Ventura *et al.*, 2007; Improta *et al.*, 2014; Ghisetti and Vezzani, 2002). Secondo i dati geochimici disponibili, questa sorgente è la stessa che alimenta i vicini vulcani di Roccamonfina, Campi Flegrei e Vesuvio, situati a circa 100 km a ovest (De Astis *et al.*, 2006).

Abbiamo mostrato che i segnali sismici derivati da intrusioni magmatiche in catene montuose non differiscono qualitativamente da quelli osservati in aree vulcaniche. Tuttavia, in quest'ultimo caso, i terremoti sono generalmente distribuiti in sciami o occorrono in maniera continua prima di un'eruzione a poca profondità, nei primi strati di crosta superiore (McNutt, 2005). L'attività sismica durante la sequenza del Matese non è continua, ma di tipo "burst" e più profonda (Fig. 2A). Queste differenze nei segnali sismici tra i processi vulcanici e intrusivi attivi ci permettono di concludere che i terremoti del Matese nel 2013-2014 sono legati ad un impulso di magma dalla crosta inferiore sotto l'AM e non rappresentano un processo di accumulo costante. La scala temporale per generare sovrappressioni legate a questi impulsi di magma sono dell'ordine di 50 giorni, che coincide con la durata della sequenza sismica. Supponendo che il "dicco" asismico delineato dalla sequenza

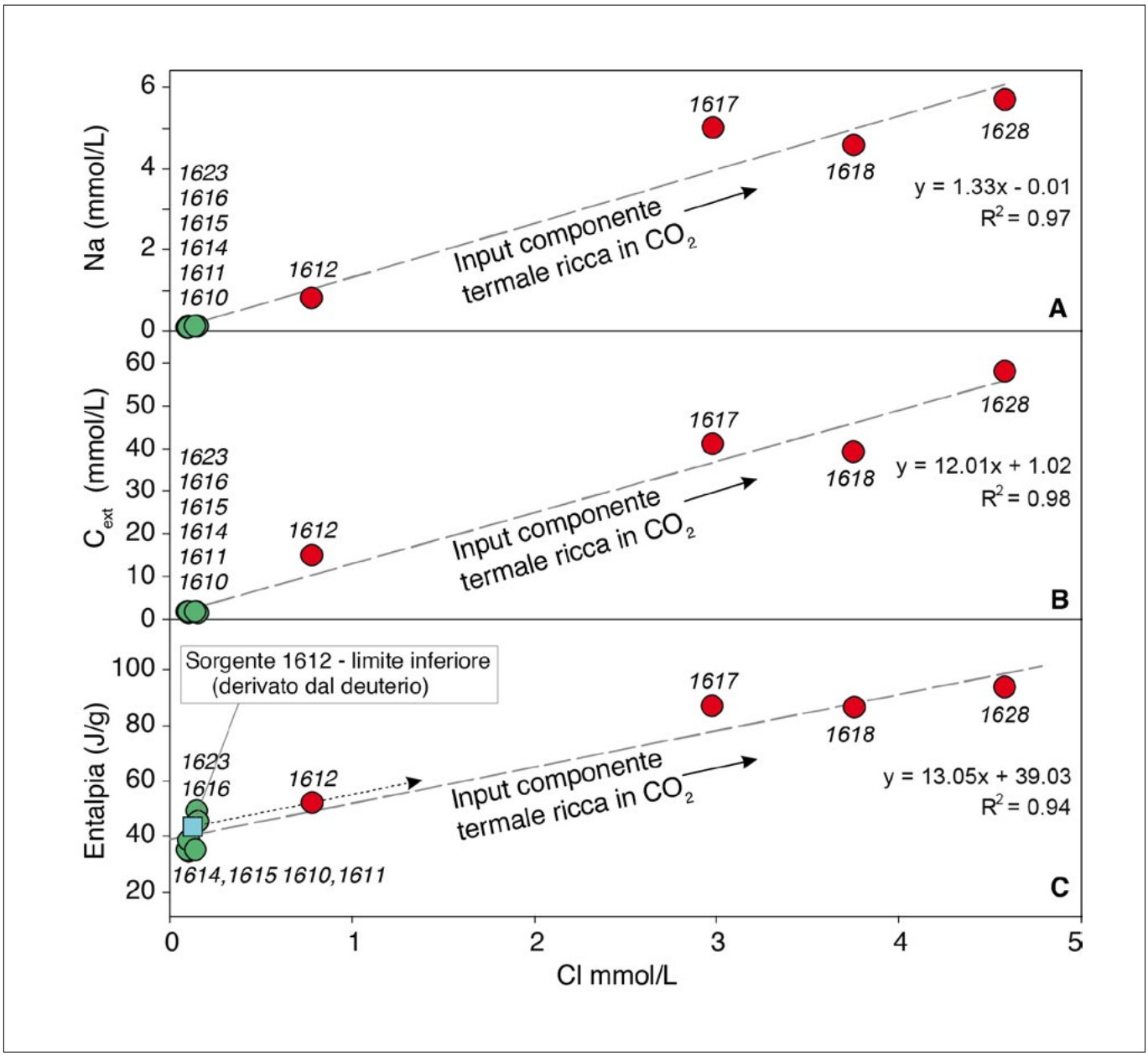


*Figura 5 – Variazione del contenuto di cloro con il sodio (**A**), C_{ext} (**B**) ed entalpia (**C**) nelle sorgenti del Matese e fit calcolati (linee tratteggiate). La sorgente più grande dell'area (campione 1612, 5500 litri al secondo) è una miscela composta dal ~15% di acqua termale (1628) e 85% di acqua normale; la temperatura di 10.4°C, ottenuta sulla base del contenuto di deuterio, è una stima ragionevole del limite inferiore nella miscela che compone la sorgente 1612 (quadrato azzurro in **C**). La posizione delle sorgenti è mostrata nella Fig. 4A.*

del Matese sia occupato da un corpo intrusivo parzialmente fuso, si stima che questo corpo abbia un volume di circa 30 km^3.

Facciamo notare che la sismicità appenninica è generalmente interpretata come dovuta a stress tettonico o all'interazione di stress tettonico con serbatoi di CO_2 sovrappressurizzata situati nella crosta superiore (Chiodini *et al*., 2004; Chiarabba *et al*., 2005; Miller, 2013). I nostri dati mostrano che una sismicità profonda associata al rilascio di fluidi da corpi intrusivi deve anche essere presa in considerazione. Come nel caso del Sannio-Matese, se presenti, intrusioni attive possono innescare terremoti più profondi rispetto alla sismicità di fondo, che è più superficiale e di magnitudo anche maggiore di 5. Di conseguenza, i terremoti associati alle intrusioni attive devono essere considerati nella valutazione della pericolosità sismica delle catene montuose. Questa sismicità dovrebbe anche essere analizzata nel tempo con l'obiettivo di rilevare una potenziale ricorrenza nel processo di formazione del serbatoio di magma. Per identificare le sequenze sismiche tipo "burst" caratterizzate da basse frequenze, altre catene montuose come l'Himalaya, la Cordillera in nord America, le Ande e Zagros potrebbero essere studiate. Questi segnali sismici, se identificati, fornirebbero informazioni importanti sui meccanismi di innesco dei terremoti legati a episodi di intrusioni e sulla dinamica di risalita del magma nella crosta terrestre.

BIBLIOGRAFIA

Annen, C. (2009), *From plutons to magma chambers: Thermal constraints on the accumulation of eruptible silicic magma in the upper crust.* Earth Planet. Sci. Lett. 284, 409–416.

Artemieva, I. M., Billien, M., Leveque, J.-J., Mooney, W. D. (2004), *Shear wave velocity, seismic attenuation, and thermal structure of the continental upper mantle.* Geophys. J. Int. 157, 607–628.

Bachmann, O., Huber, C. (2016), *Silicic magma reservoirs in the Earth's crust.* Am. Mineral. 101, 2377–2404.

Boni, C. F., Bono, P., Capelli, G. (1986), *Schema idrogeologico dell'Italia Centrale.* Mem. Soc. Geol. Ital. 35, 991–1012.

Boatwright, J. (1980), *A spectral theory for circular seismic sources; simple estimates of source dimension, dynamic stress drop, and radiated seismic energy.* Bull. Seismol. Soc. Am. 70, 1–27

Brooks, B. A., Bevis, M., Whipple, K., Arrowsmith, J. R., Foster, J., Zapata, T., Kendrick, E., Minaya, E., Echalar, A., Blanco, M., Euillades, P., Sandoval, M., Smalley Jr., R. J. (2011), *Orogenic wedge deformation and potential for great earthquakes in the central Andean backarc.* Nat. Geosci. 4, 380-383.

Burov, E., Jaupart, C., Guillou-Frottier, L. (2003), *Ascent and emplacement of buoyant magma bodies in brittle-ductile upper crust.* J. Geophys. Res. 108, 2177.

Caliro, S., Chiodini, G., Avino, R., Cardellini, C., Frondini, F. (2005), *Volcanic degassing at Somma–Vesuvio (Italy) inferred by chemical and isotopic signatures of groundwater.* App. Geochem. 20, 1060–1076.

Cao, W., Kaus, B. J. P., Paterson, S. (2016), *Intrusion of granitic magma into the continental crust facilitated by magma pulsing and dike-diapir interactions: Numerical simulations.* Tectonics 35, 1575–1594.

Castello, B., Selvaggi, G., Chiarabba, C., Amato, A. (2005), *Catalogo Della Sismicità Italiana—CSI 1.0,1981–2002* (Centro Nazionale Terremoti, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia)

Chiarabba, C., Jovane, L., Di Stefano, R. (2005) *A new view of Italian seismicity using 20 years of instrumental recordings.* Tectonophysics 395, 251–268.

Chiodini, G., Cardellini, C., Amato, A., Boschi, E., Caliro, S., Frondini, F., Ventura, G. (2004), *Carbon dioxide Earth degassing and seismogenesis in central and southern Italy.* Geophys. Res. Lett. 31, L07615.

Chiodini, G., Cardellini, C., Caliro, S., Chiarabba, C., Frondini, F. (2013), *Advective heat transport associated with regional Earth degassing in central Apennine (Italy).* Earth Planet. Sci. Lett. 373, 65–74.

Comerci, V., Blumetti, A. M., Di Manna, P., Fiorenza, D., Guerrieri, L., Lucarini, M., Serva, L., Vittori, E. (2013), *ITHACA Project and capable faults in the Po Plain (northern Italy).* Ingegneria Sismica 30, 36–50.

Convertito, V., Pino, N. A., Di Luccio, F. (2016), *Investigating source directivity of moderate earthquakes by multiple approach: The 2013 Matese (southern Italy) $M_W = 5$ event.* Geophys. J. Int. 207, 1513–1528.

De Astis, G., Kempton, P. D., Peccerillo, A., Wu, T. W. (2006), *Trace element and isotopic variations from Mt. Vulture to Campanian volcanoes: Constraints for slab detachment and mantle in flow beneath southern Italy.* Contrib. Mineral. Petrol. 151, 331–351.

De Gori, P., Chiarabba, C., Giampiccolo, E., Martinez-Arèvalo, C., Patanè, D. (2011), *Body wave attenuation heralds incoming eruptions at Mount Etna.* Geology 39, 503–506.

Della Vedova, B., Bellani, S., Pellis, G., Squarci, P. (2001), *Deep temperatures and surface heat flow distribution*, in Anatomy of an Orogen: The Apennines and Adjacent Mediterranean Basins, G. B. Vai, I. P. Martini, Eds. (Kluwer Academic Publishers), pp. 65–76.

Di Luccio, F., Chiodini, G., Caliro, S., Cardellini, C., Convertito, V., Pino, N. A., Tolomei, C., Ventura, G. (2018), *Seismic signature of active intrusions in mountain chains.* Sci. Adv. 4, e1701825

Di Luccio, F., Ventura, G., Di Giovambattista, R., Piscini, A., Cinti, F. R. (2010), *Normal faults and thrusts reactivated by deep fluids: The 6 April 2009 Mw 6.3 L'Aquila earthquake, central Italy.* J. Geophys. Res. 115, B06315.

Ghisetti, F., Vezzani, L. (2002), *Normal faulting, transcrustal permeability and seismogenesis in the Apennines (Italy).* Tectonophysics 348, 155–168.

Kelemen, P. B., Behn, M. D. (2016), *Formation of lower continental crust by relamination of buoyant arc lavas and plutons.* Nat. Geosci. 9, 197–205

Keller, C. B., Schoene, B., Barboni, M., Samperton, K. M., Husson, J. M. (2015), *Volcanic–plutonic parity and the differentiation of the continental crust.* Nature 523, 301–307.

Ide, S. (2016), *Characteristics of slow earthquakes in the very low frequency band: Application to the Cascadia subduction zone.* J. Geophys. Res. 121, 5942–5952.

Improta, L., De Gori, P., Chiarabba, C. (2014), *New insights into crustal structure, Cenozoic magmatism, CO2 degassing, and seismogenesis in the southern Apennines and Irpinia region from local earthquake tomography.* J. Geophys. Res. 119, 8283–8311.

Ingebritsen, S. E., Manning, C. E. (2010), *Permeability of the continental crust: Dynamic variations inferred from seismicity and metamorphism.* Geofluids 10, 193–205.

Manga, M., Kirchner, J. W. (2004), *Interpreting the temperature of water at cold springs and the importance of gravitational potential energy.* Water Resour. Res. 40, W05110.

McNutt, S. R. (2005), *Volcanic seismology.* Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 33, 461–491.

Menand, T. (2011), *Physical controls and depth of emplacement of igneous bodies: A review.* Tectonophysics 500, 11–19.

Miller, S. A., Collettini, C., Chiaraluce, L., Cocco, M., Barchi, M., Kaus, B. J. P. (2004), *Aftershocks driven by a high-pressure CO2 source at depth.* Nature 427, 724–727.

Miller, S. (2013), *The role of fluids in tectonic and earthquake processes.* Adv. Geophys. 54, 1–46

Minissale, A. (2004), *Origin, transport and discharge of CO2 in central Italy.* Earth Sci. Rev. 66, 89–141.

Perras, M. A., Diederichs, M. S. (2014), *A review of the tensile strength of rock: Concepts and testing.* Geotech. Geol. Eng. 32, 525–546.

Petford, N., Cruden, A. R., McCaffrey, K. J. W., Vigneresse, J.-L. (2000), *Granite magma formation, transport and emplacement in the Earth's crust.* Nature 408, 669–673.

Sanders, C. O., Ponko, S. C., Nixon, L. D., Schwartz, E. A. (1995), *Seismological evidence for magmatic and hydrothermal structure in Long Valley Caldera from local earthquake attenuation and velocity tomography.* J. Geophys. Res. 100, 8311–8326.

Scandone, R., Malone, S. D. (1985), *Magma supply, magma discharge and readjustment of the feeding system of Mount St. Helens during 1980.* J. Volcanol. Geotherm. Res. 23, 239–262.

Shapiro, S. A., Dinske, C. (2009), *Fluid-induced seismicity: Pressure diffusion and hydraulic fracturing.* Geophys. Prospect. 57, 301–310.

Sibson, R. H. (2000), *Fluid involvement in normal faulting.* J. Geodyn. 29, 469–499.

Talwani, P., Chen, L., Gahalaut, K. (2007), *Seismogenic permeability, ks.* J. Geophys. Res. 112, B07309.

Ventura, G., Cinti, F. R., Di Luccio, F., Pino, N. A. (2007), *Mantle wedge dynamics versus crustal seismicity in the Apennines (Italy).* Geochem. Geophys. Geosyst. 8, Q02013.

Vezzani, L., Festa, A., Ghisetti, F. C. (2010), *Geology and tectonic evolution of the Central-Southern Apennines, Italy.* Geol. Soc. Am. Spec. Paper 469, 1–58.

Vidale, J. E., Boyle, K. L., Shearer, P. M. (2006), Crustal earthquake bursts in California and Japan: Their patterns and relation to volcanoes. Geophys. Res. Lett. 33, L20313.

Waldhauser, F., Ellsworth, W. L. (2000), *A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault, California.* Bull. Seismol. Soc. Am. 90, 1353–1368.

II BOZZA

4. TERREMOTI E MAREMOTI IN ITALIA: CASI DI STUDIO

II BOZZA

Evidenze geologiche ed archeologiche di terremoti storici in Trentino-Alto Adige

Historical seismicity in Trentino-Alto Adige: geological and archaeological evidence

Parole chiave (*key words*): sismicità storica (*historical seismicity*), rock-avalanches (*rock-avalanches*), archeologia (*archaeology*), paleosismologia (*palaeoseismology*), Trentino-Alto Adige (*Trentino-Alto Adige*)

Alfio Viganò
Servizio Geologico, Provincia Autonoma di Trento
E-mail: alfio.vigano@provincia.tn.it

Stefano di Stefano
Se. Arch. Srl, Bolzano
E-mail: distefano@serviziarcheologia.com

Andrea Franceschini
Servizio Geologico, Provincia Autonoma di Trento
E-mail: andrea.franceschini@provincia.tn.it

Claudio Carraro
Ufficio Geologia e prove materiali, Provincia Autonoma di Bolzano
E-mail: claudio.carraro@provincia.bz.it

Catrin Marzoli
Ufficio Beni Archeologici, Provincia Autonoma di Bolzano
E-mail: catrin.marzoli@provincia.bz.it

Lorenzo Cadrobbi
Geologia Applicata, Mezzocorona
E-mail: lorenzo.cadrobbi@geologiaapplicata.it

RIASSUNTO

Sono qui presentati due casi studio sulla sismicità di epoca storica per il territorio del Trentino-Alto Adige. Il primo riguarda l'analisi di alcune grandi frane del Trentino, in relazione al loro probabile innesco sismico durante l'importante terremoto (sequenza sismica) della Media Val d'Adige del 9 novembre 1046. Il secondo descrive le deformazioni tettoniche, quali evidenze di terremoti di epoca storica, presso il sito di Egna in Alto Adige, dove un evento distruttivo fu responsabile nel terzo secolo d.C. della distruzione e dell'abbandono di una casa romana. Tali evidenze geologiche, archeologiche e paleosismologiche di terremoti in epoca storica sono descritte e discusse anche in relazione alla sismicità più recente, nel contesto geologico e sismotettonico di riferimento.

ABSTRACT

Two case studies of Trentino-Alto Adige historical seismicity are presented. In the first one, we discuss about large landslides in Trentino probably triggered by the 9 November 1046 earthquake (seismic sequence) in the Middle Adige Valley. In the second case, tectonic deformations due to past earthquakes in Egna (Alto Adige) are analysed. In this area, during the Third Century a Roman building was destroyed by a seismic event. Geological, archaeological and palaeoseismological evidence is described and discussed with reference to recent seismicity, geology and seismotectonics.

INTRODUZIONE

La Mappa di pericolosità sismica nazionale prevede, per il territorio del Trentino-Alto Adige, massima accelerazione al suolo inferiore a 0,18 g (g è l'accelerazione di gravità), considerando un tempo di ritorno pari a 475 anni, ossia una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Gruppo di lavoro MPS, 2004). Tale moto del suolo, la cui stima tiene conto non solo della sismicità all'interno dei confini regionali ma anche di terremoti esterni ad essi ma risentiti in Trentino-Alto Adige, si riferisce ad un suolo cosiddetto rigido (in prima approssimazione assimilabile a roccia) ed in assenza di topografia. È tuttavia noto che la presenza di terreni (per i quali la velocità di propagazione delle onde sismiche è minore rispetto alla roccia) e di topografia accentuata provoca potenziali amplificazioni, anche rilevanti, del moto del suolo.

Le stime probabilistiche di pericolosità sismica, come appunto quelle utilizzate per il territorio nazionale, sono ottenute tenendo in considerazione la distribuzione e l'entità della sismicità sul territorio. In particolare, vengono considerate sia la cosiddetta sismicità "strumentale", quella cioè localizzata ed analizzata attraverso gli strumenti di registrazione (sismometri), sia la cosiddetta sismicità "storica", ossia quella identificata tramite tecniche differenti in quanto avvenuta in tempi precedenti l'avvento della strumentazione. È infatti fondamentale cercare di conoscere se si sono verificati terremoti rilevanti in epoca pre-strumentale, ossia prima degli ultimi 100 anni circa, dal momento che i tempi di ritorno degli eventi sismici (periodo che intercorre tra un terremoto ed il successivo della medesima magnitudo, in una certa area) sono generalmente molto lunghi. In Italia, relativamente a terremoti di massima magnitudo, questi tempi di ritorno sono dell'ordine delle diverse centinaia di anni.

Per quanto riguarda la sismicità strumentale, il Trentino-Alto Adige dispone di due reti per il monitoraggio e lo studio locale della sismicità, pensate e gestite a scopi di protezione civile. Entrambe le reti sono caratterizzate da strumentazione sismologica con caratteristiche idonee agli attuali standard sismologici, da registrazione in continuo e da trasmissione dei dati in tempo reale. Le reti sismiche del Trentino e dell'Alto Adige scambiano tra loro le registrazioni digitali delle rispettive stazioni di misura, oltre ad essere interconnesse con la rete sismica nazionale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), la rete dell'Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS), la rete sismica Austriaca dello *Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik* (ZAMG) ed altre reti regionali limitrofe.

La Provincia Autonoma di Trento gestisce la rete sismica del Trentino, installata ed attiva dall'anno 1981. Essa possiede sigla internazionale ST e codice doi:10.7914/SN/ST (*Digital Object Identifier*), essendo registrata presso lo *International Federation of Digital Seismograph Networks* (FDSN, www.fdsn.org). Attualmente (fine 2017) la rete è costituita da 8 stazioni velocimetriche e da 20 stazioni accelerometriche; molte di queste ultime sono installate in prossimità delle grandi dighe del Trentino. La rete sismica del Trentino elabora i dati sismologici al fine di caratterizzare la sismicità regionale (http://www.protezionecivile.tn.it/territorio/Sismologia/-Classificazioni/pagina14.html) e localizzare altri eventi naturali e antropici, quali grandi frane e scoppi/esplosioni (http://www.protezionecivile.tn.it/territorio/evid_territorio/pagina56.html).

La Provincia Autonoma di Bolzano gestisce la rete sismica dell'Alto Adige, installata ed attiva dall'anno 2006. Attualmente (fine 2017) essa è costituita da 10 stazioni velocimetriche e/o accelerometriche. La rete ha permesso, durante gli ultimi dieci anni, di registrare un notevole numero di terremoti anche di bassa magnitudo, contribuendo a meglio definire il quadro dell'attività sismica locale e di altre possibili sorgenti quali esplosioni durante attività di scavo o importanti eventi franosi.

Per quanto riguarda invece la sismicità storica, le informazioni disponibili in Trentino-Alto Adige non sono molto ricche. Questo a motivo non tanto di assenza di sismicità significativa nel corso dei secoli, come invece lascerebbe supporre la sismicità registrata ai

ANTEPRIMA

giorni nostri, quanto piuttosto di alcune possibili limitazioni, intrinseche nel metodo di indagine o specifiche del territorio, che non hanno permesso alle informazioni sui terremoti passati di giungere fino a noi.

In questo lavoro sono raccolte e descritte alcune evidenze in campo geologico ed archeologico-paleosismologico, a supporto dello studio della sismicità storica in Trentino-Alto Adige. I risultati, derivanti dallo studio di importanti eventi franosi di epoca storica e di un sito archeologico relativo ad una casa romana distrutta da un evento sismico passato, sono una fonte di informazione preziosa al fine di definire con maggiore dettaglio ed accuratezza la storia e la pericolosità sismiche di quest'area montuosa delle Alpi. Inoltre, i metodi di analisi utilizzati ed i risultati ottenuti possono rappresentare un riferimento allo scopo di migliorare lo studio della sismicità storica anche in altre aree del territorio nazionale con analoghe caratteristiche.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E SISMOTETTONICO

Il Trentino-Alto Adige appartiene al settore centro-orientale delle Alpi ed è caratterizzato da una geologia piuttosto articolata, per quanto riguarda sia le litologie che le strutture tettoniche (*Fig.* 1). Alla piccola scala, il territorio compete a due macro-domini, tra loro a contatto lungo l'importante limite tettonico dalla Linea Insubrica. Nella porzione interna della catena, a nord della Linea Insubrica, affiorano estesamente rocce metamorfiche appartenenti alle falde Austroalpina e Penninica. A sud della Linea Insubrica, il Sudalpino delle cosiddette Alpi meridionali, caratterizzato da rocce del basamento, grandi corpi di rocce intrusive ed importanti coperture sedimentarie.

Tale diversificazione litologica è accompagnata da un complesso sistema di faglie, organizzate in sistemi alla scala regionale. Tra essi, a nord i sistemi che bordano la finestra dei Tauri, tra cui spicca per importanza la faglia del Brennero, e quelli relativi all'Engadina. Nelle Alpi meridionali, i sistemi delle Giudicarie, della Valsugana e della Schio-Vicenza che si intersecano in maniera complessa proprio in area trentina (Castellarin *et al.*, 2006; schema in *Fig.* 1).

Tale eterogeneità litologica e strutturale è propria non solo della geologia di superficie ma anche dell'intero spessore crostale, determinando così le caratteristiche proprie della sismicità in questo settore alpino. La distribuzione degli ipocentri sismici degli ultimi decenni, localizzati sulla base delle registrazioni strumentali disponibili, mostra infatti un'ottima correlazione con le faglie geologiche note e la loro attivazione a seguito delle spinte tettoniche regionali (Viganò *et al.*, 2008; 2015). La sismicità strumentale del Trentino-Alto Adige è comunque di grado medio-basso ed appartiene a quella che, più estesamente, interessa la Alpi centro-orientali tra la Lombardia orientale ed il Friuli Venezia Giulia, in accordo all'attuale modello sismotettonico delle Alpi centro-orientali (Viganò *et al.*, 2015).

Il database nazionale delle cosiddette "sorgenti sismogenetiche" (DISS Working Group, 2015) prevede stime di magnitudo massima attesa di poco inferiori a 6, per i settori appartenenti alle Giudicarie meridionali e alla zona del Lago di Garda. I settori attualmente più sismici comprendono il Trentino meridionale, inclusa l'area gardesana, e l'Alto Adige occidentale (Viganò *et al.*, 2015).

Tra i terremoti recenti, meritano particolare attenzione quello di Riva del Garda (13 dicembre 1976, magnitudo locale $M_L = 4,3$), della Val di Terragnolo (13 settembre 1989, $M_L = 4,7$), di Merano (17 luglio 2001, $M_L = 5,3$) e di Avio (29 ottobre 2011, $M_L = 4,4$).

L'evento di Riva del Garda è stato recentemente oggetto di revisione da parte dei tecnici della Rete Sismica della Provincia Autonoma di Trento, che lo hanno meglio localizzato con epicentro nella vicina Val di Ledro, dove nel 2015 è avvenuta una breve sequenza sismica con magnitudo massima M_L pari a 3,8. Proprio a seguito di quel terremoto nel 1976, medesimo anno del più noto e forte terremoto del Friuli (6 maggio 1976, $M_L = 6,4$), la Provincia Autonoma di Trento diede inizio al monitoraggio sismico e allo studio degli effetti sismici locali in Trentino.

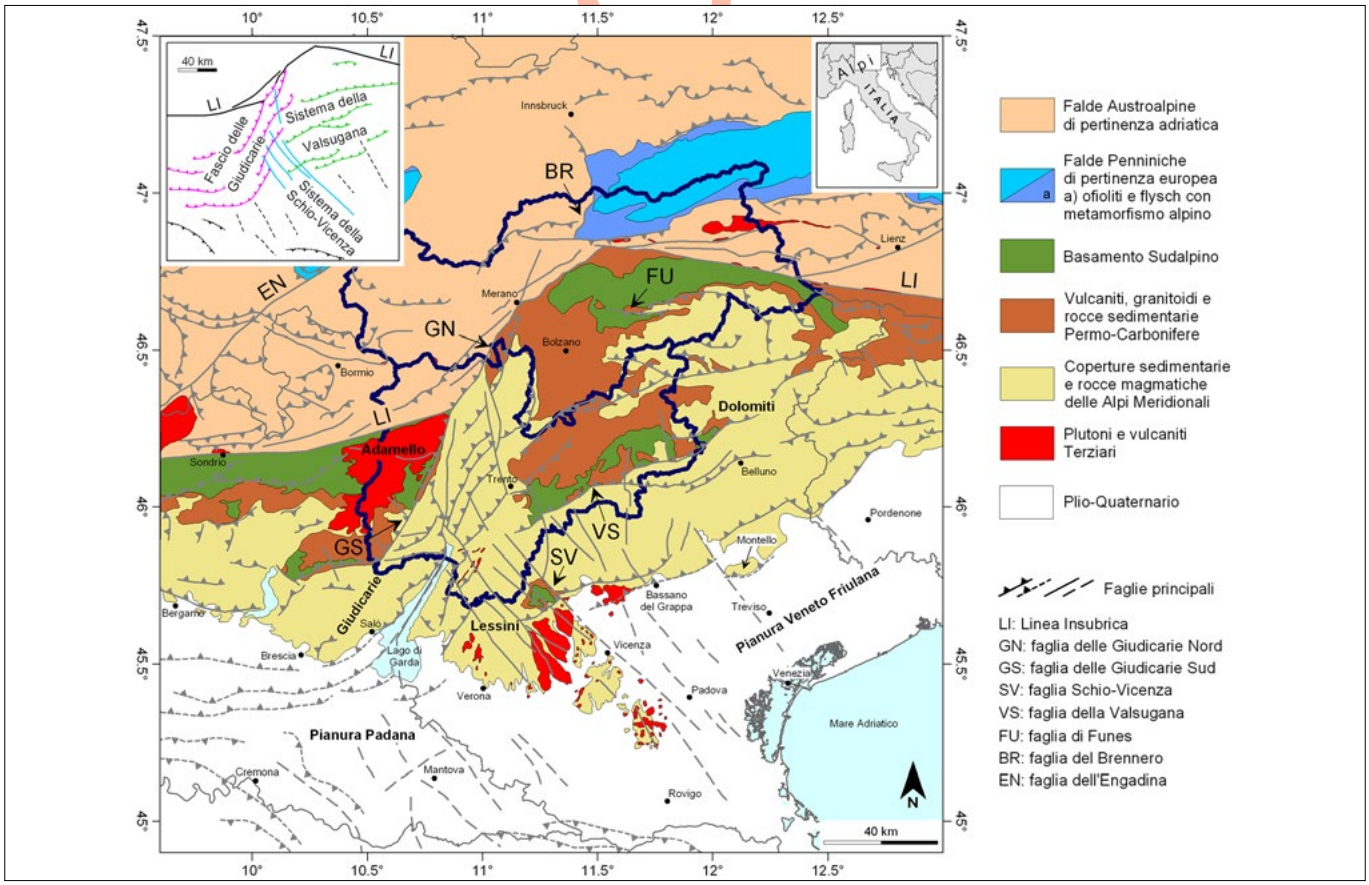


Figura 1 – Mappa geologica semplificata delle Alpi centro-orientali. In colore blu scuro i confini amministrativi del Trentino e dell'Alto Adige. In alto a sinistra, schema tettonico delle Alpi meridionali

In Alto Adige, il terremoto di Merano causò due morti (uno dei quali per una frana sismo-indotta), lesioni sia ad edifici storici che altre strutture non portanti, e *black-out* delle telecomunicazioni su rete mobile. Questo evento sta a dimostrare come, anche al di fuori delle aree ritenute essere sismicamente più pericolose, siano comunque possibili terremoti di bassa o moderata energia. A seguito di questo evento sismico, il primo fortemente risentito in un settore fino ad allora comunemente ritenuto a bassa sismicità, la Provincia Autonoma di Bolzano diede inizio al monitoraggio sismico dell'Alto Adige.

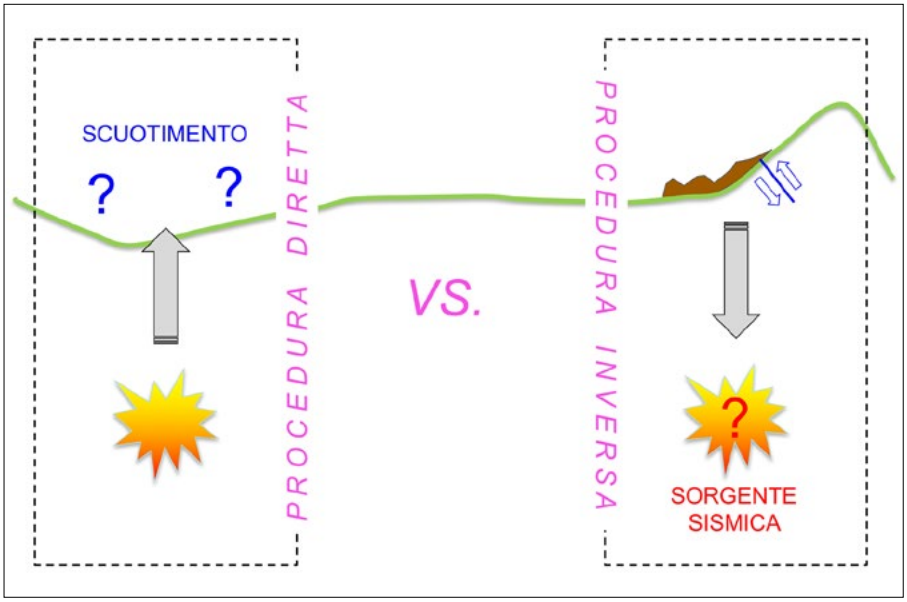


Figura 2 – Schema descrittivo delle relazioni tra la sismicità ed i processi che avvengono alla superficie terrestre. Sono messe a confronto due diverse procedure di analisi (diretta ed inversa), caratterizzate da differenti incognite oggetto di studio. Nel pannello di destra sono stilizzati un deposito di frana (in colore marrone) ed una dislocazione co-sismica (fagliazione superficiale; in colore blu)

I TERREMOTI DEL PASSATO

Lo studio della sismicità per via strumentale permette di stimare i cosiddetti "parametri sorgente" del terremoto (tra questi, la localizzazione in termini di posizione epicentrale e di profondità) e, se sono disponibili stazioni di misura in prossimità dell'epicentro, di valutare lo scuotimento avvenuto. Inoltre, i modelli sismologici permettono anche di calcolare i possibili scuotimenti in superficie (moto del suolo) al verificarsi di eventuali futuri terremoti di magnitudo ed ipocentro dati (*Fig.* 2, pannello di sinistra).

Lo studio della sismicità storica valuta invece gli effetti dello scuotimento sismico sull'ambiente antropico e/o naturale, per ricavare la posizione approssimata e le caratteristiche dei terremoti passati. Data la grande disponibilità delle informazioni storiche sul suo territorio, soprattutto fonti scritte e documentali ed informazioni architettoniche/strutturali derivanti dall'edificato storico, l'Italia dispone di cataloghi storici molto ricchi e sviluppati. Tra questi, il Catalogo dei forti terremoti in Italia (461 a.C.-1997) e nell'area Mediterranea (760 a.C.-1500) (Guidoboni *et al.*, 2007), e il Catalogo parametrico dei terremoti italiani (Rovida *et al.*, 2016).

L'analisi dei terremoti storici in aree relativamente poco antropizzate, quali tipicamente le aree montuose, è comunque particolarmente difficoltosa. Le fonti storiche risultano infatti poco numerose, frammentarie e di non facile utilizzo. Per questo è necessario sviluppare studi dettagliati, finalizzati alla revisione sia dei cataloghi a scala regionale (es. Albini *et al.*, 1996; Stucchi *et al.*, 2008) sia dei singoli eventi sismici (es. Guidoboni *et al.*, 2005; Hammerl, 2015 e 2017).

Per cercare di ampliare l'orizzonte temporale entro cui disporre di informazioni sui

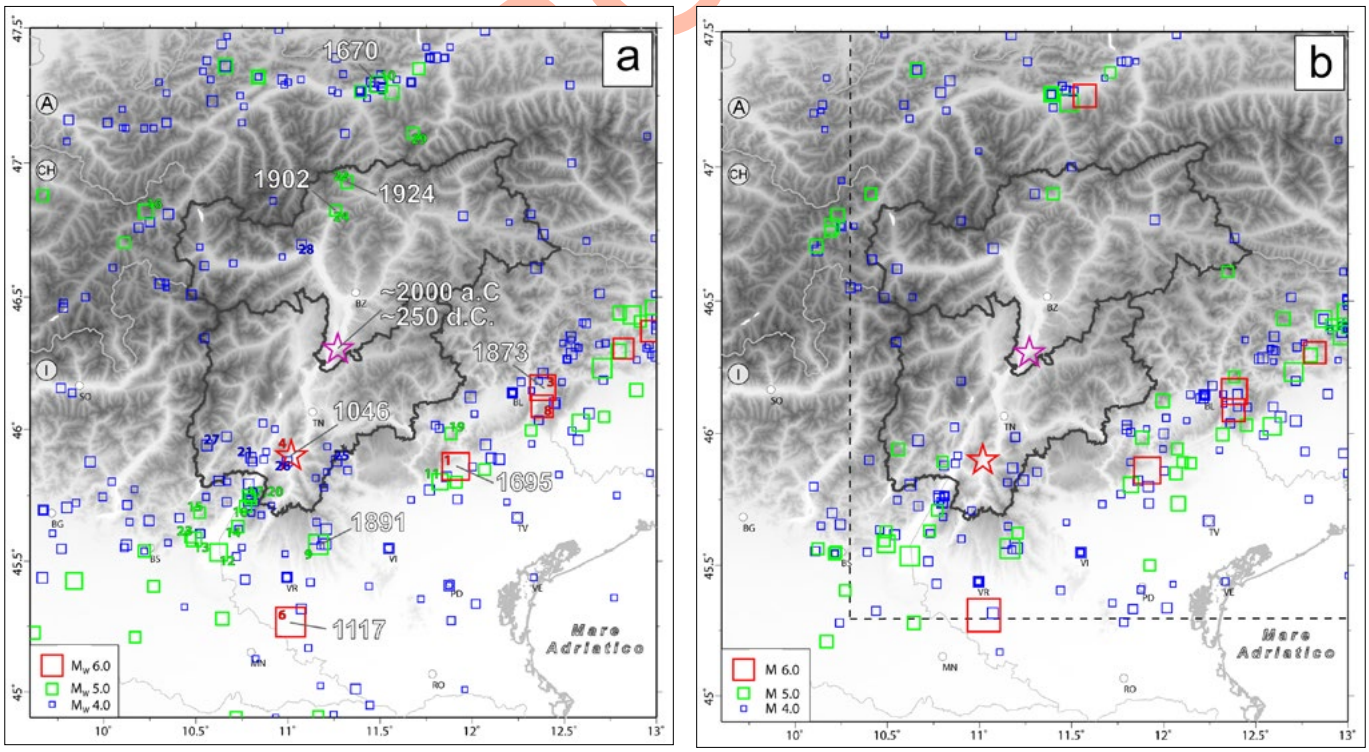


Figura 3 – a) Distribuzione degli epicentri dei terremoti storici in Trentino-Alto Adige, nel periodo temporale 1000-2014, per magnitudo momento (M_W) maggiore o superiore a 4,0 (i numeri in colore che indicano gli eventi corrispondono agli ID in Tabella 1). Dati dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15; Rovida et al., *2016) e da Guidoboni and Comastri (2005; evento del 9 novembre 1046, stella in colore rosso). La stella in colore fucsia indica la posizione del sito di Egna, per cui sono riportate le due età approssimative delle deformazioni cosismiche discusse nel testo (circa 2000 a.C. e 250 d.C.). b) Distribuzione degli epicentri dei terremoti storici in Trentino-Alto Adige, nel periodo temporale 1000-2013, per magnitudo (M, non specificata) maggiore o superiore a 4,0. Dati relativi al progetto HAREIA (Rebez* et al., *2010). Le linee tratteggiate limitano l'area dove il catalogo sismico è completo. Stelle in colore rosso e fucsia come in "a". In grassetto i limiti amministrativi del Trentino e dell'Alto Adige*

terremoti del passato è utile affidarsi alle osservazioni geologiche in merito agli indizi di cosiddetta neotettonica, ossia la branca della geologia che studia i processi deformativi che interessano la superficie terrestre a seguito di attività tettonica. Nel caso di forti terremoti si verificano infatti elevati livelli di scuotimento alla superficie, talvolta accompagnati anche da vere e proprie deformazioni permanenti dei terreni. In *Fig.* 2 (pannello di destra) è schematizzato l'effetto in superficie di un terremoto con intensità elevata, in grado cioè di provocare effetti disastrosi alla superficie (es. caduta di frane, dislocazione/fagliazione del terreno).

In merito alla fagliazione superficiale, è bene specificare che una faglia è definita "attiva e capace" se si è attivata almeno una volta negli ultimi 40.000 anni e raggiunge la superficie topografica producendo una frattura/dislocazione del terreno (Commissione tecnica per la microzonazione sismica, 2015). Questa definizione si riferisce al piano di rottura principale della faglia, ovvero quel piano lungo cui avviene la maggiore dislocazione.

Anche se in aree montuose è spesso difficile distinguere in maniera inequivocabile gli effetti deformativi della gravita (deformazioni gravitative) da quelle meramente neotettoniche, in Trentino-Alto Adige sono stati condotti alcuni studi di questo tipo, che hanno mostrato la presenza di probabile fagliazione superficiale nei settori delle Giudicarie meridionali, del Lago di Garda e dei Monti Lessini (Galadini *et al.*, 2001; Sauro and Zampieri, 2001; Scardia *et al.*, 2015).

La *Fig.* 3a mostra la distribuzione degli epicentri relativi ai terremoti avvenuti tra il 1000 ed il 2014, così come riportati nel Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15; Rovida *et al.*, 2016). I terremoti più forti (quadrati in colore rosso) si concentrano nel settore frontale della catena alpina, dove la deformazione è attualmente maggiore, e nella pianura padano-veneta (avanfossa alpina). Anche la sismicità storica è quindi localizzata in corrispondenza delle strutture tettoniche regionali attualmente attive, in accordo al modello sismotettonico regionale (Viganò *et al.*, 2015).

Il terremoto del 9 novembre 1046 (stella rossa in *Fig.* 3a) rappresenta uno degli eventi sismici più significativi dell'intera catena alpina (intensità IX MCS, Mercalli-Cancani-Sieberg; Guidoboni and Comastri, 2005; Guidoboni *et al.*, 2007) insieme al più famoso e studiato terremoto del 3 gennaio 1117 nel Veronese (intensità IX MCS; Guidoboni *et al.*, 2005; Rovida *et al.*, 2016). In *Tab.* 1 sono elencati gli eventi più importanti dell'area, per intensità epicentrale decrescente.

Per confronto, in *Fig.* 3b sono rappresentati gli epicentri dei terremoti storici selezionati dal progetto Interreg HAREIA (*Historical and Recent Investigation in Italy and Austria*) (cfr. Rebez *et al.*, 2010). Tra i prodotti del progetto, la realizzazione di un nuovo catalogo dei terremoti storici nell'arco alpino centro-orientale dall'anno 1000 al 2013. In esso sono confluite le informazioni dei cataloghi precedenti, anche recenti; particolare attenzione è stata riservata alla verifica delle fonti. Nel catalogo sono stati evidenziati gli eventi con eventuali segnalazioni multiple e sono stati selezionati quelli con caratteristiche maggiormente attendibili. In *Fig.* 3b sono riportati solo gli epicentri dei terremoti considerati attendibili.

Il Database Macrosismico Italiano (DBMI15; Locati *et al.*, 2016) riporta i massimi effetti da terremoto per le varie località italiane; in *Fig.* 4 le storie sismiche delle città di Trento e Bolzano, in termini di intensità macrosismica MCS. Quest'ultima è riferita per definizione alle "località", intese come "nuclei abitativi di una certa dimensione, indipendentemente dal ruolo amministrativo che rivestono o hanno rivestito nella storia" (Locati *et al.*, 2016). Le massime intensità risentite nei due capoluoghi di provincia si attestano attorno al grado VII/VIII MCS per il terremoto del 25 gennaio 1348 con epicentro nelle Alpi Giulie, noto anche come terremoto di Villach (cfr. *Tab.* 1). In tre occasioni sono state raggiunte a Trento intensità pari al grado VI MCS: (i) 12 dicembre 1719, terremoto delle Valli Giudicarie; (ii) 29 giugno 1873, terremoto dell'Alpago-Cansiglio; (iii) 1976, sequenza sismica del Friuli Venezia Giulia (cfr. *Tab.* 1). L'evento sismico del 1719, benché non particolarmente energetico (M_W = 4,2; Rovida *et al.*, 2016), fu risentito nel capoluogo trentino anche in ragione della sua relativa prossimità. Va infine evidenziato come il forte terremoto del 9 novembre 1046 (*Tab.* 1; cfr. paragrafo seguente) con epicentro in Trentino non è ri-

Tabella 1 – Elenco dei principali terremoti storici che hanno interessato il Trentino-Alto Adige, ordinati per intensità epicentrale MCS (Mercalli-Cancani-Sieberg) decrescente (cfr. Figura 3a). In grassetto gli eventi con epicentro all'interno dei confini del Trentino-Alto Adige, o immediatamente prossimi ad essi. I_0, intensità epicentrale; M_W, magnitudo momento; CPTI15, Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani versione 2015 (Rovida *et al.*, 2016); GC05, Guidoboni and Comastri (2005)

ID	Data (a. m. g.)	Area epicentrale	Latitudine (°N)	Longitudine (°E)	I_0 (MCS)	M_W	Fonte
1	1695 Feb 25	Asolano	45,861	11,910	X	6,4	CPTI15
2	1976 Mag 06	Friuli Venezia Giulia	46,241	13,119	IX-X	6,5	CPTI15
3	1873 Giu 29	Alpago-Cansiglio	46,159	12,383	IX-X	6,3	CPTI15
4	1046 Nov 09	**Media Val d'Adige**	45,900	11,017	IX	-	GC05
5	1348 Gen 25	Alpi Giulie	46,504	13,581	IX	6,6	CPTI15
6	1117 Gen 03	Veronese	45,267	11,015	IX	6,5	CPTI15
7	1511 Mar 26	Friuli Venezia Giulia	46,209	13,216	IX	6,3	CPTI15
8	1936 Ott 18	Alpago-Cansiglio	46,089	12,380	IX	6,1	CPTI15
9	1891 Giu 07	Valle d'Illasi	45,564	11,165	VIII-IX	5,9	CPTI15
10	1670 Lug 17	Tirolo, Hall	47,293	11,493	VIII	5,7	CPTI15
11	1836 Giu 12	Asolano	45,803	11,825	VIII	5,5	CPTI15
12	1222 Dic 25	Bresciano-Veronese	45,533	10,623	VII-VIII	5,7	CPTI15
13	1901 Ott 30	Garda occidentale	45,584	10,490	VII-VIII	5,4	CPTI15
14	1932 Feb 19	Garda orientale	45,632	10,729	VII-VIII	5,2	CPTI15
15	2004 Nov 24	Garda occidentale	45,685	10,521	VII-VIII	5,0	CPTI15
16	1622 Ago 03	Engadina, Ftan	46,820	10,230	VII	5,4	CPTI15
17	1876 Apr 29	**Monte Baldo**	45,749	10,785	VII	5,1	CPTI15
18	1882 Set 18	**Monte Baldo**	45,710	10,770	VII	5,1	CPTI15
19	1943 Lug 24	Feltrino	45,986	11,883	VII	5,1	CPTI15
20	1866 Ago 11	**Monte Baldo**	45,737	10,797	VII	5,0	CPTI15
21	1976 Dic 13	**Garda settentrionale**	45,894	10,799	VII	4,9	CPTI15
22	1924 Mar 26	**Tirolo**	46,930	11,320	-	5,2	CPTI15
23	1892 Gen 05	Garda occidentale	45,592	10,471	VI-VII	5,0	CPTI15
24	1902 Giu 19	**Alpi Retiche**	46,823	11,257	VI-VII	5,0	CPTI15
25	1989 Set 13	**Prealpi Vicentine**	45,882	11,264	VI-VII	4,9	CPTI15
26	1968 Giu 22	**Vallagarina**	45,879	10,996	VI-VII	4,7	CPTI15
27	1851 Ago 03	**Valli Giudicarie**	45,941	10,559	VI	4,9	CPTI15
28	2001 Lug 17	**Val Venosta**	46,697	11,074	V-VI	4,8	CPTI15
29	1913 Ago 24	Tirolo, Tux	47,110	11,680	V	5,0	CPTI15

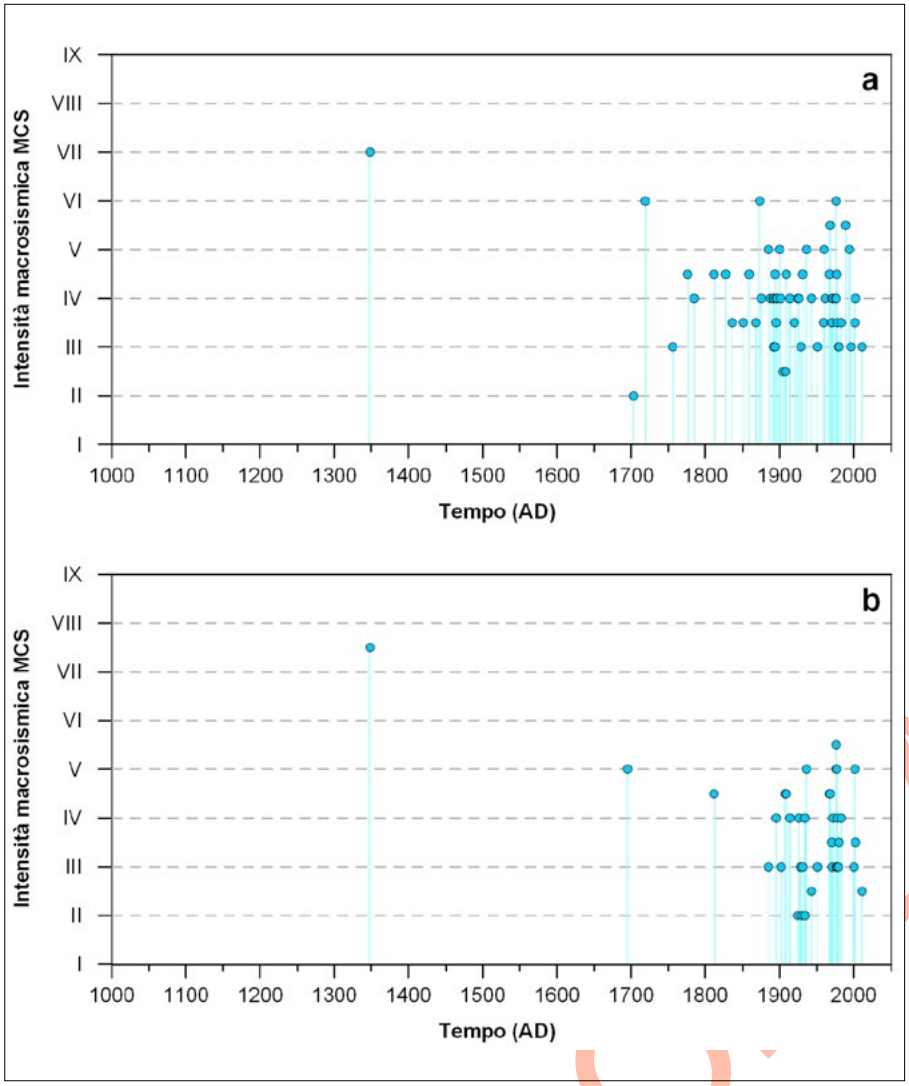


Figura 4 – Storie sismiche delle località di Trento (a) e Bolzano (b) nel periodo temporale 1000-2014. Dati dal Database Macrosismico Italiano (DBMI15; Locati et al.*, 2016)*

portato in *Fig.* 4 in quanto non contenuto, in termini di effetti macrosismici, nel database DBMI15.

INNESCO SISMICO DI GRANDI FRANE IN TRENTINO

I nuclidi cosmogenici, ovvero i nuclidi creati dall'interazione della materia terrestre con i raggi cosmici che arrivano dallo spazio (raggi cosmici primari) o che sono creati in atmosfera dall'interazione tra questi ultimi ed i gas atmosferici (raggi cosmici secondari), possono essere utilizzati per datare eventi e processi geologici di varia natura (es. frane, evoluzione glaciale, sedimentazione ed erosione, attività tettonica recente lungo le faglie, …). L'analisi dei nuclidi cosmogenici prevede infatti la misura di rari isotopi che si vengono a formare all'interno dei minerali delle rocce quando esse sono sottoposte al bombardamento da parte dei raggi cosmici. Quando le rocce non sono esposte alla superficie terrestre, tali isotopi non vengono prodotti; al contrario, se le rocce si trovano entro qualche metro dalla superficie o a diretto contatto con l'atmosfera esse si arricchiscono di questi isotopi. Tali isotopi sono differenti in funzione dei minerali che compongono le rocce; i più importanti radionuclidi sono ^{10}Be, ^{14}C, ^{26}Al e ^{36}Cl. Conoscendo il tasso di produzione di tali isotopi cosmogenici ed analizzandone la quantità all'interno delle rocce attraverso delicate e complesse procedure analitiche, è possibile calcolare la loro età di esposizione (da quanto tempo cioè sono esposte in superficie), e quindi l'età dell'evento geologico che le ha portate a contatto con l'atmosfera.

Ad esempio, nel caso di una frana, sono analizzati campioni di rocce coinvolte nell'evento gravitativo e che prima del suo verificarsi si trovavano troppo in profondità per interagire con i raggi cosmici presenti nell'atmosfera. Il verificarsi della frana coincide con il momento in cui tali rocce sono state esposte in superficie, momento a partire dal quale hanno iniziato ad arricchirsi degli isotopi cosmogenici. Datando tali rocce con questo metodo è quindi possibile stimare il momento in cui la frana è avvenuta, ossia conoscere la sua età.

La metodologia degli isotopi cosmogenici è stata applicata per lo studio di particolari frane in roccia, dette rock-avalanches, che caratterizzano il territorio trentino. Le rock-avalanches sono movimenti di massa molto rapidi, turbolenti e simili a flussi, caratterizzati da lunghi percorsi e derivanti da importanti frane di scivolamento o crollo in materiali rocciosi. In Trentino sono state sinora studiate e quindi datate le rock-avalanches dei Lavini di Marco, delle Marocche di Dro e di Castelpietra (Martin *et al.*, 2014; Ivy-Ochs *et al.*, 2017a e b). Queste grandi frane, ed in particolare quelle delle Marocche di Dro, sono tra le più spettacolari e famose delle Alpi intere. I volumi di questi depositi di frana sono stimati in circa 200 milioni (Lavini di Marco, LdM), 1 miliardo (evento Marocca Principale delle Marocche di Dro), 300 milioni (evento Kas delle Marocche di Dro) e meno di 20 milioni di metri cubi (Castelpietra, CP) (*Fig.* 5).

L'età di questi grandi eventi franosi è stata determinata a partire da un numero significativo di singole misure per ogni sito, effettuate su blocchi rocciosi di grandi dimensioni (tipicamente di diversi metri cubi di volume), sino ad ottenere delle età rappresentative dell'intero deposito (età di esposizione ^{36}Cl). La *Fig.* 6 mostra la distribuzione spaziale degli eventi datati, con la loro età nel grafico. Oltre alle rock-avalanches sopra descritte sono incluse anche le frane di Varini (Va), situata a meridione dei Lavini di Marco, e di Prà da Lago (PdL), frana minore in Val di Gresta per cui è disponibile un'età radiocarbonio (Ivy-Ochs *et al.*, 2017b e referenze incluse). Inoltre, l'evento della Cogola di Giazzera (CdG) riguarda la ripresa del concrezionamento all'interno della grotta (1060 ± 70 d.C.), già interpretata come dovuta ad un evento sismico importante (Frisia *et al.*, 2005).

La sorprendente coincidenza temporale di tutti questi eventi, che sono situati in un'area relativamente poco estesa entro un massimo di distanza pari a circa 20 km l'uno dall'altro, suggerisce fortemente un'origine sismica. Simili correlazioni, anche se per un territorio più vasto, sono state recentemente proposte da Prager *et al.* (2008) in relazione a grandi frane in roccia del Tirolo austriaco.

Due tra i terremoti storici più importanti che hanno interessato il Trentino meridionale e la zona del Veronese sono, rispettivamente, quello del 9 novembre 1046 e del 3 gennaio 1117 (*Fig.* 3, *Tab.* 1). Entrambi hanno raggiunto intensità IX MCS (Guidoboni *et al.*, 2005 e 2007; Rovida *et al.*, 2016). È importante ricordare come le coeve fonti storiche accreditate riportino la parziale distruzione di più di 30 castelli in Val d'Adige durante il terremoto del 1046, con epicentro in Vallagarina (Guidoboni and Comastri, 2005).

Anche considerando l'incertezza associata agli epicentri di questi due eventi sismici, quello del 1046 è decisamente più prossimo

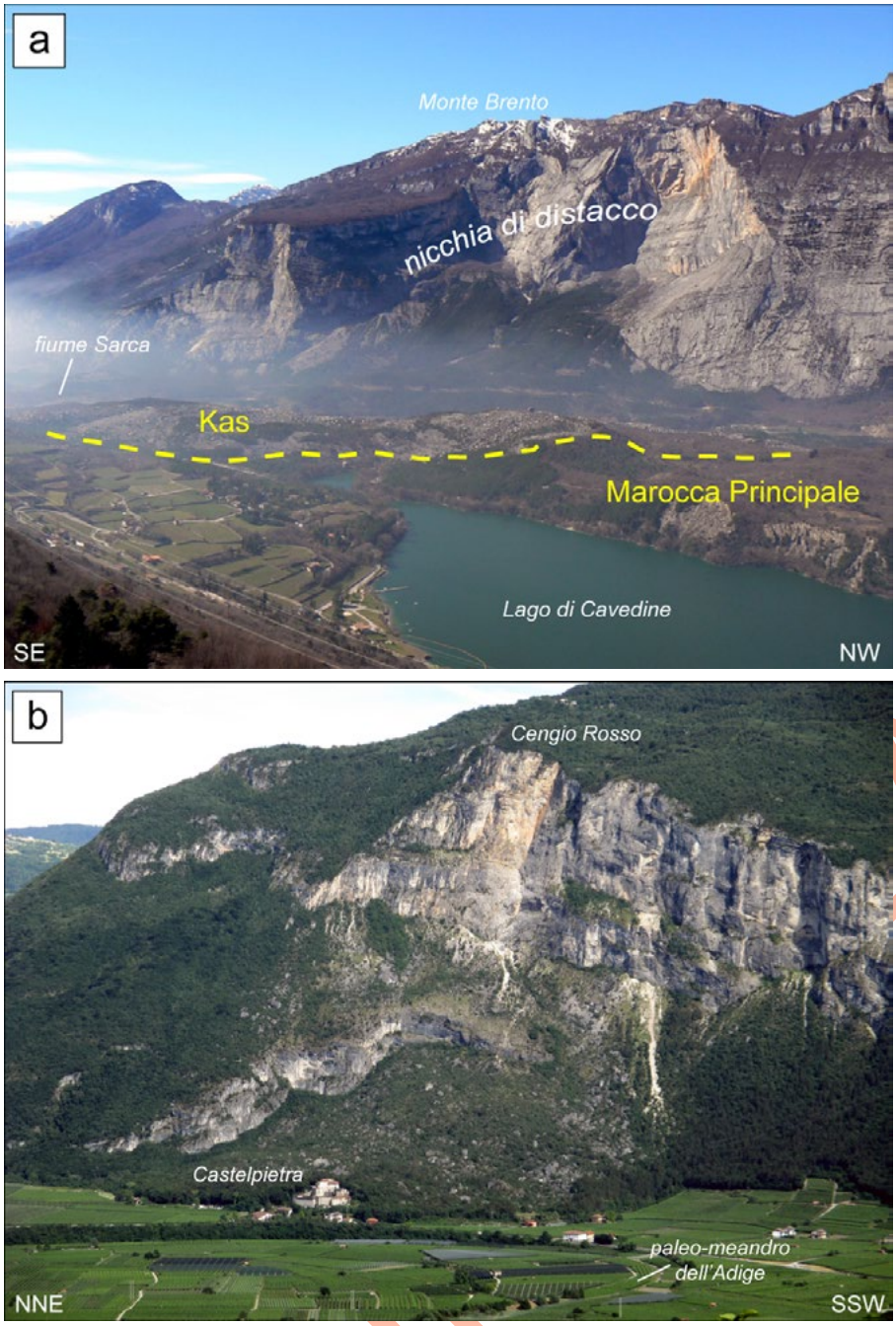


Figura 5 – Panoramiche delle grandi frane (rock-avalanches) delle Marocche di Dro in Val del Sarca (a) e di Castelpietra in Val d'Adige (b). In "a", la nicchia di distacco si riferisce in particolare all'evento Kas, i cui depositi sono distinti da quelli dell'evento Marocca Principale (linea gialla tratteggiata)

agli eventi datati di *Fig.* 6. Inoltre, stimando l'accelerazione al suolo corrispondente ad un'intensità epicentrale IX MCS, solo per l'evento del 1046 si ottengono valori di moto del suolo in Trentino meridionale in grado di superare una soglia di scuotimento capace di innescare frane delle dimensioni osservate; al contrario, le accelerazioni in Trentino meridionale relative al terremoto del 1117 sono decisamente inferiori alle precedenti (cfr. Ivy-Ochs *et al.*, 2017a).

È pertanto possibile suggerire una correlazione tra la crisi sismica associata al terremoto del 1046 e gli eventi di rock-avalanche, in particolare Castelpietra e Kas, oltre che con l'evento registrato alla Cogola di Giazzera e le frane di Varini e Prà da Lago. Il ripetuto e intenso moto del suolo correlato alla sequenza sismica associata al terremoto del 1046 avrebbe quindi portato ad uno scenario caratterizzato da un forte danneggiamento degli ammassi rocciosi lungo i versanti della Val d'Adige e della Val del Sarca (cfr. processo descritto in Gischig *et al.*, 2016), e dal conseguente innesco delle grandi rock-avalanches qui presentate.

ARCHEOLOGIA E PALEOSISMOLOGIA AD EGNA

Nel corso di più anni l'Ufficio Beni Archeologici della Provincia Autonoma di Bolzano ha svolto alcune campagne di scavo archeologico presso Egna, a seguito della scoperta di evidenze archeologiche di un certo rilievo nel corso dello sbancamento per la costruzione di una palazzina abitativa (di Stefano, 2002; cfr. *Fig.* 3). Infatti, la zona di Egna si era in passato segnalata per importanti rinvenimenti archeologici; si cita a tal proposito lo scavo di un tratto di strada romana, identificata con la via Claudia Augusta, al di sotto dell'odierna via Bolzano. Negli studi di topografia antica il paese di Egna viene identificato con la stazione stradale, in latino *mansio*, di *Endidae*,

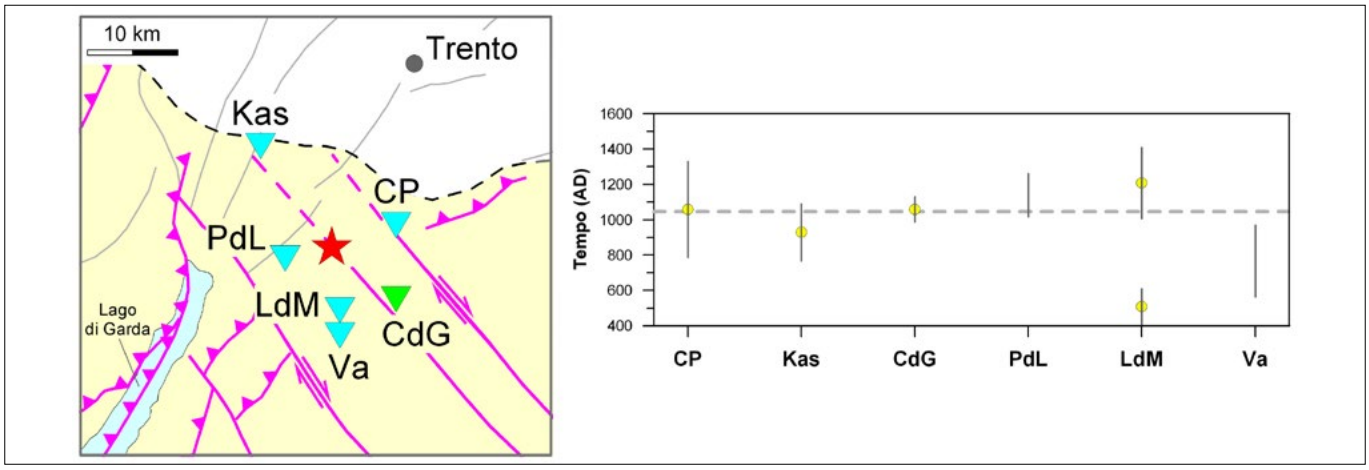


Figura 6 – Mappa con la localizzazione delle frane discusse nel testo (CP Castelpietra, Kas delle Marocche di Dro, PdL Prà da Lago, LdM Lavini di Marco, Va Varini) e della grotta della Cogola di Giazzera (CdG). L'epicentro del terremoto del 9 novembre 1046 è la stella in colore rosso (Guidoboni and Comastri, 2005) (modificato da Ivy-Ochs et al., *2017b). L'area in colore giallo chiaro indica la zona maggiormente attiva dal punto di vista sismico, a meridione della città di Trento, con le principali faglie oggi sismicamente attive in colore fucsia (Viganò* et al., *2015). Il grafico mostra le età ^{36}Cl e U/Th (CdG) per ciascun evento, con la relativa incertezza calcolata. Le barre senza simbolo in colore giallo sono età radiocarbonio (PdL e Va). La linea grigia in tratteggio indica il terremoto della "Media Val d'Adige" (1046). Per LdM, sono rappresentate solo le età più giovani (cfr. Martin* et al., *2014)*

toponimo noto dalle fonti stradali latine che la ponevano a 23 miglia (circa 35 chilometri) dalla città di *Tridentum*/Trento (Rosada, 2002).

La struttura rinvenuta era di forma rettangolare (25 m per 29 m) e la planimetria era composta essenzialmente da tre parti. Un portico che occupava tutta la parte antistante il complesso, sorretto da cinque pilastri rettangolari, un cortile centrale quadrato dotato, almeno in parte, di un pavimento lastricato (*Fig.* 7a). Il corpo di fabbrica era a forma di ferro di cavallo ed era contraddistinto da due edifici più grandi, collegati da una struttura di forma allungata e più stretta. I due corpi di fabbrica principali erano dotati di un piano rialzato, a cui si accedeva tramite una scala esterna. Al piano terra erano ricavati almeno sette ambienti collegati fra loro da aperture dotate di soglie costituite da tavole di legno. Lo scavo ha messo in luce il livello delle fondazioni, che appaiono massicce e composte da malta tenace di ottima fattura. Sono fondazioni a sacco, in cavo libero all'interno di una trincea di fondazione, avente una profondità di 1,20 m e una larghezza di 0,80 m.

Molto dibattuta, in passato, la funzione di questo edificio, che è stata identificata con una *mansio*, ovvero un edificio di servizio adibito all'assistenza dei viaggiatori che dovevano percorrere il tratto della via Claudia Augusta. Queste stazioni erano poste solitamente a una distanza di una giornata di cammino l'una dall'altra ed erano caratterizzate da elementi strutturali ricorrenti quali, ad esempio, un cortile centrale, attorno a cui si disponevano gli ambienti di servizio, quali i ricoveri per la notte o sale per rifocillarsi al caldo. Spesso, ed è il caso anche dell'edificio di Egna, i cortili interni ospitavano anche postazioni di lavoro per un fabbro, come testimonia il rinvenimento di numerose scorie di ferro. In qualche caso, ad esempio come presso la stazione stradale di San Lorenzo di Sebato in Val Pusteria, all'interno del complesso era presente anche una struttura termale. Le stazioni stradali appartenevano all'amministrazione centrale ed erano gestite direttamente dal personale proveniente dagli organici imperiali.

La datazione della struttura è fissata abbastanza sicuramente dai reperti recuperati dallo scavo archeologico. La costruzione risale alla prima metà del primo secolo d.C. ed è coerente con l'apertura della via Claudia Augusta a seguito della conquista dei territori alpini operata da Druso. La stazione stradale rimane sicuramente in uso almeno fino alla metà del terzo secolo d.C., come attestano i frammenti di stoviglie da mensa e contenitori da trasporto per merci come le anfore, presenti in gran numero nello scavo dell'edificio di Egna. La presenza di anfore, che trasportavano generi alimentari come vino, olio e salsa di pesce, da una parte attesta come doveva essere presente uno spazio adibito a taverna e dall'altra conferma l'esistenza di un intenso traffico di merci provenienti dal bacino del Mediterraneo lungo la via Claudia. Ulteriore conferma della datazione è la presenza del marchio di fabbrica "*Auresis*" sulle tegole del tetto rinvenute dal crollo della struttura, caratteristico di edifici datati al primo secolo d.C.

Al di là dell'interpretazione archeologica la peculiarità di questo edificio è costituita sicuramente dalla causa della sua distruzione. Essa infatti è stata determinata da un evento traumatico definitivo, che ne ha comportato l'abbandono e il suo mancato riutilizzo nelle epoche successive. Lo scavo infatti, una volta messa in luce l'intera planimetria della struttura, ha scoperto una serie di fratture molto nette che hanno interessato le fondazioni delle parti nord ed ovest del complesso edilizio (*Fig.* 7). Le massicce fondazioni sono sezionate in cinque porzioni e mostrano profonde crepe, la più interessante delle quali associata ad un netto gradino alto 60 cm ed uno spostamento laterale della muratura di circa 30 cm (*Fig.* 7b). Oltre alle lesioni sulle mura è notevole il gradino riscontrato nel piano d'uso del cortile, in cui la porzione a ovest è ribassata di circa 50 cm rispetto a quella est, palesando la presenza di una frattura con andamento grossomodo nord-sud (*Fig.* 7a).

Allo scopo di comprendere la causa di queste fratture e dislocazioni, di sicura origine naturale, il sito è stato oggetto di accurate indagini paleosismologiche (Galadini and Galli, 1999; Galli e Galadini, 1999; 2002). Tali

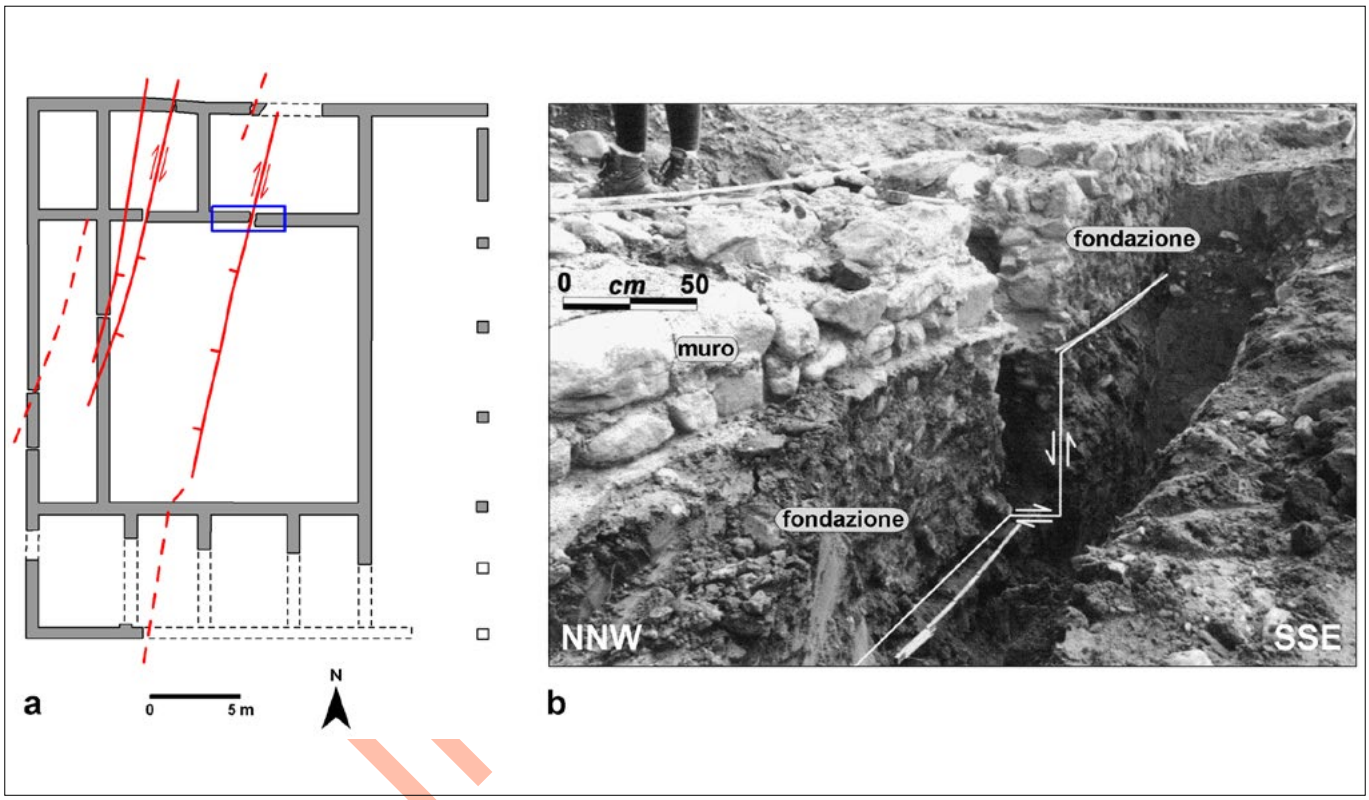


Figura 7 – a) Planimetria della casa romana ad Egna. b) Veduta della fondazione nord (posizione indicata dal riquadro blu sulla planimetria in "a") con l'evidente dislocazione cosismica discussa nel testo (modificata da Tectonophysics, 308, F. Galadini and P. Galli, Palaeoseismology related to the displaced Roman archaeological remains at Egna (Adige Valley, northern Italy)*, 171-191, Copyright (1999), su autorizzazione da Elsevier)*

ricerche hanno escluso che le deformazioni fossero riconducibili ad una frana, o più in generale processi di tipo gravitativo, a cedimenti differenziali o a sottoescavazione da parte del fiume Adige.

L'ipotesi più probabile per quanto riguarda la distruzione resta pertanto quella di un forte terremoto che avrebbe colpito l'area nel terzo secolo d.C. Le deformazioni osservate, così come la conseguente distruzione dell'edificio di epoca romana, sono quindi ragionevolmente da ricondurre ad un'origine sismica (Galadini and Galli, 1999). Si tratterebbe quindi di evidenze di probabile fagliazione recente alla superficie.

Dall'indagine paleosismologica, condotta attraverso l'esecuzione di diverse trincee e la datazione di alcuni livelli stratigrafici, è stato inoltre possibile riconoscere un più antico episodio di deformazione, ricostruendo così una cronologia degli eventi naturali e storici del sito di studio (*Fig.* 8). Alla situazione iniziale (A) è seguito un primo evento deformativo, di poco posteriore al 2581-2197 a.C. (B). A questo è seguita la deposizione di materiale detritico (*debris-flow* ed alluvioni) (B e C) e la costruzione della villa romana (C), a sua volta distrutta attorno alla metà del terzo secolo d.C. (D). Le dislocazioni superficiali sono state poi sigillate da sedimenti alluvionali, fino ai giorni nostri (E).

Va infine ricordato che un evento sismico distruttivo come quello del terzo secolo d.C. avrebbe dovuto lasciare tracce su altre strutture archeologiche d'epoca romana, per un raggio di qualche decina di chilometri. Tale periodo storico è però caratterizzato da grande instabilità politica e territoriale, legata alle estese scorrerie di bande barbariche lungo la valle dell'Adige, per una scia di abbandoni e distruzione delle strutture. Gli strati d'incendio spesso rilevati all'interno di strutture archeologiche crollate a causa di terremoti, e che sono presenti in maniera estesa anche ad Egna, possono essere spesso confusi con strati d'incendio causati da azioni antropiche. Ciò rende difficile la ricerca di prove archeologiche riconducibili a questo evento tellurico nella zona. Ad oggi, infatti, il sito archeologico di Egna è l'unico con chiare evidenze che inducono a ipotizzare che l'area della Bassa Atesina sia stata colpita da un forte terremoto nel corso del terzo secolo d.C.

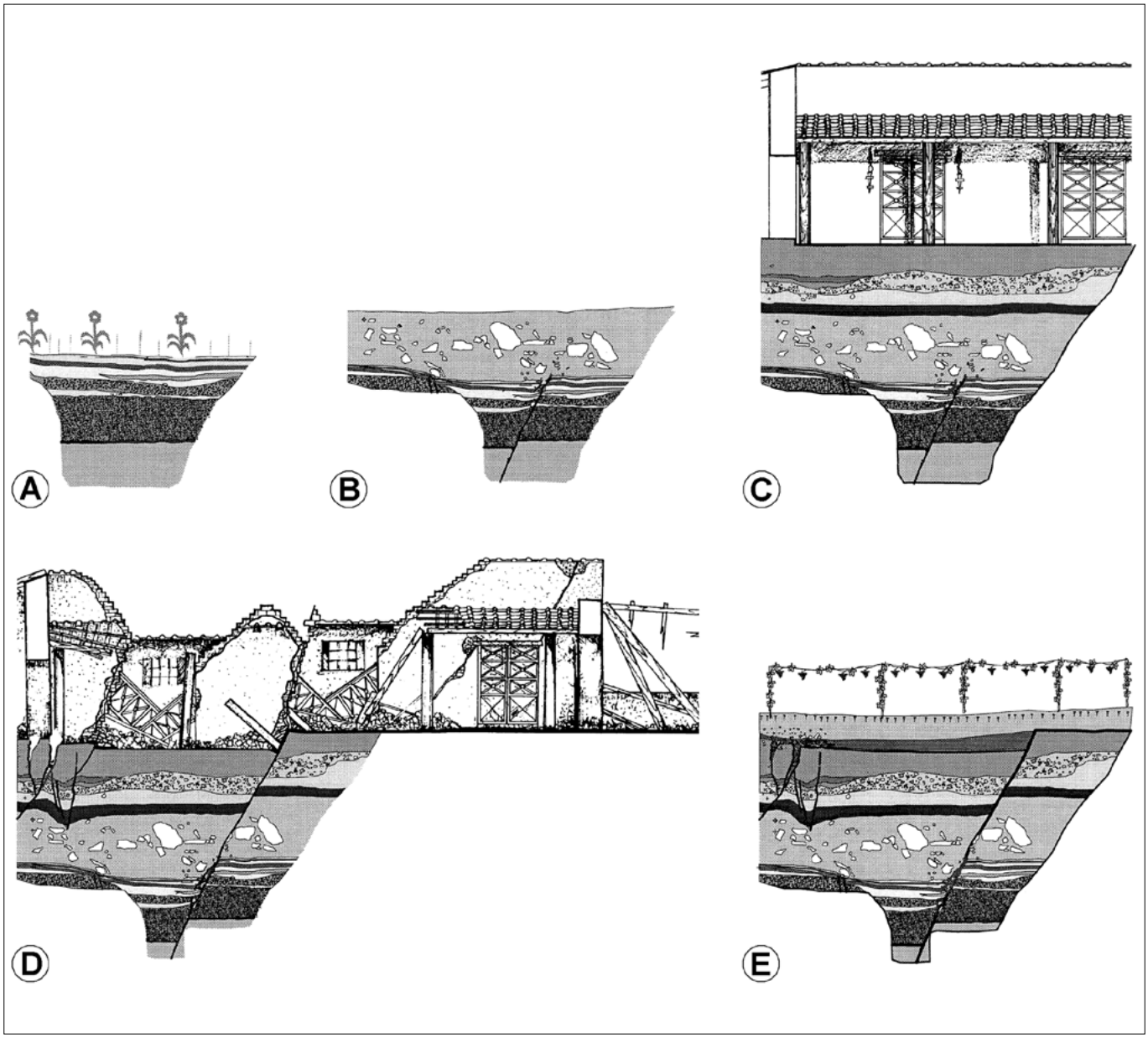


Figura 8 – Ricostruzione degli eventi naturali e storici (A-E, commento nel testo) riguardanti il sito archeologico di Egna (modificata da Tectonophysics, 308, F. Galadini and P. Galli, Palaeoseismology related to the displaced Roman archaeological remains at Egna (Adige Valley, northern Italy)*, 171-191, Copyright (1999), su autorizzazione da Elsevier)*

CONCLUSIONI

Le attuali conoscenze sulla sismicità del Trentino-Alto Adige descrivono livelli di pericolosità arealmente disomogenei, dove la sismicità strumentale recente è maggiormente concentrata in corrispondenza delle strutture tettoniche del settore meridionale. I risentimenti più significativi derivano non solo però dai terremoti posti all'interno dei confini regionali ma anche dagli epicentri sismici in prossimità di essi (Lago di Garda, pedemon-

tana veneta, Tirolo ed Engadina). Non mancano inoltre terremoti di moderata entità anche in zone fino ad oggi ritenute pressoché prive di sismicità. Parallelamente, lo studio sulla sismicità storica, grazie al quale siamo a conoscenza dei più forti eventi sismici dell'area, rimane in continua evoluzione in virtù delle analisi multidisciplinari che si rendono progressivamente disponibili.

Le analisi geologiche, archeologiche e paleosismologiche condotte nel corso degli ultimi anni in Trentino-Alto Adige, qui sinteticamente descritte, rappresentano una fonte di informazioni decisiva per una migliore definizione del potenziale sismico della regione. La contemporaneità di alcune delle più importanti rock-avalanches del Trentino, poste in un areale molto limitato, suggerisce fortemente la possibilità di un innesco di tipo sismico. In base ai più recenti cataloghi di sismicità storica, la crisi sismica associata al terremoto del 9 novembre 1046 della Media Val d'Adige è sicuramente la migliore candidata. Anche la Bassa Atesina in Alto Adige è stata interessata da eventi sismici in epoca storica, capaci di produrre fagliazione e dislocazione dei terreni, come testimonia lo studio archeologico e paleosismologico condotto presso il sito di Egna. Sono infatti qui registrati due eventi deformativi, il primo databile attorno all'anno 2000 a.C., ed un secondo responsabile della distruzione dell'abitazione romana attorno alla metà del terzo secolo d.C.

RINGRAZIAMENTI

Lo studio condotto sulle grandi frane in Trentino è stato finanziato dal Servizio Geologico della Provincia Autonoma di Trento e dall'Università degli Studi di Padova. A riguardo, si ringraziano in particolare Silvana Martin (Università di Padova), Susan Ivy-Ochs (ETH di Zurigo) e Paolo Campedel (Provincia Autonoma di Trento).

BIBLIOGRAFIA

Albini P., Bellettati D., Stucchi M., Zerga A. (1996) *Exploring the potential of seismological compilations: J. Schorn (1902) and the seismicity of Tyrol*, Annali di Geofisica 39 (5), 1055-1067.

Castellarin A., Vai G. B., Cantelli L. (2006) *The alpine evolution of the Southern Alps around the Giudicarie faults: a late cretaceous to early Eocene transfer* zone, Tectonophysics 414, 203-223.

Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (2015) *Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da Faglie Attive e Capaci (FAC), versione 1.0*, Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della protezione civile, Roma.

DISS Working Group (2015) Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), *Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italy.

Di Stefano S. (2002) *La struttura romana di Egna-Kahn. Scavo e studio di una stazione stradale lungo la via Claudia Augusta*, in *Archeologia Romana in Alto Adige. Studi e Contributi* (L. Dal Ri e S. di Stefano, eds.), Folio Editore, Bolzano, 158-259.

Frisia S., Borsato A., Richards D. A., Miorandi R., Davanzo S. (2005) *Variazioni climatiche ed eventi sismici negli ultimi 4500 anni nel Trentino meridionale da una stalagmite della Cogola Grande di Giazzera*, Studi Trentini di Scienze Naturali, Acta Geologica 82, 205-223.

Galadini F., Galli P. (1999) *Palaeoseismology related to the displaced Roman archaeological remains at Egna (Adige Valley, northern Italy)*, Tectonophysics 308, 171-191.

Galadini F., Galli P., Cittadini A., Giaccio B. (2001) *Late Quaternary fault movements in the Mt. Baldo-Lessini Mts. sector of the Southalpine area (northern Italy)*, Netherlands Journal of Geosciences 80, 187-208.

Galli P., Galadini F. (1999) *Archeosismologia: tracce di un antico terremoto distruttivo nella media Valle dell'Adige (Egna)*, Geologia dell'Ambiente 4, 2-9.

Galli P., Galadini F. (2002) *Analisi paleosismologiche nel sito di Egna: tracce di un antico terremoto distruttivo*, in *Archeologia Romana in Alto Adige. Studi e Contributi* (L. Dal Ri e S. di Stefano, eds.), Folio Editore, Bolzano, 300-317.

Gischig V., Preisig G., Eberhardt E. (2016), *Numerical investigation of seismically induced rock mass fatigue as a mechanism contributing to the progressive failure of deep-seated landslides*, Rock Mechanics and Rock Engineering 49, 2457-2478."

Gruppo di Lavoro MPS (2004) *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto conclusivo per il DPC*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milano-Roma, pp. 65 + 5 appendici.

Guidoboni E., Comastri A. (2005) *Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area from the 11th to the 15th Century*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Storia Geofisica Ambiente, Bologna, Italy.

Guidoboni E., Comastri A., Boschi E. (2005) *The "exceptional" earthquake of 3 January 1117 in the Verona area (Northern Italy): a critical time review and detection of two lost earthquakes (lower Germany and Tuscany)*, Journal of Geophysical Research 110, doi:10.1029/2005JB003683.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G. And Valensise G. (2007) *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Storia Geofisica Ambiente, Bologna, Italy.

Hammerl C. (2015) *The four strongest earthquakes in Tyrol/Austria during XVIth and XVIIth centuries: from archival sources to macroseismic intensities*, Acta Geodaetica et Geophysica 50, 39-62.

Hammerl C. (2017) *Historical earthquake research in Austria*, Geoscience Letters 4:7.

Ivy-Ochs S., Martin S., Campedel P., Hippe K., Alfimov V., Vockenhuber C., Andreotti E., Carugati G., Pasqual D., Rigo M., Viganò A. (2017a) *Geomorphology and age of the Marocche di Dro rock avalanches (Trentino, Italy)*, Quaternary Science Reviews 169, 188-205.

Ivy-Ochs S., Martin S., Campedel P., Hippe K., Vockenhuber C., Carugati G., Rigo M., Pasqual D., Viganò A. (2017b) *Geomorphology and Age of Large Rock Avalanches in Trentino (Italy): Castelpietra*, in *Advancing Culture of Living with Landslides* (M. Mikoš *et al.*, eds.), Springer International Publishing, 347-353.

Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C. H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016) *DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italy.

Martin S., Campedel P., Ivy-Ochs S., Viganò A., Alfimov V., Vockenhuber C., Andreotti E., Carugati G., Pasqual D., Rigo M. (2014) *Lavini di Marco (Trentino, Italy): ^{36}Cl exposure dating of a polyphase rock avalanche*, Quaternary Geochronolgy 19, 106-116.

Prager C., Zangerl C., Patzelt G., Brandner R. (2008) *Age distribution of fossil landslides in the Tyrol (Austria) and its surrounding areas*, Natural Hazards and Earth System Science 8, 377-407.

Rebez A., Renner G., Sandron D., Slejko D., Albini P., Camassi R., Caracciolo C., Castelli V. (2010) *HAREIA "Historical and Recent Investigation in Italy and Austria" - Prima fase - Progetto Interreg-IV*, Provincia Autonoma di Bolzano, Alto Adige.

Rosada G. (2002) *La viabilità tra decima regio, Raetia e Noricum come sistema territoriale*, in *Archeologia Romana in Alto Adige. Studi e Contributi* (L. Dal Ri e S. di Stefano, eds.), Folio Editore, Bolzano, 47-55.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2016) *CPTI15, the 2015 Version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italy.

Sauro U., Zampieri D. (2001) *Evidence of recent surface faulting and surface rupture in the Fore-Alps of Veneto and Trentino (NE Italy)*, Geomorphology 40, 169-184.

Scardia G., Festa A., Monegato G., Pini R., Rogledi S., Tremolada F., Galadini F. (2015) *Evidence for late Alpine tectonics in the Lake Garda area (northern Italy) and seismogenic implications*, Geological Society of America Bulletin 127, 113-130.

Stucchi M., Galadini F., Rovida A., Moroni A., Albini P., Mirto C., Migliavacca P. (2008) *Investigation of pre-1700 earthquakes between the Adda and the middle Adige river basins (Southern Alps)*, in *Historical Seismology* (J. Fréchet *et al.*, eds.), Springer Science, 93-129.

Viganò A., Bressan G., Martin S., Ranalli G. (2008) *Focal mechanism inversion in the Giudicarie–Lessini seismotectonic region (Southern Alps, Italy): Insights on tectonic stress and strain*, Tectonophysics 460, 106-115.

Viganò A., Scafidi D., Ranalli G., Martin S., Della Vedova B., Spallarossa D. (2015) *Earthquake relocations, crustal rheology, and active deformation in the central-eastern Alps (N Italy)*, Tectonophysics 661, 81-98.

in BOZZA

Il terremoto del 28 dicembre 1908: 110 anni di analisi sismologiche

The 28 December 1908 earthquake: 110 years of seismological analyses

Nicola Alessandro Pino
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Vesuviano
E-mail: alessandro.pino@ingv.it

Vincenzo Convertito
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Osservatorio Vesuviano
E-mail: vincenzo.convertito@ingv.it

Parole chiave (*key words*): Stretto di Messina (*Messina Straits*), Terremoto 1908 (*1908 earthquake*), Sorgente sismica (*Seismic source*)

Lo studio dei forti terremoti del passato è di importanza cruciale nella definizione della pericolosità del rischio sismico. Se i terremoti di magnitudo piccola e moderata costituiscono uno strumento fondamentale nel delineare le strutture tettoniche attive, l'individuazione delle faglie potenzialmente più pericolose e del massimo scuotimento atteso può essere ottenuta principalmente attraverso lo studio dei terremoti maggiori. Questi eventi però hanno periodi di ritorno più lunghi e il il progresso tecnologico ci permette di registrare quantitativamente gli effetti dei terremoti solo da poco più di un secolo. Per cui, per molte aree che sappiamo essere state colpite da forti terremoti, non esistono registrazioni strumentali che possano permettere la determinazione di un modello affidabile della sorgente. Rispetto a quanto sappiamo essere avvenuto in passato nel nostro territorio (Boschi *et al.*, 1995), gli eventi disastrosi che hanno colpito l'Italia dal 1900 a oggi sono relativamente pochi. È quindi necessario cercare di ottenere la maggiore informazione possibile su questi eventi utilizzando al meglio tutti i dati strumentali disponibili, anche per i terremoti avvenuti quando le conoscenza e la tecnologia non ne permettevano ancora l'analisi approfondita.

Il terremoto dello Stretto di Messina del 1908 avvenne alle 5:20 di lunedì 28 dicembre, pochi giorni dopo Natale. La scossa fu violentissima, avvertita chiaramente a centinaia di chilometri di distanza: da Ustica a Malta e fino alle coste orientali dell'Adriatico. In poche decine di secondi, le città di Messina e di Reggio Calabria e moltissimi centri delle due provincie furono quasi completamente distrutti e tutte le costruzioni distribuite su un'area di oltre 6000 km^2 subirono gravi danni. L'evento sismico fu seguito da numerosi incendi e da un maremoto, che causò onde alte fino a 12 metri sulle coste a sud di Messina e di Reggio Calabria, provocando ulteriore distruzione.

Una valutazione esatta del numero di vittime probabilmente non si avrà mai. Valutazioni recenti (Guidoboni *et al.*, 2007) fissano il numero a 80000, inclusi 2000 morti a causa del maremoto. Un numero enorme, se si considera che la popolazione di Messina e Reggio Calabria era rispettivamente di 140000 e 45000 abitanti. Il terremoto del 1908 rappresenta una delle più grandi catastrofi sismiche della storia dell'umanità, rientrando tra i 15 più disastrosi di sempre, in termini di vittime.

Diversi tecnici e accademici italiani e stranieri si recarono sui luoghi colpiti, raccogliendo dati e osservazioni utili allo studio di quel terremoto, tra i quali un gran numero di osservazioni macrosismiche, corredate da fotografie, descrizioni dettagliate e racconti di testimoni. Oltre alla distribuzione dei danni, gli effetti del terremoto furono rilevati da diversi strumenti di vario tipo. Infatti, gli anni a cavallo dei due secoli avevano visto un imponente sviluppo tecnologico, con la progettazione e la realizzazione di diversi strumenti di misura delle oscillazioni sismiche e nel 1908 questi sismografi erano già relativamente diffusi. Il terremoto fu registrato da numerose stazioni sismiche distribuite su tutto il pianeta, prevalentemente nell'emisfero settentrionale. Furono poi rilevate anche le variazioni di quota del suolo prodotte dal terremoto nell'area epicentrale.

Nonostante la grande quantità di dati disponibili, la capacità di comprensione delle modalità di accadimento di questo evento fu fortemente limitata dalle scarse conoscenze diffuse all'epoca sul meccanismo dei terremoti. L'acceso dibattito scientifico che si sviluppò immediatamente dopo il terremoto del 1908 non portò a conclusioni unanimemente condivise e tra le ipotesi più diffuse c'era quella di una violenta esplosione vulcanica sul fondo dello Stretto.

In realtà, la stessa sismologia era una scienza molto giovane: i modelli sulla costituzione dell'interno della Terra erano ancora piuttosto fantasiosi, il principio che faglie e terremoti potessero in qualche modo essere correlati aveva cominciato a essere comunemente accettato solo nella seconda metà dell'800 e il modello del "rimbalzo elastico" – che spiegava i terremoti come scorrimento relativo istantaneo di due blocchi di crosta che rilasciano la deformazione accumulata molto lentamente in precedenza – era in elaborazione proprio in quegli anni e sarebbe stato presentato solo successivamente, nel capitolo che Reid (1910) scrisse per la relazione della commissione Lawson sul terremoto di San Francisco del 1906.

Tuttavia, la grande quantità di osservazioni e di misure raccolte all'epoca rappresentano uno straordinario patrimonio: questi dati hanno costituito la base per numerosi studi che hanno potuto sfruttare il grande progresso teorico, sperimentale e tecnologico che la sismologia ha visto nel corso di oltre un secolo. Ancora oggi sono diverse le analisi di quei dati che vengono pubblicate, in cui si continua a dibattere su aspetti legati alle cause di quell'evento, testimoniando la grande importanza del terremoto dello Stretto di Messina del 1908. In questo lavoro descriviamo i principali risultati di questi 110 anni. Per una descrizione più dettagliata, si veda Pino *et al.* (2009)

GLI ANNI IMMEDIATAMENTE SUCCESSIVI AL TERREMOTO

I primi studi furono prevalentemente incentrati sull'analisi delle osservazioni macrosismiche. Mercalli, che una decina di anni prima aveva sviluppato una scala di intensità dei terremoti in dieci gradi (Mercalli, 1897), giunto nello Stretto fece una attenta valutazione dei danni in diverse località, dalle quali si rese conto che quanto aveva davanti superava i criteri di valutazione che aveva elaborato e si vide costretto a aggiungere un undicesimo grado (Mercalli, 1909). La sua stima del numero di vittime fu di circa 100.000, cosi come quella del sismologo giapponese Omori, che pure visitò le aree colpite, alcuni mesi dopo il terremoto. Entrambi questi scienziati rilevarono che le conseguenze della scossa furono fortemente amplificate dalle cattive condizioni delle costruzioni, sia per qualità costruttiva che per stato di conservazione degli edifici – molti dei quali erano stati anche sopraelevati – anche per gli standard dell'epoca, tanto che Omori (1909) scrisse esplicitamente che

INBOZZA

un evento di pari energia in Giappone avrebbe provocato solo 2 vittime per ogni mille di quelle causate dal terremoto dello Stretto.

Utilizzando un metodo ideato da Mallet (1862) che analizzava la direzione di caduta degli oggetti nell'area prossima alla sorgente, Omori cercò di determinare quella che chiamò l'area di "massimo movimento" del terremoto – una sorta di zona di massimo rilascio di energia del terremoto – localizzata approssimativamente nel centro dello Stretto, lungo la direzione Messina-Reggio Calabria. Allo stesso risultato arrivò il geografo Baratta (1910), che nel suo lavoro descrisse anche una seconda area di "rilascio" nell'area più settentrionale dello Stretto. Nonostante il calcolo dell'epicentro dei terremoti basato sui tempi di arrivo delle onde sismiche fosse già una pratica fosse già una pratica in uso in quegli anni, a causa delle incertezze nella velocità di propagazione delle onde sismiche nell'area e soprattutto delle difficoltà di sincronizzazione del tempo alle varie stazioni non fu tentata una localizzazione e le aree determinate da Omori e Baratta furono considerate sufficientemente affidabili come determinazione dell'area epicentrale.

Diversi altri studiosi pubblicarono studi macrosismici del terremoto del 1908, ma senza dubbio il lavoro di Baratta costituisce la più estesa raccolta di osservazioni di questo tipo e tutte le analisi successive basate sulla distribuzione del danno fondano sostanzialmente su questi dati.

Molti dei sismografi funzionanti all'epoca erano strumenti di grande precisione, come è il caso dei Wiechert (*Fig.* 1), le cui registrazioni possono essere considerate di qualità accettabile per alcuni studi sulla sorgente sismica, anche secondo standard moderni. Ma a parte il tentativo di Omori (1909) di ricavare informazioni sulla sorgente dall'analisi dei primi impulsi registrati alle stazioni più vicine all'area epicentrale, in base alla quale escluse la possibilità di una esplosione vulcanica sottomarina, tutti gli altri studi delle registrazioni sismografiche erano focalizzati su particolari caratteristiche delle oscillazioni e della propagazione delle onde.

Tra gli studi sismologici va ricordato il lavoro pubblicato da Rizzo (1910) che, sebbene non ne abbia poi fatto analisi sismologiche approfondite, raccolse dati sismologici da colleghi di tutto il mondo e pubblicò coordinate e tempi di arrivo delle diverse fasi sismiche a 110 stazioni; quindi, considerando che la stazione di Messina, la prima a registrare la scossa, fosse molto vicina all'epicentro, assunse il tempo di arrivo a questa stazione (04:20:27 UTC) come tempo origine del terremoto.

Oltre alle registrazioni sismografiche, furono effettuate misure geodetiche, con rilievi lungo due linee di livellazione, fortunatamente battute solo poco prima del terremoto, una

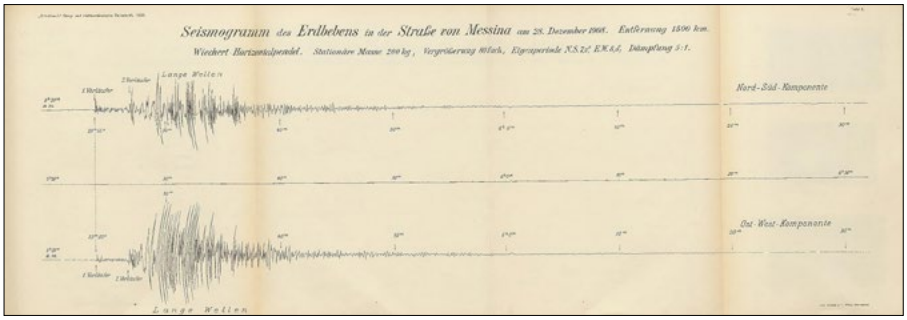


Figura 1. Sismogrammi del terremoto del 1908 registrati alla stazione sismica di Göttingen, Germania (Mintrop, 1909)

nell'area di Messina e l'altra lungo la costa calabra meridionale, da Gioia Tauro a Melito di Porto Salvo (Loperfido, 1909). Data la semplicità tecnologica della misura, la qualità delle rilevazioni può essere considerata comparabile all'attuale. I risultati delle misure evidenziano due picchi di subsidenza, di 54 cm e 70 cm rispettivamente, a Reggio Calabria e a Messina, ma questa osservazione non portò ad alcuna conclusione sulla natura dell'evento.

I NUOVI STUDI DEGLI ANNI '70-'80

Durante gli oltre 60 anni trascorsi da quell'evento catastrofico, la sismologia aveva visto uno grande sviluppo. Dal punto di vista teorico, il "rimbalzo elastico" era ormai comunemente accettato come modello concettuale per la sorgente sismica e negli anni '50 erano stati sviluppati modelli matematici della dislocazione in un mezzo continuo (es., Steketee, 1958). Anche in campo sperimentale la sismologia era diventata ormai una scienza matura. Richter (1935) aveva elaborato il concetto di magnitudo per definire una scala quantitativa, oggettiva, per i terremoti che era diventata ormai di uso comune e la struttura dell'interno della Terra non era più così misteriosa: Mohorovičić (1910), Gutenberg (1914), Jeffreys (1926) e Lehmann (1936) avevano pubblicato i loro lavori rispettivamente sulla discontinuità crosta-mantello, su quella mantello-nucleo, sulla natura fluida del nucleo esterno e sull'esistenza del nucleo interno rigido. Anche in campo tecnologico la sismologia era entrata in una nuova era, l'elettronica permetteva la realizzazione di nuovi strumenti di registrazione, molto più pratici e maneggevoli, e alla fine degli anni '60 ormai esistevano reti sismiche mondiali, sviluppate anche con l'inizio della guerra fredda, per il controllo di esperimenti su esplosioni atomiche. Queste reti consentivano la registrazione e l'analisi di una grande quantità di terremoti, di diverse magnitudo e a diverse distanze, contribuendo all'approfondimento delle conoscenze. Tuttavia, nonostante questi avanzamenti, alla fine degli anni '60 l'unica novità sul terremoto del 1908 era la determinazione della magnitudo 7½ che Gutenberg e Richter (1954) pubblicarono nel loro compendio sulla sismicità mondiale.

Poi, all'inizio degli anni '70, il governo italiano decise di rilanciare l'idea di un ponte che collegasse le due sponde dello Stretto di Messina, già discussa più volte anche a livelli ministeriali a partire dalla seconda metà dell'800, ma mai diventata operativa. Questo progetto riportò l'interesse sulla sismicità dell'area e soprattutto sul terremoto del 1908, essendo di primaria importanza la definizione del massimo terremoto possibile e dello scuotimento associato a esso. In quel momento, le conoscenze sulla sorgente del terremoto dello Stretto si limitavano alla distribuzione dei danni, a una localizzazione epicentrale molto approssimativa e a una stima della magnitudo. Iniziò quindi una fase di raccolta di tutti i dati disponibili, che vennero quindi riconsiderati alla luce degli sviluppi metodologici e tecnici di diversi decenni.

Questa nuova fase di analisi riguardò esclusivamente i dati strumentali, a eccezione del lavoro di Bottari *et al.* (1986), che per primi rianalizzarono i dati di danneggiamento secondo nuovi criteri di valutazione e, applicando un modello interpretativo delle isosisme, proposero una faglia orientata NE-SO e immergente 31° a NO (modello C in *Fig.* 2), con una superficie di circa 50x15 km^2 e una magnitudo associata M=7.3.

Utilizzando una delle varie scale che col tempo erano state introdotte (M_L, M_S, m_B), diversi studiosi valutarono la magnitudo dall'ampiezza delle onde sismiche per lo più registrate a una singola stazione, ottenendo valori compresi tra 6.8 e 7.5. Per quanto l'intervallo di variabilità di questi valori fosse ancora abbastanza grande, era chiaro che la conclusione di Mercalli (1909) e Omori (1909) sul ruolo della scarsa qualità delle costruzioni nella definizione dei danni veniva sostanzialmente confermata. Del resto, il terremoto di San Francisco, avvenuto a un orario simile ma colpendo un territorio molto più popolato, causò un numero di vittime enormemente inferiore (~3000).

Uno studio abbastanza completo fu svolto da Schick (1977), che analizzò tutti i dati sismici strumentali disponibili. Dai tempi dei primi arrivi a un paio di stazioni nell'area dello Stretto, Schick (1977) determinò un epicentro localizzato pochi chilometri più a sud delle aree di massimo rilascio indicate da Omori

BOZZA

(1909) e Baratta (1910) e, mettendo insieme queste osservazioni, concluse che la frattura doveva essersi propagata verso nord. Inoltre, utilizzando più stazioni di quelle considerate precedentemente da Riuscetti e Schick (1974), calcolò m_B e M_S, ottenendo valori per la maggior parte compresi tra 6.9 e 7.1. Riuscetti e Schick (1974) provarono anche a valutare il momento sismico M_0, seguendo la definizione introdotta da Aki (1966), ma i valori ottenuti apparivano troppo piccoli rispetto alla magnitudo stimata.

Lo sviluppo di modelli della radiazione sismica da una sorgente di dislocazione permetteva di ottenere anche informazioni sull'orientazione del piano di faglia e sul movimento relativo dei blocchi ai due lati di questo piano, dall'analisi della direzione del primo movimento del suolo osservato a vari siti di registrazione. Riuscetti e Schick (1974) fecero questa analisi utilizzando 11 stazioni e derivarono quindi il primo meccanismo focale per il terremoto del 1908. La loro soluzione indicava una faglia puramente normale, con un piano orientato a N15°E e immergente verso ESE a basso angolo (20°) e l'altro verso ONO a 70°.

Oltre all'analisi della radiazione sismica, la disponibilità di modelli teorici di dislocazione permetteva anche lo studio della deformazione statica associata ai terremoti e fu quindi possibile utilizzare i dati geodetici originali raccolti da Loperfido (1909) per ricavare informazioni sulle caratteristiche della sorgente del terremoto dello Stretto di Messina. Fu lo stesso Schick (1977) a intraprendere questa strada. Poiché l'uso di calcolatori per la soluzione di problemi inversi non era ancora molto diffusa all'epoca, Schick (1977) limitò la sua analisi a un confronto qualitativo tra dati osservati e predizioni per una generica faglia immergente a 45° verso ONO e il fatto che, a differenza di quanto risultava dal calcolo, le osservazioni mostrassero una subsidenza su entrambi i lati dello Stretto – con soltanto un lieve sollevamento nelle aree più esterne delle linee di livellazione – lo portò a concludere che la sorgente del terremoto dovesse essere costituita dalla sovrapposizione di una dislocazione su una faglia simile a quella provata (modello A in *Fig.* 2) e di una forza orientata verso il basso.

Diversamente da quanto fatto da Schick (1977), lo schema di analisi Mulargia e Boschi (1983) consisteva nella ricerca, attraverso una tecnica di tentativi e errori, della faglia la cui deformazione superficiale meglio riproducesse i dati. La difficoltà di utilizzare modelli complessi impose però l'assunzione di dislocazione uniforme e la modellazione dei dati divisi in tre sottoinsiemi distinti. Questo schema di analisi produsse un risultato caratterizzato da due faglie parallele, con direzione simile a quella di Riuscetti e Schick (1974), poste sui due lati dello Stretto (una a NO, l'altra a SE) e immergenti verso il centro dello Stretto (modello B in *Fig.* 2).

La rapida diffusione di calcolatori negli anni '80 diede quindi la possibilità di utilizzare modelli sempre più complessi nel calcolo della deformazione attesa per una faglia assegnata. Questo consentì a diversi ricercatori di sfruttare pienamente i dati geodetici raccolti nel 1908, analizzando quell'evento come se fosse un qualunque terremoto contemporaneo, data la qualità delle osservazioni. In particolare, Capuano *et al.* (1988), De Natale e Pingue (1991) e Boschi *et al.* (1989) analizzarono quei dati con tecniche diverse, nei primi due casi furono utilizzate anche le polarità dei primi arrivi delle onde sismiche a alcune stazioni. Questi tre studi conducono a una non trascurabile differenza nell'orientazione e nell'inclinazione della faglia – rispettivamente N355°E e 38.6° per Capuano *et al.* (1988), assunta anche da De Natale e Pingue (1991); N11°E e 29° per Boschi *et al.* 1989) (modelli D, F, E in *Fig.* 2) – e a risultati tra loro abbastanza compatibili sulla distribuzione di dislocazione e sul momento sismico, con valori che corrispondono a magnitudo M_W comprese tra 6.96 e 7.13.

Pur se con qualche incertezza che ancora permaneva, si aveva finalmente una conoscenza più robusta della effettiva energia rilasciata dal terremoto dello Stretto di Messina del 1908. Rimanevano ancora dubbi sulla posizione e sull'orientazione della faglia responsabile dell'evento. Tuttavia, per quanto diversi, tutti i modelli elaborati fino a questo punto per la sorgente convergevano nell'indicare un meccanismo causato da un movimento tettonico distensivo, orientativamente perpendicolare all'asse dello Stretto.

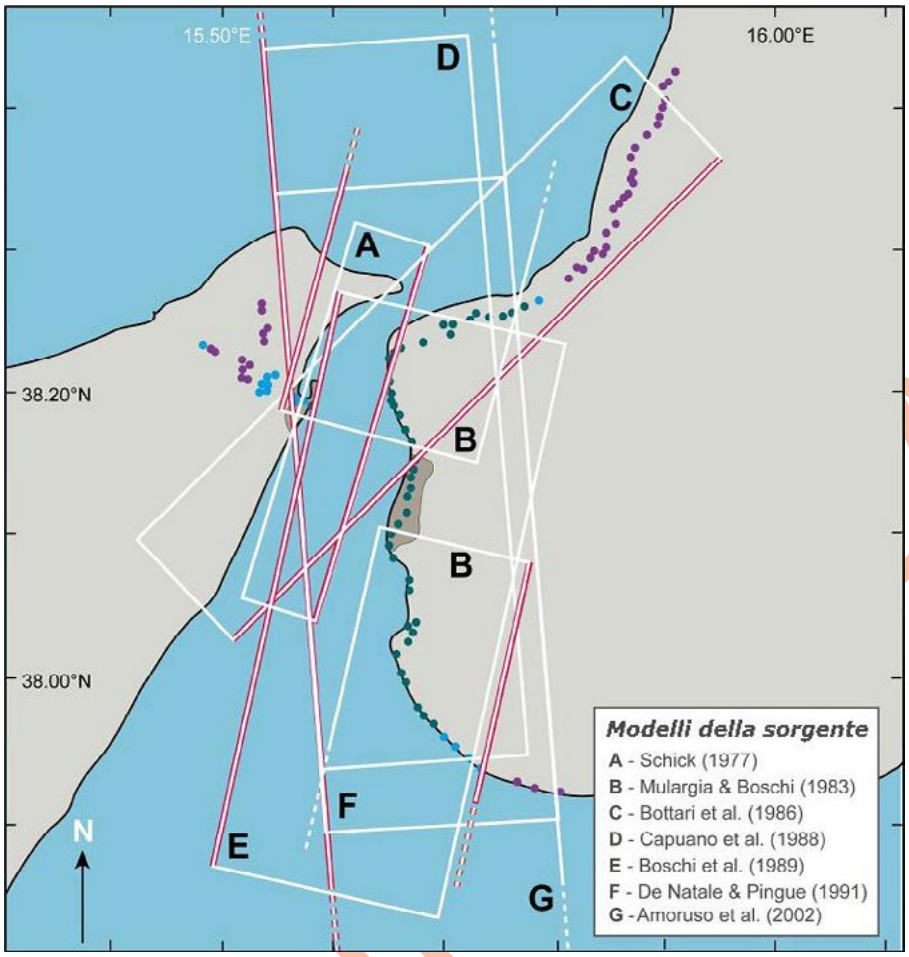


Figura 2. Proiezione in superficie di piani corrispondenti a diversi modelli della sorgente del terremoto del 28 dicembre 1908. La linea rossa indica l'intersezione del prolungamento del piano di faglia piano con la superficie (Modificata da Pino et al.*, 2009).*

GLI STUDI DEL NUOVO MILLENNIO

Il continuo progresso tecnologico, soprattutto nella capacità di calcolo e nella digitalizzazione e trattamento delle immagini, hanno ulteriormente accresciuto la possibilità di utilizzazione dei dati del terremoto del 1908. Sfruttando queste nuove possibilità, Pino *et al.* (2000) analizzarono tutti sismogrammi originali disponibili, convertendo le registrazioni in segnali digitali, che a questo punto – pur con le difficoltà e le limitazioni legate alle caratteristiche dei sismografi che li avevano acquisiti – potevano essere studiati utilizzando tecniche di investigazione ormai di routine in sismologia sperimentale. Analizzando le onde di volume (P e S) registrate a stazioni installate in Europa a distanza di diverse centinaia di chilometri, Pino *et al.* (2000) riuscirono a ricavare il rila-

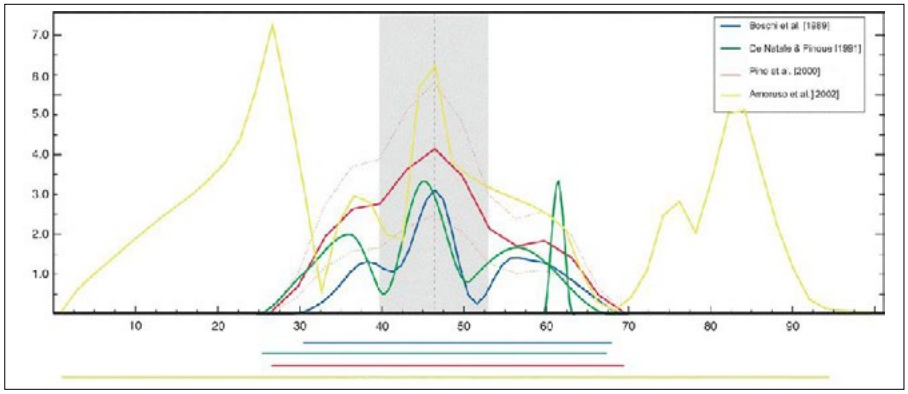


Figura 3. Distribuzione della dislocazione delle faglie risultanti da diversi studi. Le curve sono state ricavate selezionando la massima dislocazione per ogni sezione della faglia in direzione della lunghezza (Modificata da Pino et al.*, 2009)*

ben dettagliati di batimetria e topografia in grado di discriminare la natura della sorgente del maremoto direttamente dalle registrazioni mareografiche dell'epoca. Comunque, secondo Argnani *et al.* (2009) l'analisi di Billi *et al.* (2008) è carente per alcuni aspetti metodologici e soprattutto sui fondali dello Stretto manca qualsiasi evidenza di depositi di frana.

Tutti gli studi degli ultimi anni hanno sfruttato gli straordinari progressi nelle conoscenze teoriche e le grandi potenzialità fornite da nuovi strumenti di calcolo, utilizzando i dati strumentali originali. Dopo Bottari *et al.* (1986) nessuno ha però cercato di ricavare ulteriori informazioni

scio di energia sismica nel tempo dal terremoto del 1908 e stimarono un momento sismico corrispondente a una magnitudo M_W=7.1, che rappresenta la stima più robusta e più verosimile ottenuta dall'analisi di dati sismografici per questo evento e in buon accordo con le determinazioni ottenute in precedenza dai dati geodetici. Il confronto delle forme d'onda P e S permise anche di concludere che la frattura iniziò nella parte meridionale dello Stretto e si propagò quindi verso nord. Questo risultato prevedeva che il massimo scuotimento si sarebbe dovuto concentrare in quest'area, come effettivamente era accaduto. Inoltre, distribuendo il rilascio di energia lungo l'estensione della rottura, Pino *et al.* (2000) ottennero una distribuzione di dislocazione comparabile con quelle geodetiche (*Fig.* 3) e i cui massimi corrispondevano proprio con i "centri sismici" di Omori (1909) e Baratta (1910).

Questa distribuzione di dislocazione nell'area dello Stretto fu sostanzialmente confermata dallo studio di Amoruso *et al.* (2002), che analizzando i dati geodetici e le polarità dei primi arrivi delle onde sismiche ottennero un meccanismo molto simile a quello di Capuano *et al.* (1988). Sebbene il loro risultato prevedesse anche importanti rilasci di energia a nord, oltre l'imboccatura dello Stretto, e a sud, non compatibili con i sismogrammi effettivamente registrati.

La disponibilità di calcolatori più potenti ha permesso anche lo sviluppo di tecniche di analisi numeriche più sofisticate, che nel caso della localizzazione ipocentrale possono consentire di ottenere risultati affidabili anche in presenza di valori anomali di tempo di arrivo, come è il caso di quelli ottenuti dalla registrazione di terremoti storici, gravate dalla difficoltà di sincronizzazione tra diverse stazioni. Utilizzando un metodo probabilistico basato su una tecnica di inversione non lineare, Michelini *et al.* (2005) ottennero un ipocentro localizzato nella parte meridionale dello Stretto, confermando la "direttività" verso nord della rottura.

A esclusione dei risultati di Schick (1977) e di Mulargia e Boschi (1983), tutti i modelli di faglia ricavati dall'analisi dei dati geodetici

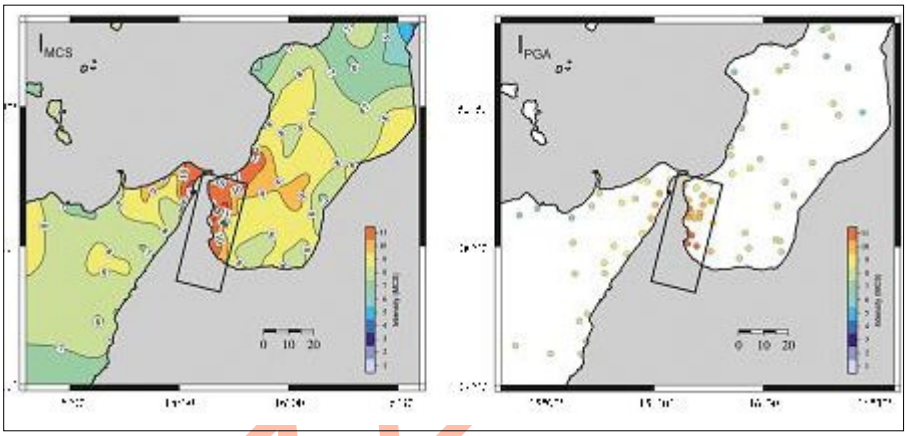


Figura 4. Intensità osservate (sinistra) e sintetiche ottenute dai valori di picco dell'accelerazione del moto del suolo (destra) da Convertito e Pino (2014)

concordano nell'indicare un piano immergente genericamente verso est. Questo risultato è stato recentemente messo in discussione da Aloisi *et al.* (2013) che, analizzando gli stessi dati e sulla base di osservazioni morfotettoniche suggeriscono una interpretazione alternativa indicando una faglia posta sul lato calabro dello Stretto e immergente 60° a ovest come responsabile del terremoto del 1908, simile alla faglia orientale del modello di Mulargia e Boschi (1988) ma prolungata verso nord). Questa conclusione è stata criticata da De Natale e Pino (2014), che hanno individuato alcuni difetti nella loro analisi, che inoltre conduce a risultati in disaccordo con quelli ottenuti dallo studio dei sismogrammi.

In questa rassegna non abbiamo trattato l'argomento delle analisi dei dati mareografici e di inondazione relativi al maremoto che seguì al terremoto del 1908. In questo ambito va però segnalato, tra i tanti, il lavoro di Billi *et al.* (2008), che come causa del maremoto avanzano la suggestiva ipotesi di una grande frana sottomarina, avvenuta nei pressi di Giardini. Questa ipotesi è stata messa in discussione da Gerardi *et al.* (2008), secondo cui le caratteristiche dell'inondazione lungo le coste siciliane e calabresi sono più concordi con un maremoto generato da una frattura sul fondo del mare piuttosto che da una frana.

Purtroppo, non sono state effettuale analisi dei dati del 1908 con modelli sufficientemente sulla sorgente del terremoto del 1908 dalle osservazioni macrosismiche. Cercando di colmare questa lacuna, Convertito e Pino (2014) hanno utilizzato i dati di danneggiamento per discriminare tra 3 modelli di faglia, rappresentativi delle 3 ipotesi principali discusse negli ultimi decenni: Boschi *et al.* (1989), De Natale e Pingue (1991) e Aloisi *et al.* (2013). Per ognuno di questi modelli e utilizzando distribuzioni di dislocazione non omogenea, Convertito e Pino (2014) hanno calcolato lo scuotimento del suolo a un gran numero si siti, sia in termini di velocità che in accelerazione, e trasformando i valori di picco in stime di intensità hanno poi confrontato i risultati con le osservazioni (*Fig.* 4). Secondo questi autori, la faglia ottenuta da Boschi *et al.* (1989) è quella che meglio riproduce i dati macrosismici e, in ogni caso, è necessario che la frattura si sia propagata verso nord perché si possa giustificare la distribuzione dei danni osservati.

CONCLUSIONI

Dopo una lunga serie di studi, si può oggi tracciare un quadro abbastanza completo sulla sorgente del terremoto del 1908, che rappresenta la soluzione maggiormente in accordo con le osservazioni. Questi risultati sono stati ottenuti con tante ricerche svolte nel corso di oltre 100 anni, che sono state condotte sfruttando di volta in volta il progresso delle conoscenze scientifiche e della

INGV

tecnologia, ma anche grazie a un patrimonio di dati strumentali e osservazionali raccolti da veri e propri pionieri della sismologia.

Alle 5:20 del 28 dicembre, dopo secoli durante i quali i movimenti tettonici avevano accumulato sforzo nello Stretto di Messina, la crosta cede in un punto localizzato a una profondità crostale intermedia, intorno a 10 km, nell'area più meridionale dello Stretto, rompendo una superficie lunga oltre 40 km orientata pochi gradi a est e immergente a basso angolo verso la stessa direzione. La dislocazione raggiunse un picco di circa 3-4 m, localizzato intorno alla metà della lunghezza della frattura. L'improvviso ribassamento di una vasta porzione del fondale dello Stretto generò un maremoto le cui onde, avvicinandosi alla costa, aumentarono di ampiezza raggiungendo e superando in qualche località i 10 m. La propagazione della frattura verso nord produsse uno scuotimento di ampiezza maggiore nelle aree più vicine all'imboccatura dello Stretto e, in Calabria, anche oltre.

La conoscenza delle modalità di accadimento di quello che, a oggi, è il più forte terremoto registrato strumentalmente nel nostro territorio e probabilmente anche di quelli avvenuti almeno negli ultimi 1000 anni non è solo un buon risultato di tanta ricerca, ma è un dato fondamentale per la definizione della pericolosità sismica in un'area caratterizzata da importanti movimenti tettonici e tra quelle a più elevata pericolosità sismica in Italia. Secondo Guidoboni *et al.* (2000), in base a evidenze storiche e archeologiche, un terremoto molto simile aveva già colpito l'area nella seconda metà del IV secolo e, visto che il movimento di allontanamento delle coste sui due lati dello Stretto continua alla velocità di circa 3 mm l'anno (Serpelloni, 2010), quasi certamente si ripeterà ancora.

BIBIOGRAFIA

Aki K. (1966), Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964: Part 2. Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G wave spectrum, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, University of Tokyo, 44, 73-88.

Aloisi M., Bruno V., Cannavo` F., Ferranti L., Mattia M., Monaco C., Palano, M. (2013), Are the source models of the M 7.1 1908 Messina Straits earthquake reliable? Insights from a novel inversion and a sensitivity analysis of levelling data, *Geophys. J. Int.*, 192, 1025-1041

Amoruso A., Crescentini L., Scarpa, R. (2002), Source parameters of the 1908 Messina Straits, Italy, earthquake from geodetic and seismic data, *J. Geophys. Res.*, 107, 2080.

Argnani A., Chiocci F.L. Tinti S., Bosman A., Lodi M.L., Pagnoni G., Zaniboni F. (2009), Comment on "On the cause of the 1908 Messina tsunami, southern Italy" by Andrea Billi *et al.*, *Geophys. Res. Lett.*,36, L13307.

Baratta M. (1910), *La catastrofe sismica calabro-messinese (28 dicembre 1908), Relazione alla Società Geografica Italiana*, Società Geografica Italiana, Roma.

Billi A., Funiciello R., Minelli L., Faccenna C., Neri G., Orecchio B., Presti D. (2008), On the cause of the 1908 tsunami, southern Italy, *Geophys. Res. Lett*, 35, L06301.

Boschi, E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G., Valensise G. (1995), *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*, ING-SGA, Bologna.

Bottari A., Carapezza E., Carapezza M., Carveni P., Cefali F., Lo Giudice E., Pandolfo C. (1986), The 1908 Messina Strait earthquake in the regional geostructural framework, *Journal of Geodynamics*, 5, 275-30.

Capuano, P., De Natale G., Gasparini P., Pingue F., Scarpa R. (1988), A model for the 1908 Messina Straits (Italy) earthquake by inversion of leveling data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 78, 1930-1947.

Convertito V., Pino N.A. (2014), Discriminating among distinct source models of the 1908 Messina Straits earthquake by modelling intensity data through full wavefield seismograms, *Geophys. J. Int.*, 198, 164-173.

De Natale, G., Pingue F. (1991), A variable slip fault model for the 1908 Messina Straits (Italy) earthquake, by inversion of leveling data, *Geophys, J. Int.*, 104, 73-84.

De Natale G., Pino N.A. (2014), Comment on 'Are the source models of the M 7.1 1908 Messina Straits earthquake reliable? Insights from a novel inversion and sensitivity analysis of levelling data' by M. Aloisi, V. Bruno, F. Cannavo`, L. Ferranti, M. Mattia, C. Monaco and M. Palano, *Geophys. J. Int.*, 197, 1399-1402.

Gerardi, F.M., Barbano S., De Martini P.M., Pantosti D. (2008), Discrimination of tsunami sources (earthquake vs. landslide) on the basis of historical data in eastern Sicily and southern Calabria, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 98(6), 2795-2805.

Guidoboni, E., Muggia A., Valensise G. (2000), Aims and methods in territorial archaeology: Possible clues to a strong IV century A.D. earthquake in the Straits of Messina (southern Italy), In: *The Archaeology of Geological Catastrophes*, ed. B. McGuire, D. Griffiths, I. Stewart, 40-70 Special publication, Geological Society, London.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007), CFTI4Med, *Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*, INGV-SGA, Bologna.

Gutenberg B. (1914), Ueber erdbebenwellen. VII A, Beobachtungen an registrierungen von fernbeben in Göttingen und folgerungen über die konstitution des erdkörpers, *Nachrichten von der Gesellscha der Wissenscha en zu Göttingen, Mathematisch-Physikalische Klasse*, 125-176

Gutenberg, B., Richter C.F. (1954), Seismicity of the Earth and associated phenomena, 2nd ed., Princeton University, Princeton, NJ.

Jeffreys H. (1926), The rigidity of the Earth's central core, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Geophysical Supplement*, 1, 371-383.

Lehmann I. (1936), P', *Publications du Bureau Central Séismologique International A 14*, 87-115.

Loperfido A. (1909), Livellazione geometrica di precisione eseguita dall'I.G.M. sulla costa orientale della Sicilia, da Messina a Catania, a Gesso ed a Faro Peloro e sulla costa occidentale della Calabria da Gioia Tauro a Melito di Porto Salvo, In *Relazione della Commissione Reale incaricata di designare le zone più adatte per la ricostruzione degli abitati colpiti dal terremoto del 28 dicembre 1908 o da altri precedenti*, 131-156, Accademia Nazionale dei Lincei, Roma.

Mallet R. (1862), The Great Neapolitan Earthquake of 1857. The First Principles of Observational Seismology, Chapman and Hill, London.

Mercalli G. (1897), *I terremoti della Liguria e del Piemonte*, Napoli.

Mercalli G. (1909), Contributo allo studio del terremoto calabro-messinese del 28 dicembre 1908, *Atti del Reale Istituto d'Incoraggiamento di Napoli*, serie 6, 7, 249-292.

Michelini, A., Lomax A., Nardi A., Rossi A., Palombo B., Bono A. (2005), A modern re-examination of the locations of the 1905 Calabria and the 1908 Messina Straits earthquakes. *Geophysical Research Abstracts* 7, EGU05-A-07909.

Mintrop L. (1909), Die Erdbebenstation der Westfälischen Berggewerkschaftskasse in Bochum, Glückauf Berg- und Hüttenmannische Zeit., 11, 357-366.

Mohorovičić A. (1910), Das beben vom 8.10.1909, *Jarbuch des Meteorologischen Observatorium in Zagreb (Agram), für das Jahr 1909*, 9(4) 3-63

Mulargia F., Boschi E. (1983), The 1908 Messina earthquake and related seismicity. In Earthquakes: Observation, Theory and Interpretation, ed. H. Kanamori and E. Boschi, 493-518, *Proceedings of the International School of Physics Enrico Fermi*, course 85, Elsevier, Amsterdam e New York.

Omori F. (1909), Preliminary report on the Messina-Reggio earthquake of Dec. 28, 1908, *Bulletin Imperial Earthquake Investigation Committee*, 3(2), 37-46.

Pino, N.A., Giardini D., Boschi E. (2000), The December 28, 1908, Messina Straits, southern Italy, earthquake: Waveform modeling of regional seismograms, *J. Geophys. Res.*, 105(B11), 25473-25492.

Pino N.A, Piatanesi A., Valensise G., Boschi E. (2009), The December 1908 Messina Straits earthquake (M_W 7.1): A great earthquake throughout a century of seismology, *Seimol. Res. Lett.*, 80(2), 243-259.

Reid H.F. (1910), The mechanics of the earthquake, Vol. 2 of *The California Earthquake of April 18, 1906: Report of the State Earthquake Investigation Commission*, Carnegie Institution of Washington Publication 87, 2, Washington, DC

Richter C.F. (1935), An instrumental earthquake magnitude scale, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 25, 1-32.

Riuscetti M., Schick R. (1974), Earthquakes and tectonics in southern Italy, *Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata*, 17(65), 59-78.

Rizzo G.B. (1910), Sulla propagazione dei movimenti prodotti dal ter- remoto di Messina del 28 dicembre 1908, *Memorie della Reale Accademia delle Scienze di Torino*, Serie 2 61, 355-417.

Schick R. (1977), Eine seismotektonische Bearbeitung des Erdbebens von Messina im Jahre 1908, *Geologisches Jahrbuch, Reihe E*, 11.

Serpelloni E., Bürgmann R., Anzidei M., Baldi P., Mastrolembo Ventura B., Boschi E. (2010), Strain accumulation across the Messina Straits and kinematic of Sicily and Calabria from GPS data and dislocation modeling, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 298, 347-360.

Steketee J.A. (1958), On Volterra dislocation in a semi-infinite elastic medium, *Can. J. Phys.*, 36(2), 192-205.

Sismicità della Calabria Centro-Meridionale: dalla storia alle osservazioni strumentali e di campagna

Seismicity of Central-southern Calabria: from historical chronicles to instrumental and field observations

Anna Gervasi
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia,INGV-CNT, Roma.
DiBEST, Università della Calabria, Arcavacata (CS)
E-mail: anna.gervasi@ingv.it

Vincenzo Tripodi
DiBEST, Università della Calabria, Arcavacata (CS)
E-mail: vincenzo.tripodi77@unical.it

Mario La Rocca
DiBEST, Università della Calabria, Arcavacata (CS)
E-mail: mario.larocca@unical.it

Francesco Muto
DiBEST, Università della Calabria, Arcavacata (CS)
E-mail: francesco.muto@unical.it

Ignazio Guerra
DiBEST, Università della Calabria, Arcavacata (CS)
E-mail: ignazio.guerra@unical.it

Parole chiave (*key words*): Sismicità regionale della Calabria (*Calabria regional seismicity*), Strutture sismogenetiche (*Seismogenetic structures*), Sismo tettonica (*Seismo tectonics*)

1. INTRODUZIONE

La Calabria, in particolare quella meridionale, insieme alla prospiciente Sicilia nord-orientale, viene comunemente riconosciuta come una delle aree del bacino del Mediterraneo a più elevato rischio sismico. A tanto contribuisce certamente il ricordo della grande catastrofe provocata dal terremoto con epicentro nello Stretto di Messina della mattina del 28 dicembre 1908, ma un'analisi appena un poco approfondita collega questo non invidiabile primato anche ad analoghi fenomeni meno recenti, e quindi meno noti, ma oggettivamente non meno impressionanti di quello appena citato. Basta ricordare a tale scopo le sequenze sismiche che interessarono la Sicilia orientale e la Calabria centro-meridionale a partire rispettivamente dal 9 gennaio 1693 e dal 5 febbraio 1783.

Le attuali conoscenze del contesto geodinamico e sismotettonico dell'area, che costituiscono la base culturale delle azioni idonee a valutare e ridurre il rischio sismico, sono tuttavia ancora ben lontane da un livello del tutto soddisfacente come quello che potrà consentire, in un futuro certamente remoto (ma auspicabilmente non troppo), di accennare a previsioni di tipo deterministico dell'evoluzione e delle caratteristiche dell'attività sismica, obiettivo finale di tutta la ricerca applicata sui terremoti. Come per tutte le discipline fisiche, anche per la scienze della Terra, sismologia compresa, lo stato di grazia viene raggiunto con la capacità di prevedere gli sviluppi futuri dei fenomeni di interesse.

In questa nota, dopo un cenno all'attività sismica riportata dalle cronache storiche, si illustrerà quanto si sta facendo per collegare le informazioni geofisiche e sismologiche di tipo strumentale alle corrispondenti indagini di tipo geologico, accomunate dall'obiettivo della ricostruzione dei quadri della geometria delle strutture geologiche e della geodinamica attualmente in atto. Su queste attività grava certamente l'incertezza del livello di corrispondenza tra le condizioni fisiche attuali, esistenti da ormai oltre un secolo e compatibili in Calabria solo con una sismicità di energia medio-bassa, e quelle che avevano consentito le grandi catastrofi del passato; dall'altra parte la spinta a procedere nella loro realizzazione deriva dalla consapevolezza che la ricerca scientifica è l'unica strada per arrivare all'ambizioso obiettivo esposto sopra.

2. LA SISMICITÀ STORICA DELLA CALABRIA MERIDIONALE

Le prime informazioni storiche sulla sismicità della Calabria, sia pure con le incertezze del caso, risalgono al primo secolo avanti Cristo. Infatti il geografo greco Strabone riferisce di un terremoto che nel 91 a.C. avrebbe provocato la distruzione di gran parte dell'insediamento di Reggio Calabria (Boschi *et al.*, 1995). Tuttavia è solo dal tardo Medioevo che si comincia a disporre di informazioni sufficientemente documentate e più attendibili, mentre si deve attendere il XVII secolo per avere descrizioni degli effetti dei terremoti che possano in qualche misura risultare utilizzabili per analisi sismotettoniche e studi sul rischio sismico. Il quadro complessivo che se ne ricava è quello di un territorio interessato da un'attività sismica molto disomogenea per quanto riguarda sia la sua distribuzione spazio-temporale sia le massime intensità manifestatesi, dando luogo ad effetti tra i più violenti registrati in tutta l'Europa. In particolare la regione viene ripartita dal parallelo di latitudine 38°54' N in due parti caratterizzate da una modalità diversa del rilascio di energia sismica: complessivamente più intenso e concentrato nel tempo nel settore sud, mediamente meno intenso e più progressivo a nord (Guerra, 1986).

Limitiamo per il momento la nostra analisi alla Calabria Centro-meridionale, ai secoli successivi al XVI e ad eventi sismici di intensità massima superiore al grado VIII della Scala MCS (nel seguito si farà sempre riferimento a questa scala macrosismica). L'elenco e la carta con la posizione degli epicentri che superano i filtri spazio-temporali e di intensità precisati con questi limiti sono riportati rispettivamente in *Tab.* 1 e *Fig.* 1.

Già l'estremo settentrionale delle Serre è stato interessato più volte da terremoti di elevata intensità. Il primo di cui si hanno notizie storiche soddisfacentemente dettagliate è quello del 4 aprile 1626, scossa principale di una sequenza cominciata a marzo e durata fino ad ottobre dello stesso anno; l'area interessata risulta non molto ampia ed il centro abitato di massimo danneggiamento risulta essere Girifalco, colpito con un'intensità massima del grado X.

Più estesa risultò l'area interessata dalla scossa verificatasi circa trent'anni dopo, il 5 novembre 1659, con l'epicentro macrosismico localizzato una ventina di km più a sud. Si ebbero circa 2000 vittime, di cui 500 nella sola frazione Panaja di Filogaso. Qui e a Castelmonardo (ricostruita dopo il 1783 con l'attuale nome di Filadelfia a pochi chilometri di distanza dalla sede originaria), Filogaso, Polia e S. Demetrio si verificarono effetti valutati nel X grado.

L'intensità del IX grado fu raggiunta nella stessa area nel 1791 da un terremoto che colpì con gli effetti più severi Spadola e Soriano. L'attribuzione dell'intensità a questa scossa appare piuttosto problematica in quanto con grande probabilità la zona non si era ancora ripresa dagli effetti della scossa più violenta che si ricordi nell'area, quella del 28 marzo 1783. Questa rappresenta l'ultimo grande terremoto della terribile sequenza che in tale anno interessò tutta la Calabria centro-meridionale e parte della Sicilia orientale, continuando con energie decrescenti per vari anni. Tale sequenza, che ebbe enormi conseguenze non solo sull'assetto sociale ed economico della Calabria, ma anche sulla cultura scientifica europea, iniziò nel primo pomeriggio del 5 feb-

BOZZA

braio con un terremoto localizzato approssimativamente nella parte centrale della Piana di Gioia Tauro, dove furono prodotti effetti dell'XI grado. La notte successiva ci fu una scossa nell'area dello Stretto di Messina di intensità massima circa del X grado, accompagnata da un maremoto che risultò fatale a migliaia di abitanti di Scilla. Il giorno 7 febbraio una nuova scossa, valutata di intensità tra il X e l'XI grado, con epicentro macrosismico sul bordo settentrionale della Piana di Gioia Tauro, completò in questa area la devastazione iniziata due giorni prima. La sequenza sismica continuò con una nuova scossa che si verificò il 1° marzo interessando con un'intensità tra il IX ed il X grado la parte settentrionale delle Serre, che fu di nuovo colpita il 28 marzo subendo effetti dell'XI grado. I cinque terremoti citati sono solo i più violenti della sequenza del 1783, che in realtà si protrasse per almeno tre anni e comprese una serie di repliche che generalmente non vengono ricordate, sia perché troppo numerose sia perché i loro effetti ben poco ebbero da aggiungere alle distruzioni provocate dalle scosse maggiori, anche se in altre condizioni molte di esse avrebbero comunque fatto notizia da sole.

Il versante nord-occidentale dell'Aspromonte fu colpito di nuovo da un terremoto distruttivo dopo poco più di un secolo, quando il 16 novembre 1894 una scossa del IX grado provocò effetti distruttivi a San Procopio e a Sant'Eufemia d'Aspromonte.

Sul versante ionico della Calabria Centro-meridionale sono da ricordare il terremoto del 23 ottobre 1907, che ebbe epicentro macrosismico a Ferruzzano con intensità del IX grado, e quello dell'11 maggio 1947 che produsse effetti dell'VIII grado a Isca sullo Ionio.

Il terremoto dell'8 settembre 1905 ebbe massima intensità nell'area del promontorio di Capo Vaticano e nella parte occidentale della Piana di Lametia (con intensità del X grado o superiore in una quindicina di centri abitati). Molto importanti furono i danni a Martirano, probabilmente grazie anche ad effetti di amplificazione locale delle onde sismiche. Questo terremoto riveste particolare importanza sia perché è l'unico di tale intensità registrato storicamente nell'area sia perché con i suoi effetti, propagatisi con bassa attenuazione fino a distanze elevate, specie verso nord, condiziona in misura rilevante le analisi di rischio sismico.

La storia sismica più significativa della Calabria si chiude con la grande catastrofe del 28 dicembre 1908, con epicentro nello Stretto di Messina, accompagnato da un maremoto che contribuì pesantemente al tragico bilancio dei danni e delle vittime (intensità massima stimata nel grado XI). Al numero di queste ultime sono stati attribuiti nel tempo valori variabili in un intervallo molto ampio, che vanno da circa 60000 fino a ben oltre 100000, di cui almeno 25000 in Calabria. Guidoboni e Mariotti (2008) riportano come stima più accreditata il numero di 80000 vittime umane.

Tabella 1

N	Anno	M	G	H	M	Area epicentrale	I max	Lat	Lon
1	1172	09	26	13	40	Messina	VIII	38.187	15.549
2	1509	02	25	22	20	Reggio Calabria	XI	38.099	15.684
3	1609	07	20			Nicastro	VIII	38.968	16.353
4	1626	04	04	12	45	Girifalco	X	38.851	16.456
5	1638	03	27	15	05	Valli del Savuto e del Crati	XI	39.048	16.289
6	1659	11	05	22	15	Serre settentrionali	X	38.694	16.249
7	1743	12	07	00	05	Serre settentrionali	VIII	38.694	16.371
8	1744	03	21	20		Sila / Crotonese	VIII	39.040	16.781
9	1783	02	05	12		Piana di Gioia Tauro	XI	38.297	15.97
10	1783	02	06	00	20	Stretto di Messina	IX-X	38.250	15.730
11	1783	02	07	13	10	Serre - Valle del Mesima	X-XI	38.580	16.201
12	1783	03	01	01	40	Serre nord-occidentali	IX-X	38.770	16.300
13	1783	03	28	18	55	Serre nord-orientali	XI	38.785	16.464
14	1791	10	13	01	20	Serre settentrionali	IX	38.636	16.268
15	1832	03	08	18	30	Crotonese (Cutro)	X	39.079	16.919
16	1894	11	16	17	52	Piana di Gioia meridionale	IX	38.288	15.87
17	1905	09	08	01	43	Golfo di S. Eufemia	X-XI	38.819	15.943
18	1907	10	23	20	28	Ferruzzano	IX	38.087	15.986
19	1908	12	28	04	20	Stretto di Messina	XI	38.146	15.687
20	1928	03	07	10	55	Capo Vaticano	VIII	38.544	16.037
21	1947	05	11	06	32	Golfo di Squillace	IX	38.652	16.518
22	1978	03	11	19	20	Ferruzzano	VIII	38.011	15.976

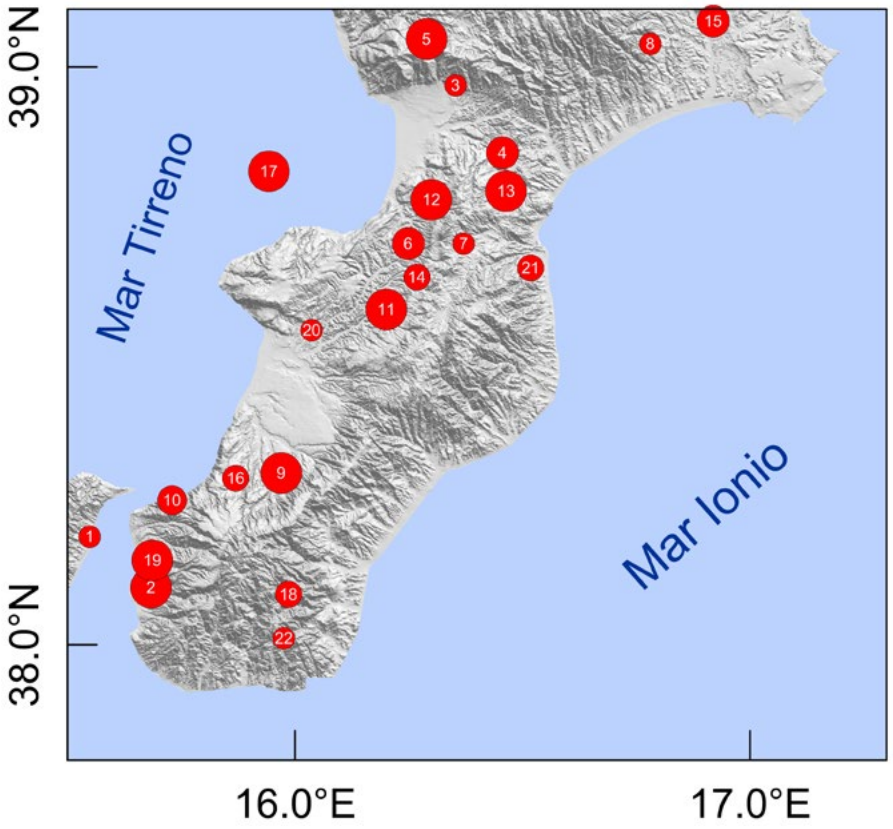


Figura 1 – Epicentri dei terremoti storici in ed in prossimità della Calabria centro-meridionale. Il raggio dei cerchi aumenta con l'intensità. I numeri al loro interno corrispondono a quelli della Tabella 1.

3. LA SISMICITÀ STRUMENTALE DELLA CALABRIA CENTRO-MERIDIONALE

3.1 Le reti sismiche e gli studi della sismicità strumentale.

É ben noto che l'energia liberata dai singoli terremoti si distribuisce su di un intervallo molto ampio e che per un insieme di terremoti scelti sulla base di criteri spazio-

temporali molto variabili, all'aumentare della magnitudo *m* la loro frequenza *n(m)* (misurata come numero di scosse con magnitudo compresa in un piccolo intervallo centrato su *m*) diminuisce esponenzialmente, seguendo la cosiddetta *legge di Gutenberg e Richter*. Questa può essere scritta nella forma

$$\log n(m) = a - b\,m$$

in cui *log()* sta ad indicare il logaritmo in base 10, *a* e *b* sono due costanti positive di cui la prima è il numero di terremoti con magnitudo $m > 0$ e *b*, il cui valore quasi sempre è molto vicino ad 1.0, determina la rapidità di decrescita di *n(m)*, indicando quindi di quanto le scosse di bassa energia prevalgono numericamente su quelle di alta energia. Malgrado la sua natura empirica, tale legge deve essere considerata universale in considerazione dell'estrema rarità dei casi in cui è stata dimostrata non valida; addirittura la sua mancanza di validità viene considerata un indice dell'incompletezza dell'elenco (comunemente detto *catalogo*) dei terremoti analizzati o dell'esistenza di qualche altro tipo di errore nei calcoli.

Dal punto di vista fisico, il valore del parametro *b* viene considerato come un indice della propensione di una formazione geologica a rilasciare l'energia elastica di deformazione in quantità più o meno grandi, determinata, come verificato anche mediante esperienze di laboratorio (Mogi, 1962; Scholz, 1968), dal grado di eterogenità dei corpi studiati e dalle dimensioni medie dei blocchi interessati da singoli fenomeni di fratturazione.

Un'importante conseguenza della validità della legge di Gutenberg e Richter è che i terremoti forti devono essere oggettivamente considerati degli *eventi rari*. Dopo i recenti eventi sismici dell'Italia Centrale che a distanza di anni ancora occupano giustamente le pagine dei giornali, questa affermazione può apparire sorprendente per cui è opportuno esporre qualche semplice considerazione quantitativa per giustificarla. Ricordato che oggi è tecnicamente possibile registrare terremoti tanto piccoli che la loro magnitudo è negativa, se si indica con *R* il rapporto tra i numeri delle scosse con magnitudo intorno rispettivamente a 1 e a 6, cioè ponendo $R = n(1) / n(6)$, e assumendo $b = 1$, risulta

$$\log R = \log n(1) - \log n(6) = a - b - a + 6\,b = 5\,b = 5$$

da cui segue che è $R = 10^5$: questo significa che per un terremoto con $m > 6$ (forte) si hanno statisticamente 100.000 terremoti con $m > 1$ e, con un calcolo analogo, 10.000 con $m > 2$, 1000 con $m > 3$, etc.

Da questo deriva il fatto molto importante anche dal punto di vista operativo che in periodi di normale attività sismica i sismologi dispongono con relativa abbondanza solo di dati forniti dalla sismicità di fondo, indicata col termine di *microsismicità*[1]. In effetti il progresso consentito dalla sempre più ampia diffusione di tecnologie informatiche, sia dal punto di vista teorico che da quello strumentale, ha avuto conseguenze inimmaginabili per ricercatori attivi fino a circa la metà del secolo scorso. Sismografi di moderna concezione consentono di ottenere registrazioni di eventi sismici di bassissima energia nella forma digitale che ne rende possibile riconoscimento ed elaborazioni automatiche da parte di sistemi "intelligenti" che possono funzionare con continuità anche in assenza di operatori (modalità *unattended*).

La possibilità di trasmissione a distanza dei dati numerici ha portato alla sostituzione delle ormai desuete stazioni sismiche installate ed assistite da operatori isolati a distanze anche di centinaia di km dai centri di elaborazione e ricerca scientifica, con reti sismografiche connesse con continuità, economia ed efficienza ad appositi laboratori attivati presso università ed enti di ricerca. Lo sviluppo dell'informatica diffusa ha reso possibile la creazione e la condivisione generalizzata di software per l'analisi dei segnali sismografici digitali. La disponibilità di grandi quantità di dati di elevata qualità ha permesso di introdurre complessi modelli cinematici e dinamici dei fenomeni alle sorgenti sismiche, che vengono ormai utilizzati quotidianamente negli osservatori sismologici e di creare e verificare modelli analitici dei volumi focali, utilizzando anche il supporto fornito dalle moderne tecnologie satellitari; tecniche di localizzazione congiunta degli epicentri e di determinazione delle distribuzione delle velocità delle onde sismiche forniscono ricostruzioni dettagliate delle strutture geologiche; e si potrebbe ancora continuare.

È da rilevare che la qualità dei risultati delle elaborazioni delle registrazioni sismografiche di una scossa aumenta con il numero delle stazioni che l'hanno rilevata, ma dipende comunque da numerosi altri fattori, tra i quali la geometria della loro distribuzione (primo fra tutti), le caratteristiche geologiche dei siti in cui sono installate, ecc.

Concludendo e sintetizzando, è oggi *in linea di principio* possibile mediante il monitoraggio della microsismicità eseguito con una efficiente rete sismica definire un soddi-

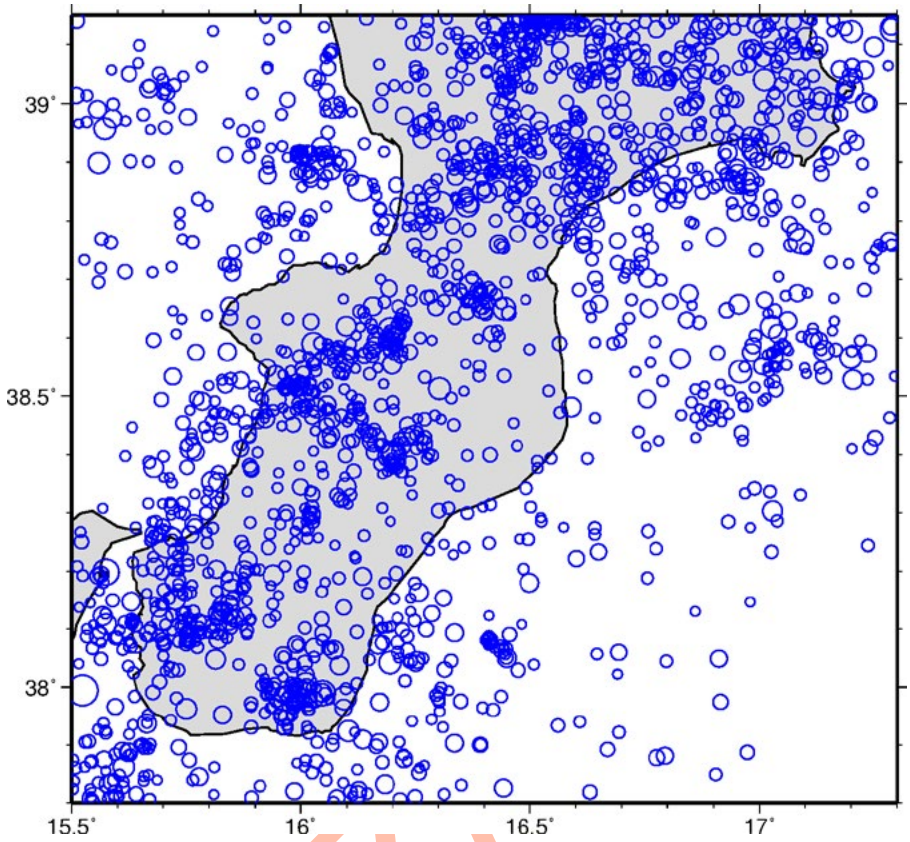


Figura 2 – Epicentri dei terremoti crostali di magnitudo $m_L > 2.5$ localizzati in Calabria centro-meridionale dal 1986 (1701 scossse). Abbassando la soglia di magnitudo minima rappresentata, la distribuzione diventa più confusa e, come chiarito nel testo, la qualità media delle localizzazioni si riduce.

1 Nei testi pubblicati fino a qualche decennio fa, la definizione di microterremoto veniva attribuita convenzionalmente ai terremoti con magnitudo minore di 3, che raramente venivano elencati con i loro parametri alla sorgente in appositi bollettini pubblicati con mesi se non anni di ritardo. Al giorno d'oggi vengono localizzate automaticamente anche scosse con magnitudo poco maggiore di 1.0, con risultati che possono essere visualizzati on-line ed in tempo reale, cioè nel giro di qualche decina di secondi.

sfacente modello di velocità dell'area di interesse, localizzare con precisione gli ipocentri delle scosse e determinarne "dimensioni" e meccanismo al fuoco o mediante i metodi classici (magnitudo e distribuzione spaziale delle polarità dei primi arrivi delle onde P) o mediante tecniche basate sull'analisi del contenuto spettrale delle registrazioni digitali utilizzabili fin da magnitudo inferiori a 3.

Particolare rilievo assumono l'identificazione e lo studio delle cosiddette *sequenze sismiche*: si tratta di gruppi di terremoti che si addensano nel tempo e nello spazio, interessando aree di ampiezza relativamente limitata e con gli ipocentri disposti lungo linee o superficie che lasciano ragionevolmente individuare delle strutture geologiche attive al presente. L'interesse dello studio delle relazioni tra queste *tracce sismografiche* ed i risultati delle osservazioni geologiche di campagna è indubbio. Quando è possibile identificarla, la scossa di energia nettamente maggiore delle altre nell'ambito di una sequenza viene definita *scossa principale* (*mainshock*); quando questa possibilità non esiste, la sequenza viene definita *sciame* (*swarm*).

3.2 Recenti osservazioni strumentali in Calabria Centro-meridionale

Le diverse esperienze di attivazione di stazioni sismografiche in Calabria, risalenti già all'inizio del secolo scorso (Guerra, 1986), ebbero per lo più durata effimera e furono basate tutte sull'utilizzazione di strumentazione di tipo meccanico. Solo dopo la metà degli anni '70 ebbero inizio le prime osservazioni strumentali di tipo moderno della sismicità locale attraverso la installazione di alcune stazioni sismiche ad opera dell'INGV (allora ING) e dell'Università della Calabria. Tuttavia solamente negli ultimi 30 anni circa è stato possibile rilevare e localizzare la sismicità locale della regione e dei mari circostanti in modo abbastanza soddisfacente dal punto di vista tecnico. Il quadro che ne risulta mostra una notevole quantità di terremoti crostali di piccola magnitudo, localizzati sia a terra che in mare (*Fig.* 2). Gli epicentri sono distribuiti in modo molto eterogeneo e mostrano numerosi addensamenti in aree già colpite in passato da forti terremoti, come ad esempio la valle del Mesima, la zona delle Serre, la zona di Ferruzzano e il versante occidentale dell'Aspromonte. Sono anche evidenti degli allineamenti lungo strutture sismogenetiche ben note come la faglia di Cittanova, la linea Nicotera – Gioiosa Ionica, e la linea Bagnara – Bovalino. Inoltre non mancano addensamenti e allineamenti di epicentri nei mari circostanti la Calabria.

Diverse sequenze sismiche con main shock di magnitudo $m_L < 4.0$ sono state osservate in Calabria Centro-meridionale. Alcune di esse

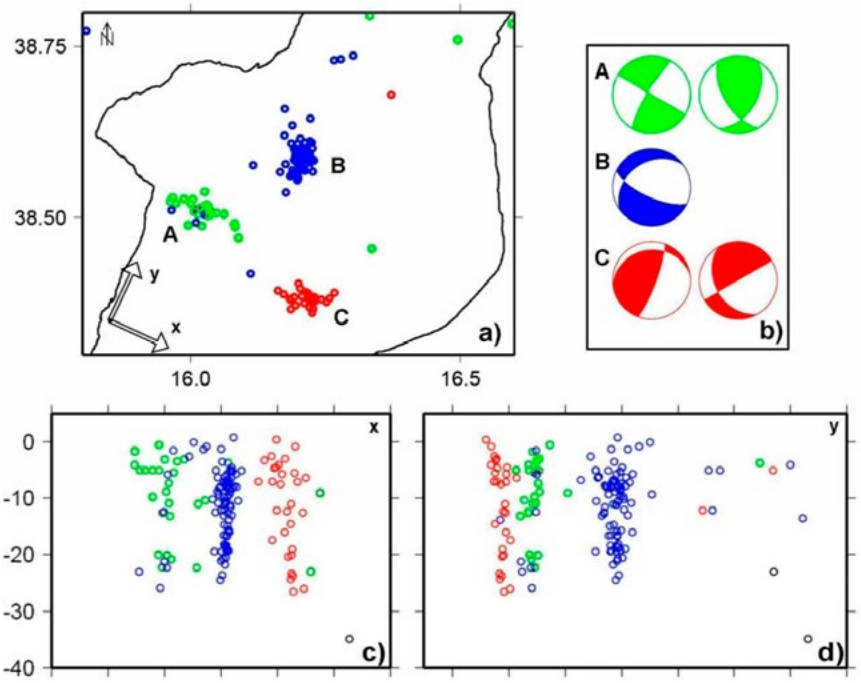


Figura 3 – Sequenze sismiche avvenute nel 1997 nella valle del Mesima (blu) e lungo la linea Nicotera – Gioiosa Ionica (verde e rosso). a) epicentri, b) meccanismi focali, c) sezioni verticali nelle direzione x *e* y *indicate in a) (da Guerra* et al*, 2006).*

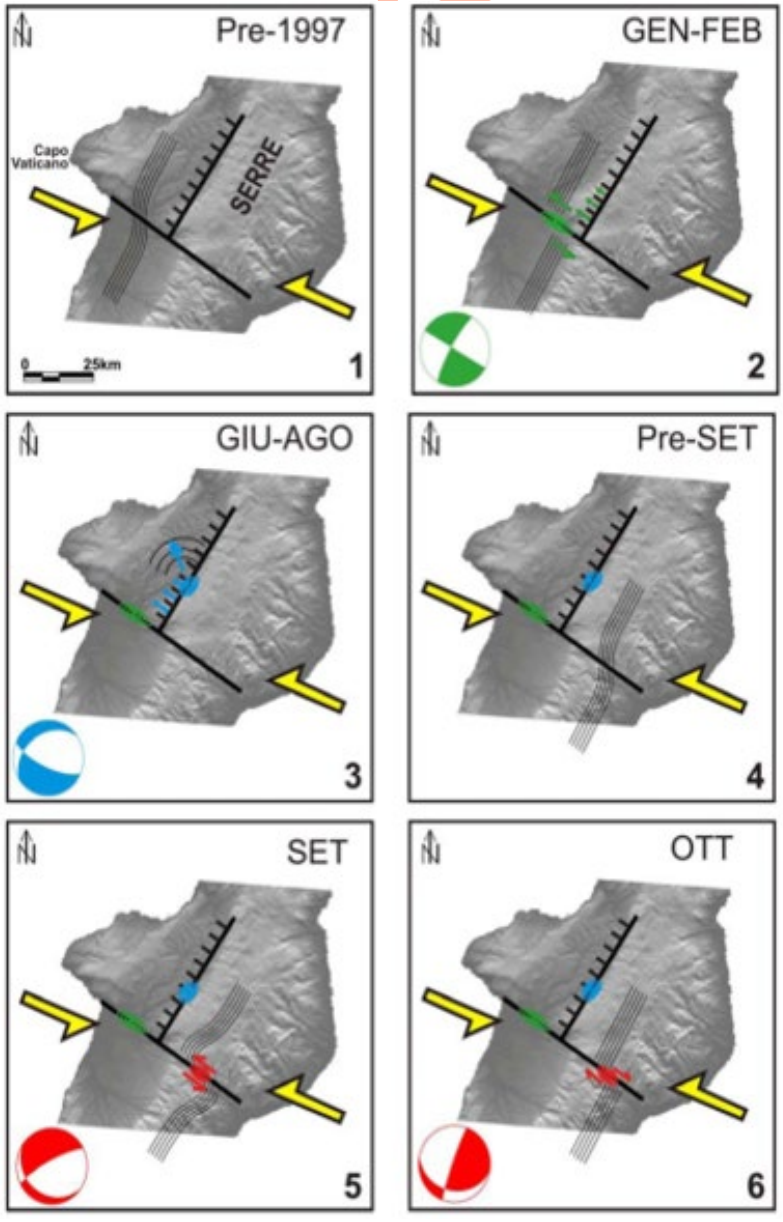


Figura 4 – Interpretazione dinamica delle sequenze del 1997 (da Guerra et al.*, 2006)*

saranno rappresentate nelle *Figg.* 3 e 4. Anche per motivi di spazio disponibile, ci si limita qui a sintetizzare i risultati dello studio di Guerra *et al.* (2006) relativi a tre sequenze verificatesi in rapida successione nel 1997, facendo riferimento alle figure citate. Nel riquadro a) della *Fig.* 3 sono riportati, insieme ad un sistema di riferimento con l'asse **x** orientato verso SE parallelamente alla linea Nicotera - Gioiosa Ionica, gli epicentri delle tre sequenze, indicate con colori diversi e con le lettere A, B e C; in b) i rispettivi meccanismi focali più probabili, calcolati con la tecnica dei meccanismi compositi[2]; in c) e d) le proiezioni degli ipocentri sui piani verticali passanti per gli assi coordinati.

Per quanto riguarda lo sviluppo temporale della sismicità studiata, nel corso dell'anno 1997 nella zona di cui ci stiamo interessando si verificarono numerose scosse, per oltre 160 delle quali risultò possibile la localizzazione dell'ipocentro. Esse si concentrarono nei mesi di gennaio-febbraio (sequenza A), giugno ed agosto (B) e settembre-novembre (C), localizzandosi rispettivamente all'estremo NO della Nicotera - Gioiosa Ionica; in corrispondenza della struttura normale nota come *faglia delle Serre* che segna il contatto tra il bacino del F. Mesima e la catena montuosa ad est, e verso SE lungo la struttura appena citata.

Nella *Fig.* 4 viene esposta graficamente una possibile interpretazione dell'evoluzione del campo degli sforzi nell'area interessata attraverso le linee nere sottili che indicano lo stato di stress e deformazione elastica, mentre le frecce colorate indicano la cinematica cosismica delle strutture geologiche come risulta dalle soluzioni del piano di faglia. I fenomeni osservati strumentalmente sono compatibili con l'iniziale superamento del limite di rottura all'estremo NO della Nicotera - Gioiosa Ionica con l'innesco di un episodio di trascorrenza sinistra che a sua volta provoca il riassetto della situazione prima nella valle del Mesima e quindi nel segmento SE della struttura trasversale.

Con quanto appena illustrato si è inteso fornire un esempio di come anche da episodi di rilascio di quantità ridotte di energia sismica possano derivare informazioni di buon rilievo utili a verificare risultati ed ipotesi di lavoro in settori attigui alla sismologia. Si è contemporaneamente evidenziato un altro dei grandi problemi della geofisica: quello della propagazione degli sforzi nella litosfera e della conseguente interazione di strutture geologiche vicine. L'importanza di questo problema appare molto evidente se si pensa a quanto spesso l'analisi dei fenomeni alla sorgente dei grandi terremoti dimostra che essi in realtà sono generati dall'attivazione a catena di più strutture.

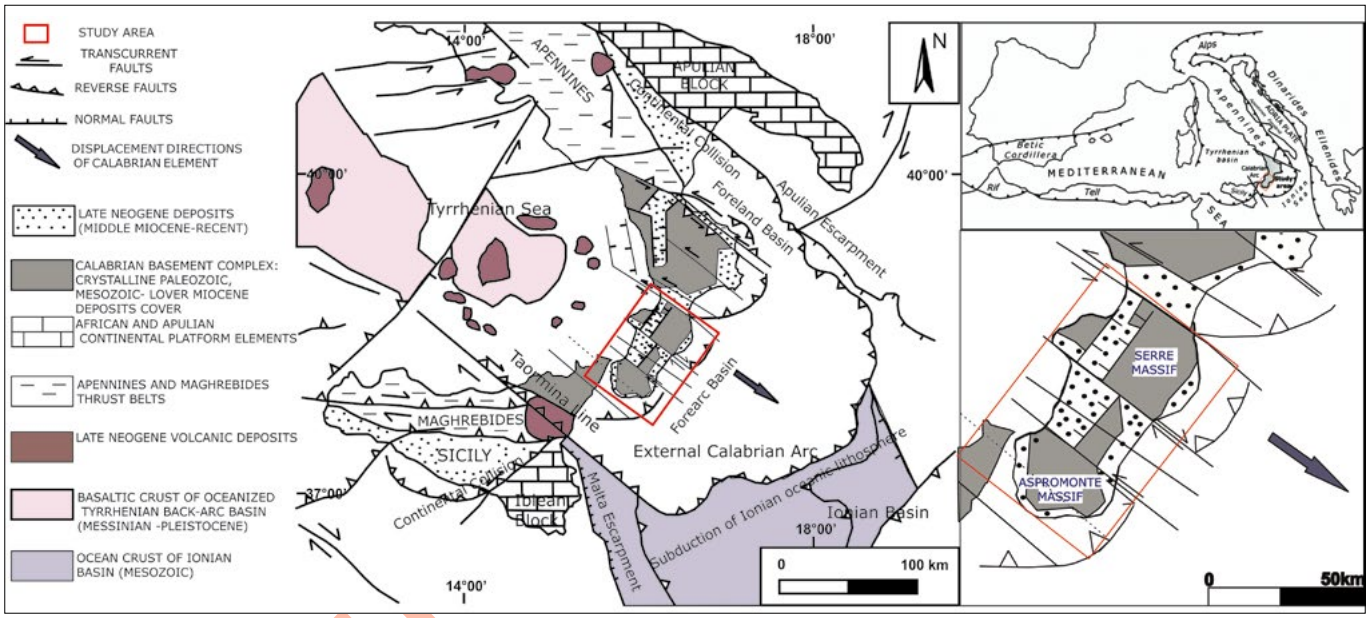


Figura 5 – Mappa geologico-strutturale schematica dell'Arco Calabro-Peloritano (modificato da Van Dijk et al.*, 2000, Tansi* et al.*, 2007 e Tripodi* et al.*, 2016).*

Dal punto di vista geodinamico il settore è caratterizzato dalla subduzione da ESE verso NNO e dal rollback dello slab ionico correlati alla collisione tra le placche africana ed europea (Critelli, 1999; Bonardi *et al.*, 2001; Faccenna *et al.*, 2001a; Minelli and Faccenna, 2010; Critelli *et al.*, 2017).

La migrazione dell'Arco Calabro è stata guidata da sistemi di faglie trascorrenti e oblique che hanno prodotto nel tempo la segmentazione dell'orogene e hanno portato all'attuale configurazione strutturale con la formazione di bacini sedimentari plio-pleistocenici posti longitudinalmente e trasversalmente alla catena (Ghisetti, 1979, Ghisetti & Vezzani, 1981; Van Dijk *et al.*, 2000; Peacock & Parfitt, 2002; Tansi *et al.*, 2007, Tripodi *et al.*, 2013; Brutto *et al.*., 2016). Vari autori ammettono un distacco, parziale o totale, dello slab ionico (Wortel & Spakman, 1992), che induce un generale uplift i cui tassi di sollevamento variano da 0.5 a 1.2 mm/anno nel periodo 1-0.7 milione di anni (Monaco *et al.*, 1996, Wortel & Spakman, 2000; Dumas & Raffi, 2004).

Le strutture tettoniche attive al presente controllano fortemente l'evoluzione geodinamica tardo-quaternaria dell'Arco Calabro influenzando l'attuale assetto morfotettonico (Ghisetti, 1979; Monaco & Tortorici 2000) e producendo la sismicità sopra descritta. Dal Pleistocene medio-superiore domina la tettonica estensionale, con parte dei piani più antichi che vengono riattivati come faglie dirette o sono rigettati da piani con la stessa orientazione. I terrazzi pleistocenici e l'intensa dislocazione verticale, più evidente nella fascia tirrenica, sono il risultato dell'uplift pleistocenico indotto dal distacco dello slab ionico (Wortel & Spakman, 1992; Galli & Bosi, 2002).

4. ASSETTO GEOLOGICO DELLA CALABRIA CENTRO-MERIDIONALE

Il settore meridionale dell'Arco Calabro si estende a partire dalla Stretta di Catanzaro a nord fino all'estremità meridionale della Calabria. Esso presenta un assetto geologico altamente articolato, caratterizzato dalla presenza di un bacino di retroarco nella sua porzione occidentale, da un bacino di avanarco ad oriente e da una catena montuosa costituita da due massicci cristallini a contatto, quello delle Serre a Nord e quello dell'Aspromonte a Sud (*Fig.* 5).

2 Questa consiste nel considerare come dovuti ad un unico evento sismico i dati forniti da più eventi raggruppati sia nello spazio che nel tempo tanto densamente da poter essere ragionevolmente attribuiti ad una distribuzione degli sforzi rimasta praticamente immutata nel corso del rilascio di energia.

4.1 Strutture recenti e attive

La zona di contatto tra i due Massicci sopra citati si colloca all'interno di una *transfer-zone* profonda attiva dal Miocene. I principali lineamenti strutturali (*Fig.* 6) sono rappresentati da sistemi di faglie legati geneticamente all'evoluzione tettonica quaternaria e recente dell'area. I lineamenti più importanti rigettano di alcune centinaia di metri le unità del riempimento dei bacini plio-quaternari rispetto al basamento cristallino e della successione oligo-miocenica (Tripodi *et al.*, 2013).

Il settore tirrenico della Calabria Meridionale risente dei processi coevi di apertura della fossa del Mesima e dello Stretto di Messina, in connessione ai processi deformativi indotti da una zona di taglio profonda (Monaco & Tortorici, 2000). La coesistenza di meccanismi dei terremoti normali e compressivi viene imputata alla posizione dei settori in distensione al retro di un fronte di compressione che è migrato verso le aree esterne dell'Arco Calabro-Peloritano. Per Tortorici *et al.* (1995) e Monaco & Tortorici (1995), infatti, l'Arco Calabro-Peloritano sarebbe dominato da un'estensione crostale che origina il *Rift* Calabro-Siculo, esteso dalla Calabria al versante ionico siciliano, per una lunghezza totale di 370 km. Tale *rift* mostra una sismicità crostale con terremoti fino a M > 6, localizzati in corrispondenza di faglie quaternarie normali. Un'interpretazione alternativa (Carbone *et al.*, 2008), è che il rift possa essere il prodotto di fenomeni di estensione del cuneo di accrezione in risposta all'arretramento flessurale delle aree ioniche di avanarco. In questo caso le faglie non sarebbero radicate nella litosfera, ma si ricollegherebbero in profondità al piano di sovrascorrimento della catena. Il sistema orientato NNE-SSO, comunque, è un elemento morfotettonico a cui vengono associati tassi di sollevamento di 0.5-1.2 mm/anno, per gli ultimi 700 ka (Monaco & Tortorici, 2000). Tale sistema è caratterizzato da faglie ad alto angolo che immergono prevalentemente verso il Mar Tirreno, con cinematica principalmente diretta (Galli & Bosi, 2002). Le strutture tettoniche orientate NE-SO hanno la principale espressione nella faglia di Cittanova e nella Faglia delle Serre che bordano rispettivamente ad est la piana di Gioia Tauro e la Valle del Mesima separando le successioni di riempimento bacinale dal basamento cristallino. Più a sud questo sistema prosegue con la faglia di Scilla (Monaco & Tortorici, 2000; Ferranti *et al.*, 2008) e con le faglie di Calanna e Reggio Calabria (Ghisetti, 1979; Ghisetti & Vezzani, 1981).

Anche nel settore ionico sono state rilevate faglie orientate NNE-SSO, parallele alla costa, che rigettano i depositi pleistocenici e potrebbero avere caratteri di attività tettonica recente (Critelli *et al.*, 2016). Tali strutture appartengono al sistema Stilo-Bovalino e Africo-S. Elia che si estende parallelamente alla costa dalla Stretta di Catanzaro, a nord, fino all'estremità meridionale della Calabria. Queste faglie immergono verso il Mar Ionio e presentano cinematica prevalentemente normale e un andamento parallelo alle faglie estensionali del versante tirrenico.

Un altro sistema di faglie attive è orientato ONO-ESE e trova la sua maggiore espressione morfostrutturale nelle faglie Nicotera-Gioiosa Ionica, Palmi-Locri e Bovalino-Bagnara, aventi attualmente cinematiche normali-trascorrenti, ma che hanno agito in passato per lo più come faglie trascorrenti accompagnando l'evoluzione neogenica dell'intera area (Tripodi *et al.*, 2013).

Una di queste, la Nicotera-Gioiosa Ionica, è stata sede delle microsequenze sismiche sopra descritte (*Figg.* 3 e 4). Dal punto vista geologico, essa ribassa i termini della successione sedimentaria di riempimento bacinale rispetto al basamento. La zona di faglia presenta indicatori di cinematica trascorrente, in cui attualmente domina la transtensione sia sinistra che destra, compatibile con quanto rilevato strumentalmente da Guerra *et al.* (2006).

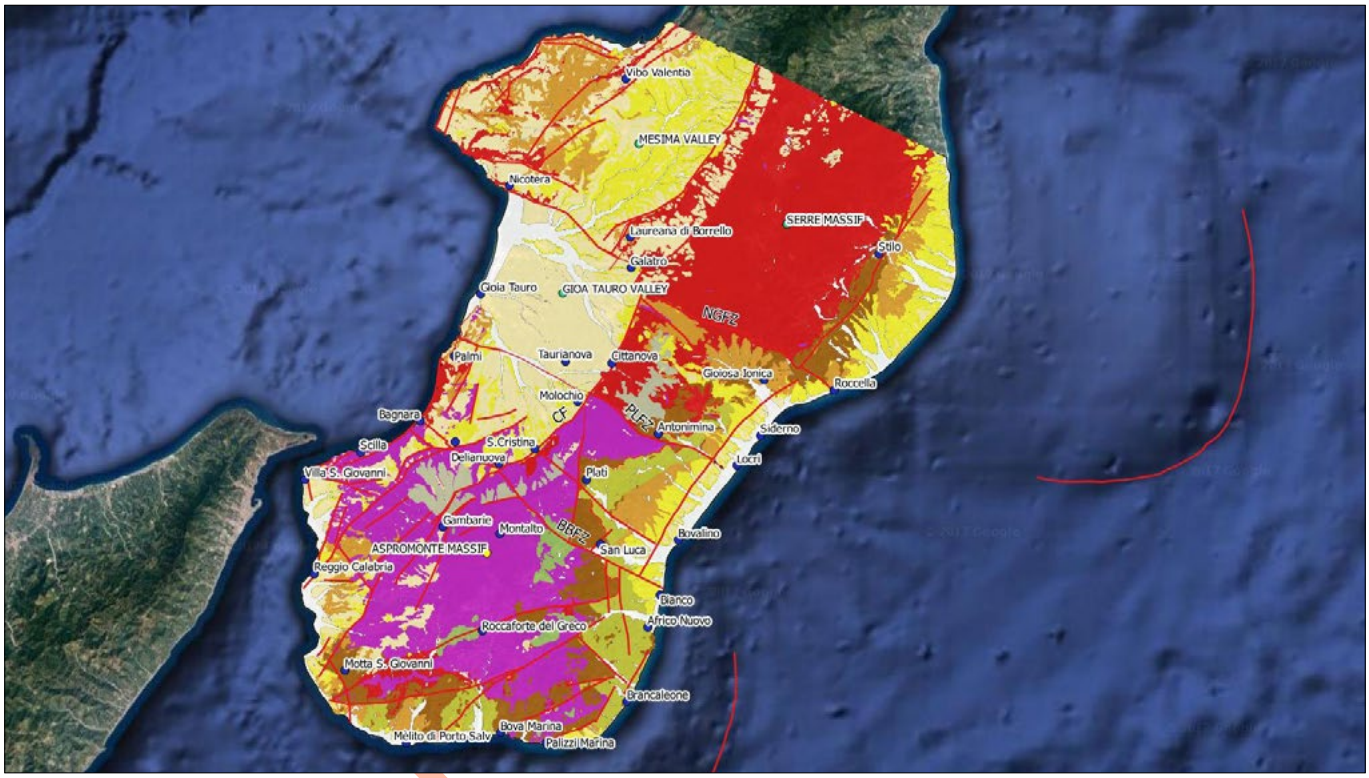


Figura 6 – Strutture tettoniche principali in Calabria Centro-meridionale

La zona di faglia Palmi-Locri (*Fig.* 6), mostra le stesse caratteristiche cinematiche della precedente e borda, a sud, il graben di Gerace. Si tratta di una struttura tettonica composita che si sviluppa dal margine Tirrenico a quello ionico e mostra un andamento generale ONO-ESE rigettando i termini quaternari della successione di riempimento dei bacini di Siderno e Gioia Tauro. Essa segna il contatto tra i due massicci cristallino-metamorfici delle Serre a nord e dell'Aspromonte a sud (Critelli *et al.*, 2016). Diversi autori (e.g. Prosser *et al.*, 2003; Grande *et al.*, 2009; Ortolano *et al.*, 2013; Cirrincione *et al.*,2015), identificano all'interno del basamento paleozoico una fascia di deformazione duttile

associata alla struttura mentre Tripodi *et al.* (2013) vi identificano una fascia di taglio fragile che ha agito almeno dal Miocene superiore. La struttura presenta caratteristiche cinematiche di tipo trascorrente e anche qui l'attività recente sembra essere quella transtensiva.

La zona di faglia Bovalino-Bagnara risulta essere estremamente articolata e si estende dal margine tirrenico a quello ionico attraversando trasversalmente tutta la catena. Essa borda la porzione meridionale del bacino di Siderno, dislocando i depositi di riempimento bacinale verso nord rispetto al massiccio cristallino. La struttura presenta cinematica trascorrente e la sua attività recente è caratterizzata da movimenti transtensivi con componente di movimento sinistra. La zona di faglia Bovalino-Bagnara è stata recentemente riconosciuta e studiata nell'offshore ionico da Del Ben *et al.* (2008), che ne valutano come recente l'attività.

Alle strutture tettoniche regionali fin qui descritte si associa una serie di lineamenti minori, sintetici ed antitetici, che hanno caratteristiche giaciturali e cinematiche compatibili con quelle di ordine maggiore.

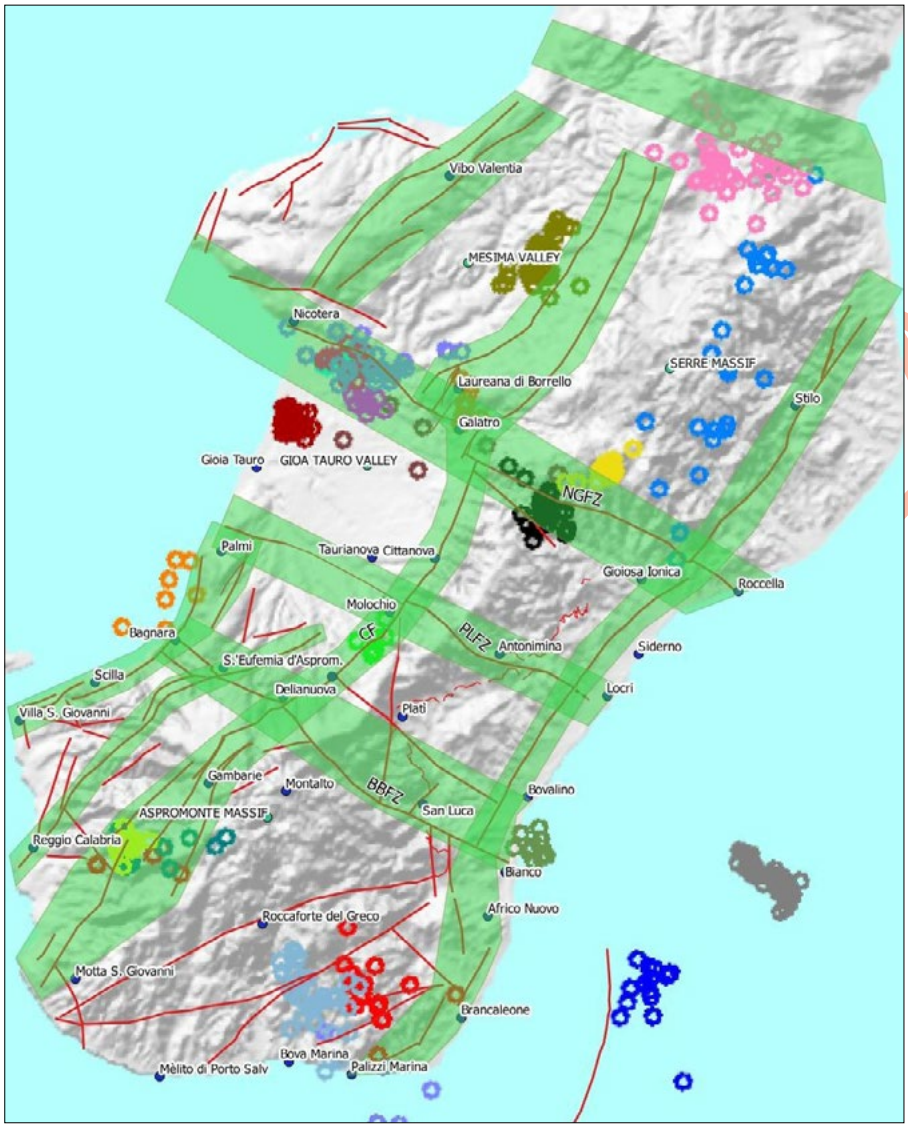


Figura 7 – Alcune sequenze sismiche e fasce di taglio

5. DISCUSSIONE

Gli studi finalizzati alla definizione della pericolosità sismica di un territorio si basano su tre fonti primarie: sismicità storica, informazioni geologiche e cataloghi sismici strumentali. Lo studio della sismicità storica permette di individuare le aree in cui nel passato si sono verificati i terremoti più significativi; tali aree in genere sono già stati oggetto di studi geologici dettagliati, finalizzati alla individuazione delle strutture fragili presenti, che nel loro insieme portano alla definizione di fasce di taglio. Le strutture tettoniche vengono caratterizzate in termini di dimensioni spaziali, giaciturali e cinematiche, che devono essere correlabili con la sismicità presente nel loro intorno, sia in termini di distribuzione spaziale che in termini di meccanismi focali. Al fine di effettuare un'analisi della distribuzione spaziale degli ipocentri vengono utilizzati i terremoti a profondità crostali, che sono quelli ragionevolmente più associabili con i dati geologici di superficie. Potenziali errori nell'accettare tale correlazione possono essere commessi nel caso in cui non sia ben nota la geometria della faglia studiata o quando l'ubicazione degli ipocentri dei sismi non è sufficientemente attendibile.

Nel presente lavoro un primo studio di questo tipo è stato effettuato a scala regionale e si sono ricercate le possibili correlazioni tra le strutture tettoniche potenzialmente attive a carattere regionale ed i pattern sismici ipocentrali presenti all'interno dell'area di studio considerata.

Gli studi di sismicità storica ed a carattere prettamente geologico hanno permesso di definire le fasce di taglio principali a scala regionale (*Fig.* 6). Tali fasce di taglio sono, come precedentemente descritto, raggruppabili in funzione della loro orientazione essenzialmente in due famiglie, quella ad orientazione ONO-ESE trasversali all'asse della Catena Calabra, e quella NNE-SSO parallela all'asse. Le prime presentano faglie a cinematiche di tipo transtensivo, mentre le seconde presentano cinematiche di tipo prevalentemente normale.

Il confronto visuale con la sismicità strumentale recente relativa agli anni 1986 – 2017 (*Fig.* 2) evidenzia delle concentrazioni maggiori in buona corrispondenza con le principali strutture tettoniche a carattere regionale individuate. Come per le fasce di taglio, anche la distribuzione degli ipocentri definisce due principali trend di distribuzione, uno NNE-SSO e l'altro ONO-ESE.

Tale corrispondenza può essere meglio apprezzata facendo riferimento alla *Fig.* 7. Qui sono rappresentate alcune sequenze sismiche registrate negli ultimi decenni e le principali strutture tettoniche. Per quanto riguarda i dati sismografici, i cerchietti dello stesso colore stanno ad indicare epicentri di una stessa sequenza; le strisce colorate in verde indicano le zone di maggiore addensamento di strutture di secondo ordine associate a quelle di primo ordine che ne costituiscono l'asse.

L'analisi di maggiore dettaglio consentita da questa rappresentazione unificata, evidenzia l'esistenza di tre tipi di situazioni. In diversi casi si nota, infatti, una corrispondenza che, almeno alla scala regionale utilizzata in questa prima analisi, è da considerare più che soddisfacente (e.g. Valle del Mesima, Nicotera-Gioiosa Ionica, ecc). In altri casi manca uno dei due elementi da correlare. Ad esempio, sul bordo orientale delle Serre, non sono identificate strutture tettoniche correlabili con gli epicentri colorati in azzurro, mentre nessun chiaro allineamento di epicentri corrisponde alle strutture più prossime alla costa nell'estrema Calabria Sud-Occidentale. In questa stessa zona, immediatamente ad est si riscontra un caso di mancata coincidenza

tra le due direzioni ai lineamenti (epicentri in rosso).

6. CONCLUSIONI

Nello studio delle faglie attive e della sismicità del territorio risulta di fondamentale importanza un approccio multidisciplinare che permetta di considerare in un contesto unificato i vari fattori che concorrono all'individuazione delle strutture tettoniche attive e capaci di generare terremoti. L'approccio utilizzato in questo studio ha preso in considerazione aspetti di natura storica, sismologica e geologica. Allo stato attuale si è in una fase preliminare in cui, in via sperimentale, si è cercato di capire la bontà del metodo applicato all'interno di un territorio estremamente complesso dal punto di vista geologico ed altamente sismico.

In questo studio, in cui si è focalizzata l'attenzione sulle strutture tettoniche regionali, si è riscontrata una buona correlazione tra le stesse e la sismicità registrata, sia spazialmente e geometricamente che in termini cinematici. Ai casi di mancata corrispondenza va comunque attribuito un significato positivo, se li si considera, come in realtà sono, delle utili indicazioni di problemi non ancora manifestatisi e/o di situazioni ancora non del tutto chiare di cui è necessario approfondire o iniziare lo studio. Questo approccio può essere adottato più in generale, al fine di ottenere sempre un maggior dettaglio e quindi di ampliare il campo di studi a strutture tettoniche e a contesti territoriali a varia scala in modo da ottenere una localizzazione precisa sia delle strutture tettoniche attive e capaci a carattere regionale che a scala di dettaglio, fornendo uno strumento di riferimento in tutte le possibili applicazioni.

BIBLIOGRAFIA

Aloisi M., Azzaro R., Barberi G., Di Giovambattista R., Gervasi A., Guerra I., Mostaccio A. e Neri: G. (2000), *Analisi di due sequenze sismiche di bassa energia in Calabria Meridionale* - Atti 19° Conv. Ann. Gr. Naz. Geofis. Terra Solida, CNR Roma.

Bonardi G., Cavazza W., Perrone V. & Rossi S. (2001), *Calabria - Peloritani terraine and northern Ionian Sea*. In: Vai G. B. & Martini I.P. (Eds.), *Anatomy of an orogen: the Appennines and adjacent Mediterranean Basins*. Kluver Academic Publishers, Dordrecht/ Boston/ London, 287-306.

Boschi E., Ferrari G., Gasperini P., Guidoboni E., Smriglio G. e Valensise G. (1995), *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980* – ING – SGA. Cfr. anche *http://storing.ingv.it/cfti-4med/*

Brutto F., Muto F., Loreto M. F., De Paola N., Tripodi V., Critelli S., & Facchin, L. (2016), *The Neogene-Quaternary geodynamic evolution of the central Calabrian Arc: A case study from the western Catanzaro trough basin*. Journal of Geodynamics, 102, 95-114.

Cirrincione R., Fazio E., Fiannacca P., Ortolano G., Pezzino A. & Punturo R. (2015), *The Calabria-Peloritani Orogen, a composite terrane in Central Mediterranean; its overall architecture and geodynamic significance for a pre-Alpine scenario around the Tethyan basin*. Periodico di Mineralogia, 84, 3B (Special Issue), 701-749.

Critelli, S. (1999), *The interplay of lithospheric flexure and thrust accomodation in forming stratigraphic sequences in the southern Apennines foreland basin system, Italy*. Accademia Nazionale dei Lincei. Rendiconti Lincei Sci. Fis. Nat. 10, 257-326.

Critelli, S., Muto, F., Perri, F., & Tripodi, V. (2017), *Interpreting provenance relations from sandstone detrital modes, southern Italy foreland region: Stratigraphic record of the Miocene tectonic evolution*. Marine and Petroleum Geology doi:10.1016/j.marpetgeo.2017.01.026.

Critelli, S., Muto F., Tripodi V. (2016), *Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50.000 foglio 590 Taurianova*. ISPRA, Servizio Geologico d'Italia.

Del Ben, A., Barnaba, C., Taboga, A. (2009), *Strike-slip systems as the main tectonic features tectonicfeatures in the Plio-Quaternary kinematics of the Calabrian Arc*. Mar. Geophys.Res. 29, 1-12.

Dickie J. (2014), *Una catastrofe patriottica - 1908: il terremoto* – Editori Laterza.

Dumas, B., Raffy, J. (2004), *Late Pleistocene tectonic activity deduced from uplifted marine terraces in Calabria, facing the Strait of Messina*. Quat. Nova 8, 79-99.

Faccenna, C., Funiciello, F., Giardini, D. & Lucente, P. (2001), *Episodic back-arc extension during restricted mantle convection in the Central Mediterranean*. Earth Planetary Science Letters, 187, pp. 105-116.

Ferranti, L., Oldow, J.S., D'Argenio, B., Catalano, R., Lewis, D., Marsella, E., Avellone,G., Maschio, L., Pappone, G., Pepe, F., Sulli, A. (2008), *Active deformation insouthern Italy, Sicily and southern Sardinia from GPS velocities of thePeri-Tyrrhenian Geodetic Array (PTGA)*. Bollettino della Società Geologica Italiana. Ital. J. Geosci. 127, 299-316.

Galli, P., Bosi, V. (2003), *Catastrophic 1638 earthquakes in Calabria (southern Italy): new insights from palaeoseismological investigation*. J. Geophys. Res. 108 (B1).

Ghisetti, F. (1979), *Evoluzione neotettonica dei principali sistemi di faglie della Calabria centrale*. Bolletino Società Geologica Italiana 98, 387-430.

Ghisetti, F., Vezzani, L. (1981), *Contribution of structural analysis to understanding the geodynamic evolution of the Calabrian Arc (southern Italy)*. J. Struct. Geol. 3, 371-381.

Grande A., Di Vincenzo, Prosser G. & Caggianelli A. (2009), *Direct evidence of Middle Oligocene extension in the Calabria-Peloritani terrane from co-seismic faulting: the pseudotachylyte-bearing shear zones of Palmi (southern Calabria, Italy)*. Terra Nova, 21, 293-303, 2009.

Guerra I. (1986), *Osservazioni strumentali della sismicità della Calabria – Risultati preliminari* – Atti 5° Conv. Gr. Naz. Geofis. Terra Solida, CNR Roma, 525-536.

http://www2.ogs.trieste.it/gngts/gngts/convegni-precedenti/1999/media/contents/html/13_07.htm.

Guerra I., De Rose C., Gervasi A., Neri G., Orecchio B, e Presti D. (2006), *Attività sismica recente in Calabria Centro-Meridionale*. In Guerra I. e Savaglio A. (a cura di). *8 settembre 1905. Terremoto in Calabria*. Univ. della Calabria, Dip. di Fisica, 358 pagg., 261- 288.

Guidoboni E. e Mariotti D. (2008), *Il terremoto e il maremoto del 1908: effetti e parametri sismici*. In: Bertolaso G., Boschi E., Guidoboni E. e Valensise G. (a cura di) (2008), *Il terremoto e il maremoto del 28 dicembre 1908: analisi sismologica, impatto, prospettive* – INGV – DPC, Roma – Bologna, 813 pp.", 17 – 136. INGV Miscellanea n. 24, 2014.

Minelli, L., Faccenna, C. (2010), *Evolution of the Calabrian accretionary wedge (central Mediterranean)*. Tectonics 29, http://dx.doi.org/10.1029/2009tc002562 (TC4004). Earthquake phenomena (first paper). Bull. Earthq. Res. Inst., 40, 815-829.

Mogi K. (1962), *Magnitude-frequency relation for elastic shocks accompanying fractures of various materials and some related problems in earthquakes phenomena* (2nd paper). Bull. Earthq. Res. Inst., 40, 831-853.

Monaco, C., Tortorici, L. (2000), *Active faulting in the Calabrian Arc and easternSicily*. J. Geodyn. 29, 407-424.

Monaco C., Tortorici L., Cernobori L., Nicolich R. & Costa M. (1996), *From collisional to rifted basins: an example from the southern Calabrian Arc (Italy)*. Tectonophysics, 266, 233-249.

Ortolano, G., Cirrincione, R., Pezzino, A., & Puliatti, G. (2013), *Geo-Petro-Structural study of the Palmi shear zone: Kinematic and rheological implications*. Rendiconti Online Societa Geologica Italiana, 29, 126-129.

Prosser G., Caggianelli A., Rottura A. & Del Moro A. (2003), *Strain localisation driven by marble layers: the Palmi shear zone (Calabria-Peloritani terrane, Southern Italy)*. GeoActa, 2, 35-46.

Scholz, C.H. (1968), *The frequency-magnitude of microfracturing in rocks and its relation to earthquakes*. Bull. Seismol. Soc. Am., 58, 399-415.

Tansi, C., Muto, F., Critelli, S., Iovine, G. (2007), *Neogene-Quaternary strike-slip tectonics in the central Calabria Arc (southern Italy)*. J. Geodyn. 43, 397-414.

Tortorici, L., Monaco, C., Tansi, C., Cocina, O. (1995), *Recent and active tectonics in the Calabrian Arc (Southern Italy)*. Tectonophysics 243, 37-55.

Tripodi, V., Muto, F., Critelli, S. (2013), *Structural style and tectono-stratigraphic evolution of the Neogene-Quaternary Siderno Basin, southern Calabrian Arc, Italy*. Int. Geol. Rev. 4, 468-481.

Tripodi V., Muto F., Brutto F., Critelli S. (2016), *Neogene-Quaternary strike slip and extensional tectonics between the Serre and Aspromonte Massifs, Calabria (south Italy)*. Poster. Congresso Società Geologica Italiana.

Van Dijk, J.P., Bello, M., Brancaleoni, G.P., Cantarella, G., Costa, V., Frixa, A., Golfetto, F., Merlini, S., Riva, M., Torricelli, S., Toscano, C., Zerilli, A. (2000), *A regional structural model for the northern sector of the Calabrian Arc (southern Italy)*. Tectonophysics 324, 267-320.

Wortel, M.J.R., Spakman, W. (1992), *Structure and dynamics of subducted lithosphere in the Mediterranean region*. Proceedings of the Koninklijke Nederlandse Akademie Van Wetenschappen - Biological Chemical Geological Physical and Medical Sciences 95, 325-347.

Wortel, R., Spakman, W. (2000), *Subduction and slab detachment in the Mediterranean-Carpathian region*. Science 290, 1910-1917.

IN BOZZA

Evidenze geomorfologiche di tsunami in Italia Meridionale

Tsunami's geomorphological evidences in southern Italy

Scardino G.(1)
Fago P.(2)
Piscitelli A.(3)
Milella M.(3)
Sansò P.(2, 4)
Mastronuzzi G.(1, 2, 3)

(1) Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"
(2) CoNISMa, Roma
(3) Environmental Survey s.r.l., Taranto
(4) Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche e Ambientali, Università del Salento, Lecce

Parole chiave (*key words*): tsunami (*tsunamis*), onde estreme (*extreme waves*), blocchi (*boulders*), ventagli di rotta (*washover fans*), GIS (*GIS*)

ABSTRACT

Il bacino del Mar Mediterraneo, a causa delle sue caratteristiche geodinamiche e geomorfologiche, è predisposto alla formazione di *tsunami*. A luoghi, la fascia costiera dell'Italia meridionale conserva caratteri morfologici e sedimentologici che testimoniano l'impatto di più eventi eccezionali di ondazioni estreme. La correlazione dei dati di terreno con quelli sismologici, geocronologici, archeologici e con fonti storiche ed archivistiche permette di attribuire queste evidenze geologiche s.l. a diversi *tsunami* che hanno colpito le coste della Puglia, della Calabria e della Sicilia. L'analisi delle forme e dei sedimenti – ventagli di rotta, accumuli di megablocchi con incrostazioni che rivelano la loro provenienza dall'ambiente immediatamente adlitorale o subtidale, livelli sedimentari di alta energia individuati in sondaggi diretti – permette di riconoscere le aree colpite da tali eventi e la frequenza con la quale essi si sono manifestati. Tali parametri corrispondono ai concetti di vulnerabilità e di pericolosità, determinanti insieme al concetto di valore, alla valutazione del rischio da *tsunami* cui sono esposte le coste dell'Italia meridionale.

INTRODUZIONE

Alcuni tratti costieri dell'Italia meridionale hanno sperimentato, in tempi storici, l'impatto di ondazioni anomale attribuite a *tsunami* e/o a mareggiate eccezionali. L'analisi dei sedimenti e delle forme dovute a questi eventi e la loro correlazione con dati archeologici e fonti storiche ed archivistiche hanno permesso di riconoscere un numero ben elevato di *tsunami* – circa 300 – in tutto il bacino del Mar Mediterraneo, molti dei quali hanno interessato direttamente le coste italiane (Tinti e Maramai, 1996; Soloviev *et al.*, 2000; Tinti *et al.*, 2004; 2007; Guidoboni e Comastri, 2007; ITIC, 2012). L'analisi dei cataloghi degli *tsunami*, a livello mondiale, rivela che la maggior parte degli eventi noti riguardano l'Oceano Pacifico (63%), quindi il bacino del Mar Mediterraneo (21%), ed infine l'Oceano Indiano (6%) e l'Oceano Atlantico (5%) (NGDC, 2012; ICMMG, 2012; USGS, 2012). Sino ad un recente passato lo studio dell'impatto di *tsunami* avveniva con un approccio storico-documentale. Solo alla fine del secolo scorso i primi pionieristici lavori svolti lungo le coste del Mediterraneo

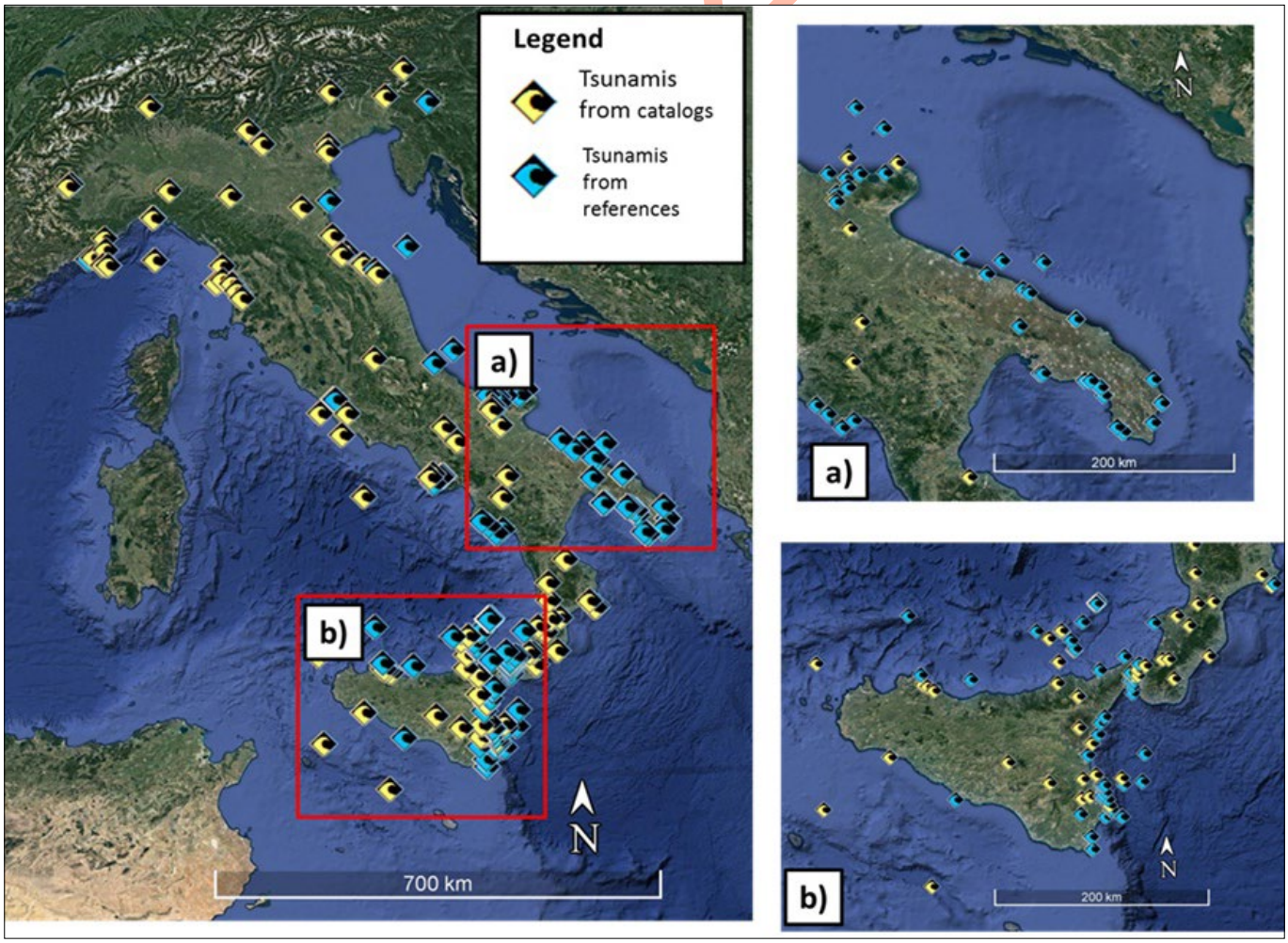


Figura 1 – Ubicazioni delle evidenze geologiche s.l. dell'impatto di tsunami *nel Mediterraneo derivate dai cataloghi e dalla bibliografia*

collegavano evidenze geologiche all'impatto di *tsunami* (Pirazzoli *et al.*, 1999; Mastronuzzi e Sansò, 2000; Gianfreda *et al.*, 2001; Kelletat e Schellman, 2002; Whelan e Kelletat, 2002) contribuendo alla nascita di un nuovo filone di ricerca – quello sulle evidenze geologiche s.l. dell'impatto di *tsunami* – che ha raggiunto picchi di produzione a seguito dei drammatici eventi dell'Oceano Indiano (Indian Ocean *Tsunami*, 2004) e del Giappone (Tohoku *Tsunami*, 2011).

Alcuni degli *tsunami* propagatisi nel Mediterraneo hanno provocato un numero decisamente elevato di vittime. Si possono citare, ad esempio, l'evento generato dal sollevamento cosismico che accompagnò il terremoto di Creta del 365 a.D. (Ammiano Marcellino, Res Gestae, 26.10.15-19) e che causò circa 50mila vittime stimate nella zona del Delta del Nilo o quelli che hanno colpito la costa orientale della Sicilia nel 1169 a.D. e nel 1693 a.D. con circa 20mila e 60mila vittime rispettivamente, e infine quello di Reggio Calabria e Messina del 1908 che ha prodotto un numero di vittime non meglio definito, probabilmente di alcune decine di migliaia di persone. Altre zone costiere, come quelle della Puglia, anch'esse soggette storicamente a *tsunami*, hanno registrato poche vittime per via della scarsa urbanizzazione della costa sino ai tempi moderni oppure della presenza di centri urbani costieri in aree poco propense all'inondazione. Purtroppo l'elevata concentrazione attuale di aree urbane e residenziali estive, di vie di comunicazione e di presidi industriali lungo costa suggerisce che attualmente l'eventuale impatto di uno *tsunami* potrebbe causare danni gravissimi e numerose vittime (Mastronuzzi e Sansò, 2006).

Tutte le informazioni bibliografiche disponibili in letteratura sugli eventi di *tsunami* che hanno lasciato tracce geologiche nel paesaggio costiero dell'Italia meridionale sono stati inseriti in un Sistema Informativo Geografico (GIS) (*Fig.* 1) a costituire uno strumento applicativo utile per le attività di pianificazione delle aree costiere (Fago *et al.*, 2014).

CARATTERI GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICI DEL MAR MEDITERRANEO

Il bacino del Mediterraneo è ubicato in corrispondenza della zona di collisione fra la placca Euro-Asiatica e quella Africana, con distribuzione della sismicità e dei movimenti verticali ed orizzontali della crosta che ne testimoniano la estrema vivacità tettonica (p.es.: Serpelloni *et al.,* 2007; Anzidei *et al.*, 2014) (*Fig.* 2a). Le caratteristiche morfologiche generali del bacino sono determinate da processi geodinamici che, anche con inneschi a catena, possono generare uno *tsunami*. Il Mediterraneo, infatti, comprende un elevato numero di regioni attive sismicamente da Ovest ad Est, dall'Africa Settentrionale, attraverso l'arco Calabro-Peloritano e l'Appennino, sino alle Dinaridi e alle Ellenidi nei Balcani, che continuano lungo le strutture dell'Anatolia fino alla Turchia Settentrionale. Nel centro del bacino del Mediterraneo, sul fondo del Mar Ionio, la giunzione definita dalla convergenza della placca Africana, di quella Adriatica e di quella Egea, definisce differenti fenomeni di collisione e subduzione, trascorrenza e trastensione mentre l'apertura del bacino tirrenico determina la presenza di una serie di importanti vulcani sottomarini attivi.

Le strutture tsunamogeniche più importanti si riconoscono all'intorno della Sicilia e lungo la catena dinaride-albanide-ellenide. Nel primo caso il quadro tettonico generale è dominato dal Plateau Ibleo, che è rappresentato dalla parte settentrionale della crosta continentale Africana, in collisione con le unità dell'Arco Calabro; un sistema di faglie normali è situato nell'*off-shore* dell'area costiera che va da Messina all'Etna, a Catania e Siracusa (Paparo *et al.,* 2017). Così le strutture che disegnano la scarpata Ibleo-Maltese definiscono un'area caratterizzata da un alto livello di sismicità crostale ad alta intensità (Monaco e Tortorici, 2007).

Nel secondo caso, la subduzione del fondale dello Ionio e la collisione con la placca Adriatica determina aree a sismicità superficiale e sistemi di faglie che dalle aree emerse si estendono *off-shore* con andamento trascorrente. A queste sono da accreditare molti degli eventi sismogenici che hanno interessato quella parte del bacino del Mar Mediterraneo determinando anche significativi sollevamenti cosismici a cui è stata correlata la genesi di alcuni *tsunami* (p.es.: Stiros, 2010; Mastronuzzi *et al.*, 2014). Alla complessità strutturale corrisponde una importante articolazione dei fondali. Catene montuose bordate da poco estese piattaforme continentali versano direttamente in bacini caratterizzati da batimetrie comprese fra i 3000 m a ovest della Sardegna e nel Mar Tirreno e i 4000-5000 m del Mar Ionio nella sua parte centrale (*Fig.* 2b). Queste caratteristiche rendono possibile il verificarsi di grandi frane sottomarine le cui tracce sono state rilevate lungo la scarpata continentale (Ridente *et al.*, 2008). Molte di esse possono essere state innescate da terremoti con epicentro nell'entroterra

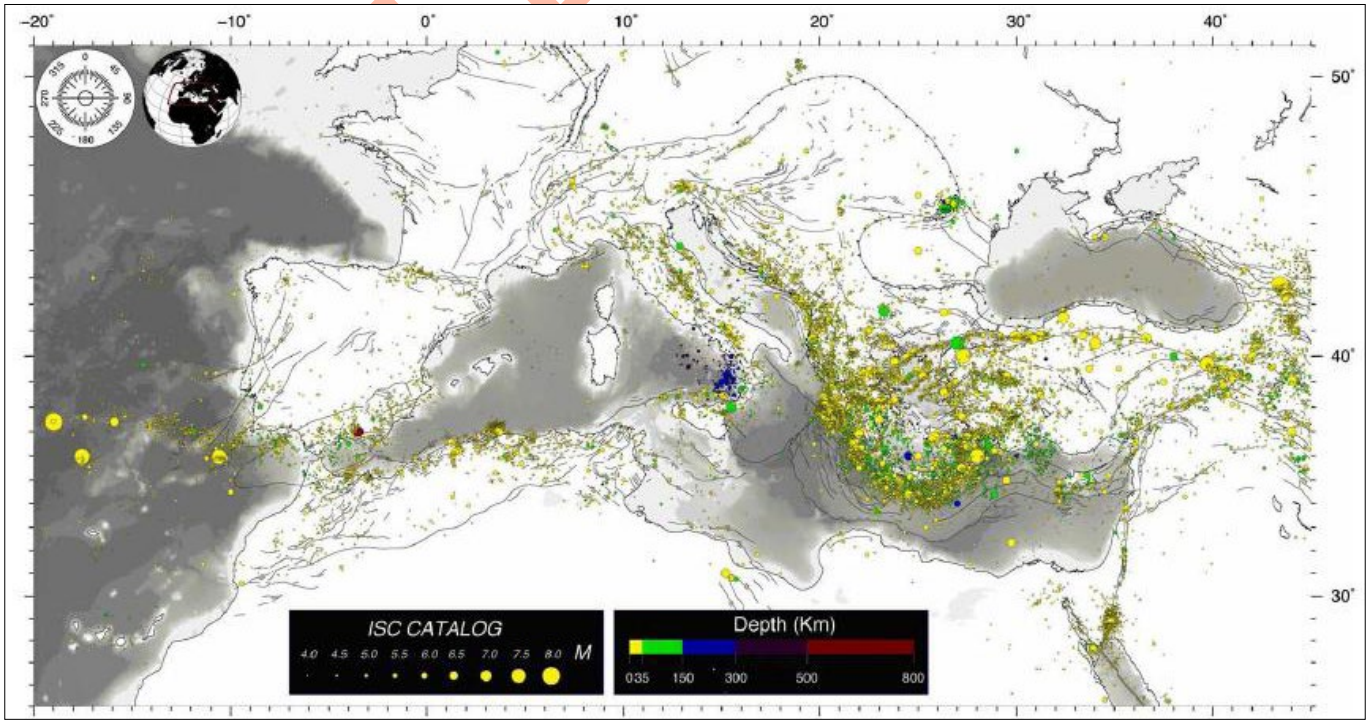


Figura 2a – Sismicità (M>4) del bacino del Mediterraneo nell'arco temporale che va dal 1900-2012, catalogo on-line del Internationl Seismological Centre (ISC2001, http://www.isc.ac.uk/) (da Anzidei et al., 2014)

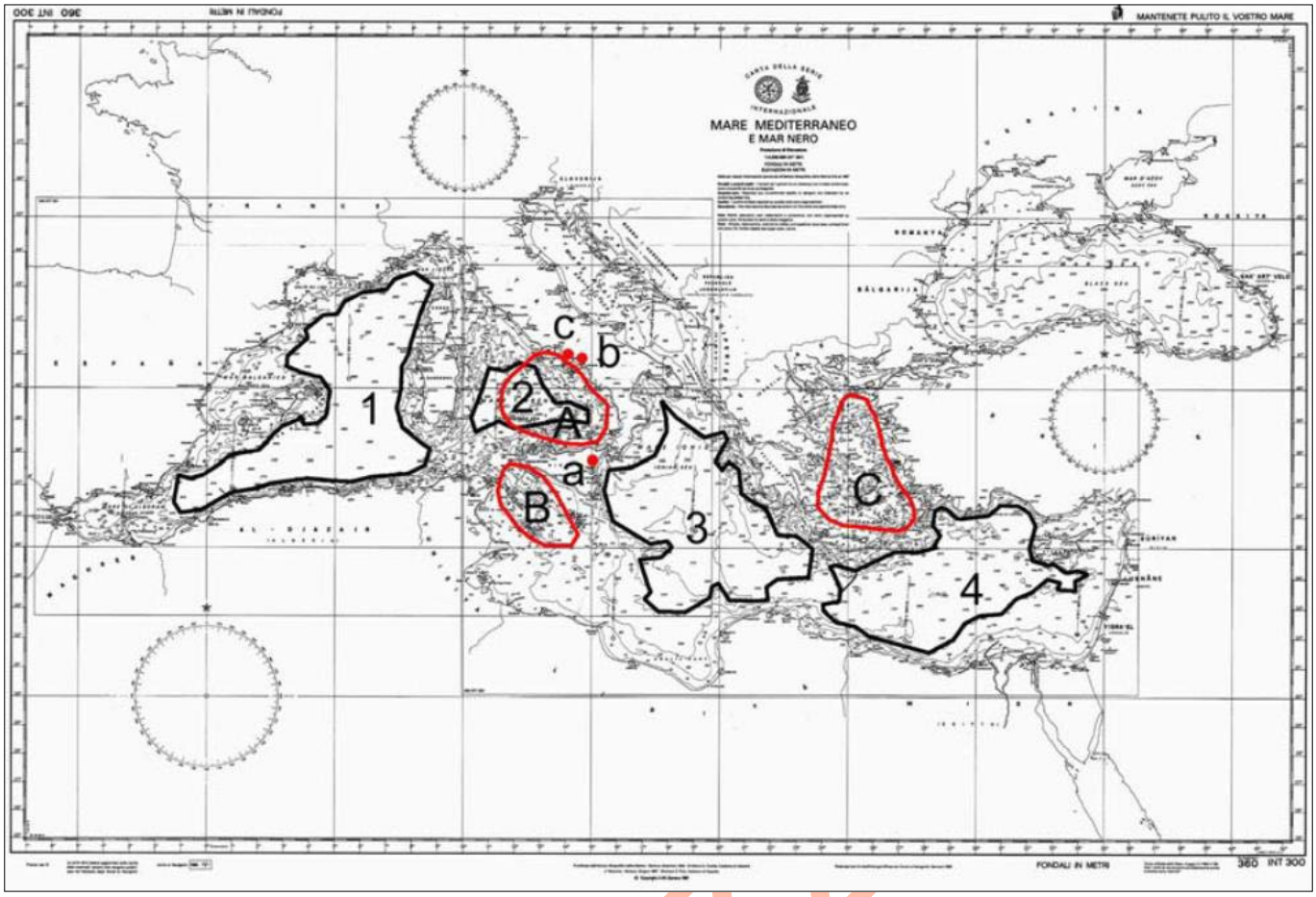


Figura 2b – Le zone più profonde (più di 2000 metri) nel Mar Mediterraneo e i principali distretti vulcanici; risulta evidente la ridotta estensione della piattaforma continentale fra le catene montuose e lo shelf break, così come l'elevato gradiente della scarpata continentale. 1- Mare della Sardegna (c.a 3000 m); 2 – Mar Tirreno (c.a 3500 m); 3 – Mar Ionio (c.a 5000 m); 4 – Bacino Orientale (c.a 4000 m); A – Distretto Tirrenico; B –Distretto del Canale di Sicilia; C – Distretto Egeo; a – Vulcano Etna; b Monte Somma – Vulcano Vesuvio; c – Campi Flegrei (carta n. 360 INT 300 Istituto Idrografico della Marina, Genova, Italia) (da Mastronuzzi, 2010)

come ad esempio successe per il sisma del 1783 che provocò il distacco di una frana di grandi dimensioni sul versante del Monte Faci, nei pressi di Scilla (Calabria meridionale). Questa frana riversandosi in mare produsse uno dei più devastanti *tsunami* che abbiano colpito la costa tirrenica della Calabria. Sedimenti riferibili a correnti di torbida sono stati rinvenuti nella piana abissale del Mar Ionio e interpretati quali conseguenza dell'impatto di uno *tsunami* generato dal collasso della caldera del Santorini (Cita & Aloisi, 2000); la torbida,a sua volta, avrebbe generato uno *tsunami* che avrebbe impattato lungo le coste della Grecia in un drammatico effetto sponda (Scheffers *et al*., 2008).

EVIDENZE DELL'IMPATTO DI *TSUNAMI*

Le evidenze geomorfologiche dell'impatto di ondazioni eccezionali sulla costa sono differenti e non sempre di facile interpretazione e correlazione all'azione di *tsunami* (p.es.: Shiki *et al.* 2008). Lungo le coste dell'Italia Meridionale, ed in particolare in Sicilia e in Puglia, le evidenze geomorfologiche correlabili con gli eventi di *tsunami* sono rappresentate da ventagli di rotta, accumuli di blocchi di grosse dimensioni provenienti dall'ambiente sommerso o da quello immediatamente adlitorale, sottili livelli sedimentari di alta energia impilati in depositi di piana costiera o di piattaforma (p.es.: Gianfreda *et al*., 2001; Mastronuzzi & Sansò, 2000; 2004; De Martini *et al*., 2003; 2010; 2012; Mastronuzzi *et al*., 2007; Scicchitano *et al*., 2007; Barbano *et al*., 2010; Smedile *et al*., 2011; 2012; Gerardi *et al*., 2012; Mastronuzzi & Pignatelli, 2012). In molti casi l'attribuzione definitiva di forme e sedimenti all'impatto di *tsunami* è stato possibile solo grazie alla loro correlazione con dati archeologici e fonti storiche ed archivistiche (Mastronuzzi *et al*., 2007; Scicchitano *et al*., 2007; Mastronuzzi & Pignatelli, 2012).

In Puglia, nel Lago di Lesina, sono presenti tre grandi ventagli di rotta (*Fig.* 3) (Gianfreda *et al*., 2001). Ognuno di essi è stato generato da un veloce flusso d'acqua e sedimenti che ha attraversato il cordone litorale in corrispondenza delle debolezze strutturali nel locale basamento argilloso dovute al terremoto che lo aveva generato. Il ventaglio di rotta attribuito allo *tsunami* più antico, presso Foce Sant'Andrea, è attribuito all'età Pre-Romana 736 a.C. circa); presso Foce Cauto è presente un ventaglio di rotta più recente riferibile ad uno *tsunami* generato dal forte terremoto del 493 a.D che colpì il promontorio del Gargano, riportato anche in alcuni documenti medievali (Piccardi, 2005). Infine, il ventaglio di Casino La Torre, il più orientale, è probabilmente conseguenza dell'impatto dello *tsunami* generato dal terremoto del 30 luglio 1627 che colpì buona parte della costa settentrionale del Gargano (Mastronuzzi & Sansò, 2012) (*Fig.* 4).

Lungo la costa sud-orientale della Puglia è stata riconosciuta una delle più estese ed evidenti tracce di impatto di *tsunami*. Presso Torre Sant'Emiliano, a sud di Otranto, è presente un accumulo di blocchi di dimensioni sino a circa 70 tonnellate (*Fig.* 5b) per una lunghezza di circa 1.5 km disposti a formare una berma di morfologia complessa che raggiunge la quota massima di circa 11 m s.l.m. (*Fig.* 5a). L'articolazione della berma suggerisce che essa sia stata accumulata da due successive onde che in rapida sequenza avrebbero impattato lungo costa provenendo da SSE. Dati geocronologici confermati da dati archeologici suggeriscono un accumulo manifestatosi circa 300 anni fa. I cataloghi disponibili indicano il sisma del 20 febbraio 1743 quale più probabile evento responsabile della genesi di uno *tsunami*. Esso avrebbe interessato tutta la costa orientale della Puglia meridionale dal Capo di Santa Maria di Leuca almeno sino a Brindisi come testimoniato dalle descrizioni dei movimenti del mare e dell'estensione dell'inondazione registrata quel giorno nel porto di Brindisi (Mastronuzzi *et al*., 2007).



Figura 3 – Vista panoramica dei ventagli di rotta di Foce Cauto (a) e di C. La Torre (b) insieme alla crescita urbana lungo la barriera sabbiosa costiera (da Gianfreda et al.*, 2001)*

La costa della Sicilia Orientale è quella che per conformazione degli ambienti costieri e per esposizione alle aree sismogeniche e tsunamogeniche del mare Ionio ha restituito la maggior quantità di evidenze dell'impatto di *tsunami*. Grandi quantità di blocchi distribuiti da Augusta sino a Capo Passero sono stati attribuiti tanto all'impatto di *tsunami* quanto all'impatto di mareggiate estremamente potenti (p.es.: Scicchitano *et al.*, 2007; Barbano *et al.*, 2010).

Le aree umide costiere della Sicilia sud-orientale, inoltre, costituiscono delle ottime "trappole" sedimentarie; in queste e nelle aree di piattaforma continentale ad esse adiacenti studi condotti dall'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) hanno permesso di riconoscere livelli di depositi schiettamente marini intercalati nella normale sedimentazione degli ambienti umidi costieri così come hanno permesso di individuare livelli anomali, con caratteri di deposizione energetica, intercalati nei depositi di piattaforma *off-shore*. L'area forse maggiormente significativa è quella di Pantano Morghella, subito a nord di Capo Passero. Sondaggi qui terebrati hanno restituito evidenze di deposizione di almeno due profonde inondazioni conseguenti alla penetrazione di *tsunami* nell'entroterra avvenute sulla costa ionica della Sicilia (Gerardi *et al.*, 2012). Essi, sotto forma di due livelli sabbiosi, hanno contenuti in macrofauna e foraminiferi che passano da ambiente di transizione ad ambiente di mare aperto; superfici erosive, clasti

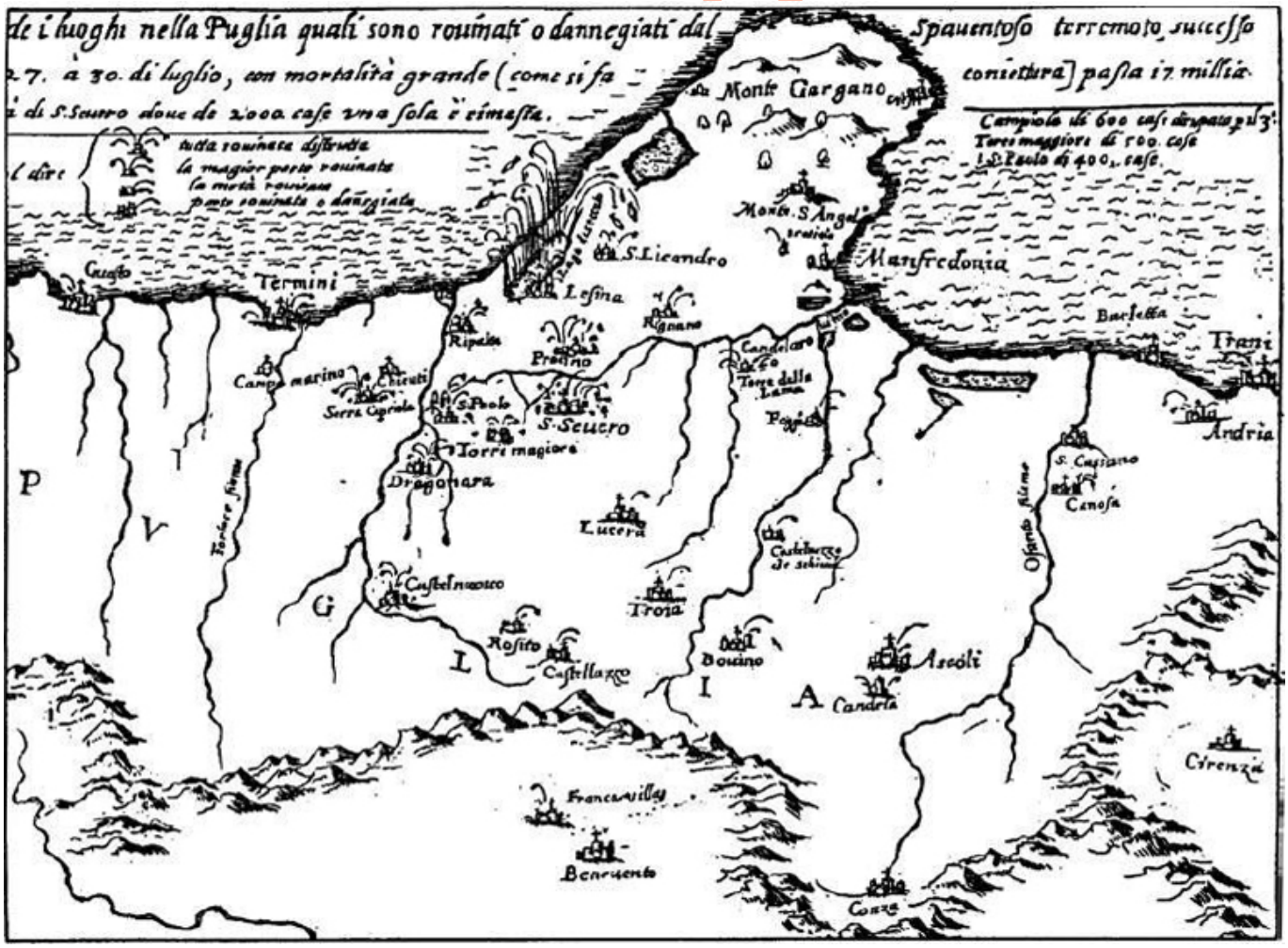


Figura 4 – Gli effetti del forte terremoto e dello tsunami *del 30 luglio 1627 in una litografia di Greuter*



Figura 5 – a) blocco di circa 70 tonnellate presente presso la località di Torre Sant'Emiliano; b) vista panoramica della berma di blocchi di Torre Sant'Emiliano

ed elementi sgretolati testimoniano meccanismi di deposizione violenta. Lo spessore dei depositi è relativamente costante attraverso le zone deposizionali con rastremazione nelle culminazioni distali; grandi estensioni di lamine di sabbia nell'entroterra indicano una deposizione veloce (*Figg.* 6 e 7). Comparando i risultati delle datazioni al carbonio e datazioni OSL con i cataloghi degli *tsunami*, sembra che i due depositi sabbiosi anomali siano attribuibili allo *tsunami* di Creta del 365 d.C. e, probabilmente allo *tsunami* del 1908

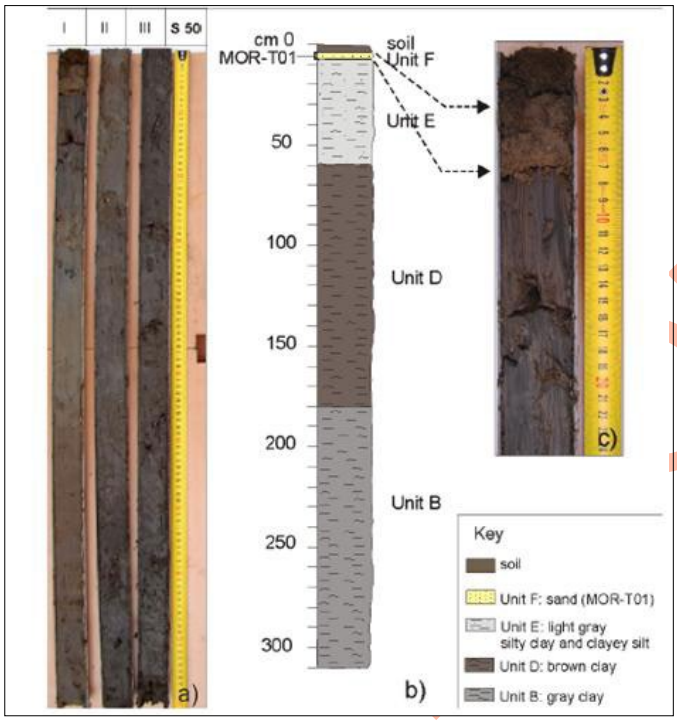


Figura 6 – a) Sondaggio S50 terebrato presso Pantano Morghella (scala in cm); i numeri romani indicano 1 m di carota dal top; b) log stratigrafico del sondaggio S50; c) carotaggio da 0 a 24 cm di profondità (da Gerardi et al.*, 2012)*

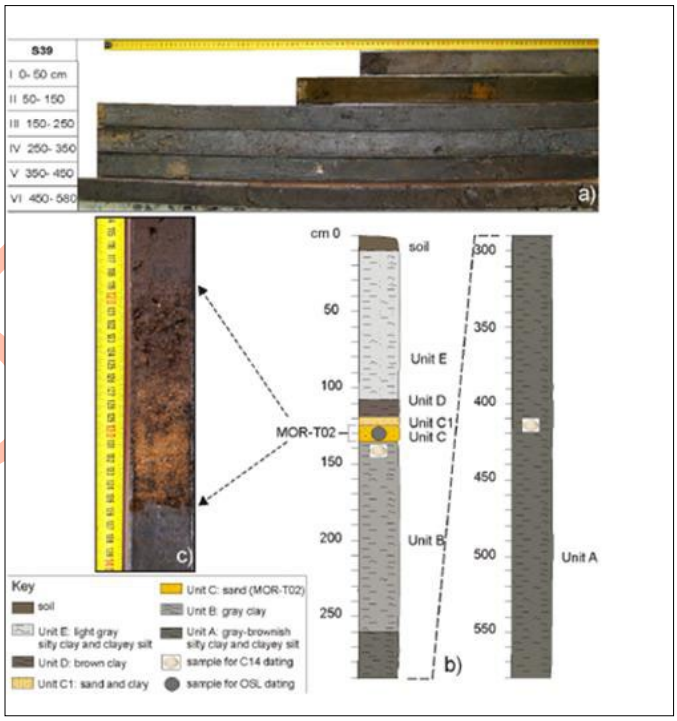


Figura 7 – a) Sondaggio S39 terebrato a Pantano Morghella (scala in cm); I numeri romani inidcano 1 m di carota dal top; b) log stratigrafico del sondaggio S39; c) carotaggio da 1.14 m a 1.40 m di profondità; si notano rip-up clasts nel livello sabbioso (da Gerardi et al.*, 2012)*

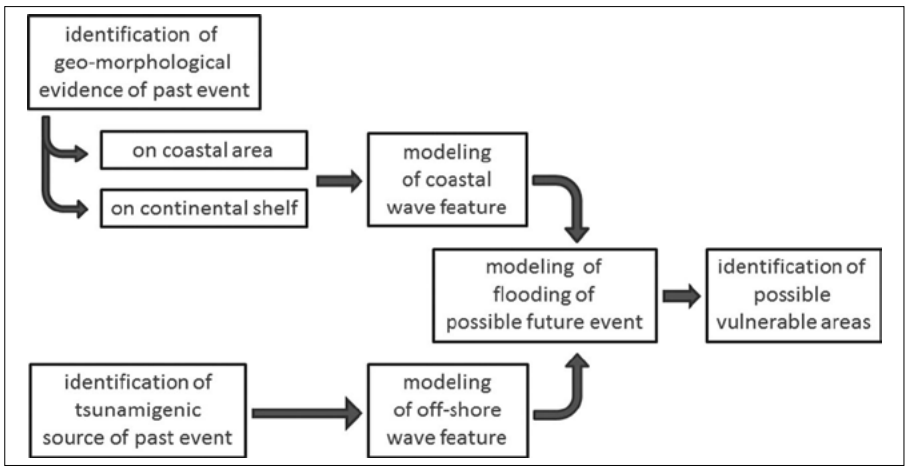


Figura 8 – Diagramma di flusso delle operazioni da considerare per valutare la vulnerabilità rispetto alla possibile manifestazione di uno tsunami *(Mastronuzzi* et al.*, 2013)*

generato nello Stretto di Messina (Gerardi *et al.*, 2012). Lo studio multidisciplinare di carote terebrate *off-shore* di Augusta ha messo in evidenza più livelli anomali caratterizzati dalla presenza di foraminiferi bentonici e da una granulometria maggiore rispetto a quelli in cui sono intercalati. L'ipotesi che possano essere testimonianze dell'impatto di *tsunami* è confortata da datazioni ^{14}C che suggeriscono si siano deposti con gli eventi del 365 a.C.e del 1169, del 1693 e del 1908 a.D. (De Martini *et al.*, 2010; Smedile *et al.*, 2011).

Infine è doveroso ricordare il più recente *tsunami* che abbia colpito le coste dell'Italia. Il 30 dicembre 2002 uno *tsunami* fu innescato dalla frana staccatasi lungo la Sciara del Fuoco sul

fianco nord-occidentale di Stromboli a seguito di una lunga crisi eruttiva (Chiocci *et al.*, 2008; Paparo *et al.*, 2017); le onde generate interessarono le coste di Stromboli per impattare sull'isola di Panarea in meno di 5 minuti per poi raggiungere la Calabria e la Sicilia settentrionale.

RISCHIO DA *TSUNAMI*

L'identificazione delle evidenze geologiche s.l. dell'impatto di *tsunami* e, di conseguenza, delle aree in cui essi sono impattati è di fondamentale importanza per riconoscere quali sono le aree più esposte al rischio legato a questi distruttivi fenomeni. La valutazione effettiva del rischio cui una certa area è esposta deriva dalla conoscenza di tre fattori che sono il valore del sito, la sua vulnerabilità e la sua pericolosità rispetto ad un certo fenomeno. Se la definizione del valore esula da studi che siano strettamente "geologici", d'altronde la definizione di vulnerabilità – nel caso degli *tsunami* coincidente con la porzione di territorio interessata direttamente da un evento – e di pericolosità – la probabilità che un evento si manifesti – derivano da una diretta conoscenza del territorio e delle sue caratteristiche geologiche e geomorfologiche. Lo studio delle evidenze dell'impatto di uno *tsunami* permette di definire tanto la possibilità che un'area costiera sia esposta a questi fenomeni, sia quanta parte di essa possa essere inondata (p.es.: Pignatelli *et al.*, 2009; Scicchitano *et al.*, 2012). D'altronde riconoscere che un'area è stata colpita in un certo intervallo di tempo da più eventi contribuisce a definire la probabilità che in futuro essa possa essere colpita di nuovo, pur nella consapevolezza che tali fenomeni per genesi e propagazione, sfuggono a qualsiasi prevedibilità e quindi a qualsiasi ipotesi di individuazione dei tempi di ritorno. Si potrà pertanto parlare di scenari possibili e non di previsioni.

La consapevolezza che una certa area è stata colpita nel passato da uno *tsunami* permette di costruire scenari di propagazione delle onde con un approccio deterministico più che probabilistico (Mastronuzzi *et al.*, 2013) (*Fig.* 8).

Conoscere le caratteristiche di inondazione e dei sedimenti accumulati può permettere di modellizzare le onde impattanti e definire le aree di provenienza dello *tsunami* e anche la sua genesi. Tali conoscenze rappresentano la base per una possibile mitigazione del rischio da *tsunami*. Infatti, per aree costiere quali quelle del bacino del Mar Mediterraneo, conoscere con dettaglio le aree che hanno per loro caratteristiche geologiche e geomorfologiche la possibilità di generare uno *tsunami*, significa poter stimare scenari di propagazione delle onde anomale e quindi i loro possibili tempi di arrivo sulla fascia costiera. Il ricordo, recente, dei tempi che sono stati necessari alle onde generate dalla frana della Sciara del Fuoco nel 2002 per raggiungere le isole più prossime o il continente, rafforza la consapevolezza che i tempi di preallarme sarebbero estremamente ridotti tanto da inficiare interventi che non siano quelli messi in atto dalla popolazione, istruita e sensibile, di allontanamento veloce dalle aree inondabili.

Per identificare e conoscere le aree esposte a vulnerabilità e pericolosità da *tsunami*, occorre in primo luogo conoscere le aree colpite nel passato e la frequenza con la quale esse lo sono state. Pertanto, i dati riferiti alle evidenze geologiche del loro impatto sono stati raccolti in formato testuale e implementati in un Sistema Informativo Geografico (GIS). Tutti i dati sono stati esportati in formato *kmz* e visualizzati in *Google Earth* unitamente alle informazioni relative alla bibliografia, alla data ed ora di manifestazione, alla validità dell'evento, alla magnitudo primaria, al nome dell'ubicazione (*Fig.* 1) secondo una metodologia messa a punto in Fago *et al.* (2014). In *Tab.* 1 sono riportati i maggiori eventi di *tsunami* che hanno evidenze geologiche s.l. riconosciute in Sicilia e in Puglia.

All'incirca 900 fonti bibliografiche (incluse cronache contemporanee, cataloghi, rapporti storici, libri, articoli, monografie specifiche e articoli scientifici) supportano gli *tsunami* in-

Tabella 1 – Tabella dei principali tsunami **della Puglia e della Sicilia che presentano evidenze geologiche/geomorfologiche**

Località	Anno	Mese	Giorno	Evidenza geologica/ geomorfologica	Riferimenti
Puglia-Gargano-Foce S. Andrea	736 a.C.	-	-	Ventaglio di rotta	Gianfreda *et al.*, 2001; Mastronuzzi & Sansò, 2012
Sicilia Orientale	17 d.C.	-	-	Depositi sabbiosi anomali	De Martini *et al.*, 2012
Puglia-Gargano-Foce Cauto	493 d.C.	-	-	Ventaglio di rotta	Gianfreda *et al.*, 2001; Mastronuzzi & Sansò, 2012
Sicilia Orientale	1169 d.C.	Febbraio	4	Accumulo di blocchi	Scicchitano *et al.*, 2007
Puglia-Punta Prosciutto; Torre Squillace; Torre San Giovanni	1456 d.C. ?	Dicembre	5	Accumulo di blocchi	Mastronuzzi & Sansò, 2000
Sicilia Orientale	1542 d.C.	-	-	Depositi sabbiosi anomali	De Martini *et al.*, 2012
Puglia-Gargano-Casino La Torre	1627 d.C.	Luglio	30	Ventaglio di rotta	Gianfreda *et al.*, 2001; Mastronuzzi & Sansò, 2012
Puglia-Costa brindisina-Torre Santa Sabina	1667 d. C.	Aprile	6	Accumulo di blocchi	Mastronuzzi & Sansò, 2004
Sicilia Orientale	1693 d.C.	Gennaio	11	Accumulo di blocchi	Scicchitano *et al.*, 2007; De Martini *et al.*, 2010; 2012
Puglia-Salento Sud-Orientale	1743 d.C.	Febbraio	20	Accumulo di blocchi	Mastronuzzi *et al.*, 2007
Calabria e Sicilia Orientale	1783 d.C.	Febbraio	5	Depositi sabbiosi anomali	De Martini *et al.*, 2012
Puglia-Taranto-Punta Saguerra	1836 d.C.	Aprile	4	Accumulo di blocchi	Mastronuzzi & Pignatelli 2012;
Calabria e Sicilia-Stretto di Messina	1908 d.C.	Dicembre	28	Depositi sabbiosi anomali	Gerardi *et al.*, 2012; Scicchitano *et al.*, 2007

seriti in questo lavoro e molti hanno un alto livello di affidabilità (3-4), che indica la buona qualità delle informazioni disponibili.

La banca dati così realizzata rappresenta uno strumento conoscitivo utile per pianificare una mitigazione del rischio basata da una parte, sulla presenza di sensori di preallarme e di allarme in tempo reale, di vie di fuga e di aree di raccolta, e dall'altra da campagne di educazione ambientale rivolte alla popolazione locale al fine di renderla sensibile e preparata ad una immediata e proporzionata reazione alla diffusione dell'allarme *tsunami* da parte degli organi preposti.

REFERENCES

Anzidei M., Antonioli F., Furlani S., Lambeck K., Mastronuzzi G., Serpelloni E., Vannucci G. (2014), *Coastal structure, sea level changes and vertical motion of the land in the Mediterranean*. Martini, I.P. & Wanless, H. R. (eds) Sedimentary Coastal Zones from High to Low Latitudes: Similarities and Differences. Geological Society, London, Special Publications, 388 (1):453.

Barbano M. S., Pirrotta C., Gerardi F. (2010), *Large boulders along the south-eastern Ionian coast of Sicily: storm or tsunami deposits?*. Marine Geology, 275, 140-154.

Chiocci F.L., Romagnoli C., Bosman A. (2008), *Morphologic resilience and depositional processes due to the rapid evolution of the submerged Sciara del Fuoco (Stromboli Island) after the December 2002 submarine slide and tsunami*. Geomorphology, 100, 356-365.

Cita M. B., Aloisi G. (2000), *Deep-sea tsunami deposits triggered by the explosion of Santorini (3500y BP), Eastern Mediterranean*. Sedimentary Geology, 135, 181-203.

De Martini P. M., Barbano M. S., Pantosti D., Smedile A., Pirrotta C., Del Carlo P., Pinzi S. (2012), *Geological evidence for paleotsunamis along eastern Sicily (Italy): an overview*. Natural Hazards and Earth System Science, 12, 2569-2580.

De Martini P. M., Barbano M. S., Smedile A., Gerardi F., Pantosti D., Del Carlo P., Pirrotta C. (2010), *A unique 4000 yrs long geological record of multiple tsunami inundations in the Augusta Bay (eastern Sicily, Italy)*. Marine Geology, 276, 42-57.

De Martini P.M., Burrato P., Pantosti D., Maramai A., Graziani L., Abramson H. (2003), *Identification of tsunami deposits and liquefaction features in the Gargano area (Italy): Paleoseismological implication*. Annals of Geophysics, 46, 883-902.

Fago P., Pignatelli C., Piscitelli A., Milella M., Venerito M., Sansò P., Mastronuzzi G. (2014), *WebGIS for Italian tsunami: A useful tool for coastal planners*. Marine Geology 355, 369-376.

Gerardi F., Smedile A., Pirrotta C., Barbano M. S., De Martini P. M., Pinzi S., Gueli A. M., Ristuccia G. M., Stella G., Troja S. O. (2012), *Geological record of tsunami inundations in Pantano Morghella (south-eastern Sicily) both from near and far-field sources*. Natural Hazards and Earth System Science, 12, 1185-1200.

Gianfreda F., Mastronuzzi G., Sansò P. (2001), *Impact of historical tsunamis on a sandy coastal barrier: an example from the northern Gargano coast, southern Italy*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 1, 213-219.

Guidoboni E., Comastri A. (2007), *Catalogue of Earthquakes and Tsunami in the Mediterranean Area from the 11th to the 15th Century*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Bologna.

ICMMG - Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics (2012), *On-line catalogs*. http://tsun.sscc.ru/On_line_Cat.htm.

ISC - *On-line Bulletin. International Seismological Center*, Thatcham, (2001) http://www.isc.ac.uk/Bull (accessed 28 March 2013).

ITIC - International Tsunami Information Center (2012), *Tsunami Database*. http://ioc3.unesco.org/itic/categories.php?category_no=72.

Kelletat D., Schellmann G. (2002), *Tsunamis on Cyprus: field evidences and 14C dating results*. Zeitschrift für Geomorphologie, N.F., 46, 19-34.

Mastronuzzi G. (2010), *Tsunami In Mediterranean Sea*. The Egyptian Journal Of Environmental Change, 2,1, 1-17.

Mastronuzzi G., Brückner H., De Martini P.M., Regnauld H. (2013), *Tsunami: from the open sea to the coastal zone and beyond*. In: Mambretti, S. (Ed.), Tsunami. From Fundamentals to Damage Mitigation. WIT Press, Southampton, 65, 1-36.

Mastronuzzi G., Calcagnile L., Pignatelli C., Quarta G., Stamatopoulos L., Venisti N. (2014), *Late Holocene tsunamogenic coseismic uplift in Kerkyra Island, Greece*. Quaternary International, 332, 48-60.

Mastronuzzi G., Pignatelli C. (2012), *The boulders berm of Punta Saguerra (Taranto, Italy): a morphological-imprint of 4th April, 1836 Rossano Calabro tsunami?* Earth Planets Space, 64, 829-842.

Mastronuzzi G., Pignatelli C., Sansò P., Selleri G. (2007), *Boulder accumulations produced by the 20th February 1743 tsunami along the coast of southeastern Salento (Apulia region, Italy)*. Marine Geology, 242 (1), 191-205.

Mastronuzzi G., Sansò P. (2000), *Boulders transport by catastrophic waves along the Ionian coast of Apulia (Southern Italy)*. Marine Geology, 170, 93-103.

Mastronuzzi G., Sansò P. (2004), *Large Boulder Accumulations by Extreme Waves along the Adriatic Coast of southern Apulia (Italy)*. Quaternary International, 120, 173-184.

Mastronuzzi G., Sansò P. (2006), *Coastal geomorphology and tsunami vulnerability. The case-study of Apulia region (Italy)*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 29, 83-91.

Mastronuzzi G., Sansò P. (2012), *The role of large earthquakes and tsunami in the Late Holocene evolution of Fortore River coastal plain (Apulia, Italy): a synthesis*. Geomorphology, 138, 89-99.

Monaco C., Tortorici L. (2007), *Active faulting and related tsunami in Eastern Sicily and South-Western Calabria*. Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata 48 (2),163-184.

NGDC - National Geophysical Data Center (2012), *Tsunami data at NGDC*. http://www.ngdc.noaa.gov/hazard/tsu_db.shtml.

Paparo M.A., Armigliato A., Pagnoni G, Zanibon. F., Tinti S. (2017), *Earthquake-triggered landslides along the Hyblean-Malta Escarpment (off Augusta, eastern Sicily, Italy) – assessment of the related tsunamigenic potential.* Advances in Geosciences, 44, 1-8.

Piccardi L. (2005), *Paleoseismic evidence of legendary earthquakes: the apparition of Archangel Michael at Monte Sant'Angelo (Italy)*. Tectonophysics 408, 113-128.

Pignatelli C., Sansò P., Mastronuzzi G. (2009), *Evaluation of tsunami flooding using geomorphologic evidence*. Marine Geology, 260, 6-18.

Pirazzoli P. A., Stiros S. C., Arnold M., Laborel J., Laborel-Deguen F. (1999), *Late Holocene coseismic vertical displacements and tsunami deposits near Kynos, Gulf of Euboea, Central Greece*. Physics and Chemistry of the Earth, 24, 361-367.

Ridente D., Fracassi U., Di Bucci D., Trincardi F.,Valensise G. (2008), *Middle Pleistocene to Holocene activity of the Gondola fault zone (Southern Adriaticforeland): deformation of a regional shear zone and seismotectonic implications*. In: Caputo R., Pavlides S(Eds). Earthquakes Geology: methods and application. Tectonophysics, 453, 110-121.

Scheffers A., Kelletat D., Vött A., May S.M., Scheffers S. (2008), *Late Holocene tsunami traces on the western and southern coastlines of the Peloponnesus (Greece)*. Earth Planetary Science Letters, 269, 271-279.

Scicchitano G., Monaco C., Tortorici L. (2007), *Large boulder deposits by tsunami waves along the Ionian coast of south-eastern Sicily (Italy)*. Marine Geology, 238(1-4), 75-91.

Scicchitano G., Pignatelli C., Spampinato C.R., Piscitelli A., Milella M., Monaco C, Mastronuzzi G. (2012), *Terrestrial Laser Scanner techniques in the assessment of tsunami impact on the Maddalena Peninsula (south-eastern Sicily, Italy)*. Earth Planets Space, 64, 10. 889-903.

Serpelloni E., Vannucci G., Pondrelli S., Argnani A., Casula G., Anzidei M., Baldi P., Gasperini P. (2007), *Kinematics of the Western Africa-Eurasia plate boundary from focal mechanisms and GPS data*. Geophysical Journal International, 169, 1180-1200.

Shiki T., Tachibana T., Fujiwara O., Goto K., Nanayama F., Yamazaki T. (2008), *Characteristic Features of tsunamiites*. In: Shiki, T., Tsuji, Y., Yamasaki,T. & Minoura, K. (eds) *Tsunamiites. Features and Implications*. Elsevier, New York, 319-340.

Smedile A., De Martini P.M., Pantosti D., Bellucci L., Del Carlo P., Gasperini L., Pirrotta C., Polonia A., Boschi E. (2011), *Possible tsunami signatures from an integrated study in the Augusta Bay offshore (Eastern Sicily – Italy)*. Marine Geology, 281, 1-13.

Soloviev S.L., Solovieva O.N., Go C.N., Kim K.S., Shchetnikov N.A. (2000), *Tsunami in the Mediterranean Sea 2000 B.C.-2000 A.D.* Advances in Natural and Technological Hazards Research, Kluwer Academic Publisher: Dordrecht.

Stiros S.C. (2010), *The 8.5+ magnitude, AD365 earthquake in Crete: Coastal uplift, topography changes, archaeological and historical signature*. Quaternary International, 216, 1-2, 54-63.

Tinti S., Maramai A. (1996), *Catalogue of tsunami generated in Italy and in Cote d'Azur, France: a step towards a unified catalogue of tsunami in Europe*. Annali di Geofisica, 39,1253-1299.

Tinti S., Maramai A., Graziani L. (2004), *The new catalogue of Italian tsunamis*. Natural Hazards, 33, 439-465.

Tinti S., Maramai A., Graziani L. (2007), *The Italian Tsunami Catalogue (ITC), Version 2*, available at: http://www.ingv.it/servizi-e-risorse/BD/catalogo-tsunami/catalogo-degli-tsunami-italiani (last access: September 2011).

United States Geological Survey National Earthquake Information Center (2012), Web Site URL: http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqsww/Quakes/us2009mdbi.php.

Whelan F., Kelletat D. (2002), *Geomorphic evidence and relative and absolute dating results for tsunami events on Cyprus*. Science of Tsunami Hazards, 20,3-18.

ANTEPRIMA

Mitigazione del rischio sismico e vulcanico nell'area Napoletana: un piano operativo per la messa in sicurezza di Ischia

Seismic and volcanic risk mitigation in the Neaples area: a safety operation plan for Ischia island

Giuseppe De Natale
Stefano Petrazzuoli
Claudia Troise
Renato Somma

Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Napoli
E-mail: giuseppe.denatale@ingv.it

Parole chiave (*key words*): Rischio sismico (*Seismic risk*), Ischia (*Ischia island*), mappa pericolosità (*hazard map*), messa in sicurezza (*safety plan*)

RIASSUNTO

La presenza di tre aree vulcaniche nel territorio Napoletano, in cui vivono circa 3 milioni di persone, lo caratterizza come l'area a più alto rischio al Mondo. Sebbene tale altissimo rischio sia dovuto principalmente ai possibili processi eruttivi, anche la componente di rischio sismico ha un impatto che non può essere sottovalutato. Quest'area risente infatti sia della sismicità locale legata all'attività vulcanica che ai forti terremoti dell'Appennino, un esempio calzante e drammatico dei quali è stato senz'altro il terremoto Irpino-Lucano del 1980 (M=6.9). Per quanto riguarda la sismicità di natura vulcanica, il caso più importante è certamente quello di Ischia. L'isola è infatti caratterizzata da una sismicità locale di natura vulcanica, legata al movimento differenziale dell'Epomeo, che storicamente ha prodotto spesso danni ingenti nell'area di Casamicciola, in particolare con il terremoto catastrofico del 1883. Questa sismicità locale, molto superficiale, spesso ripetitiva entro pochi anni o decenni, ed estremamente distruttiva, non è assolutamente considerata nelle mappe di pericolosità del territorio Nazionale. Questo lavoro indica come dev'essere modificata la normativa sismica in quest'area, e propone un piano operativo di messa in sicurezza del territorio che può costituire un modello da seguire a scala regionale e nazionale.

INTRODUZIONE

L'area Napoletana è caratterizzata da un altissimo rischio sismico e vulcanico (De Natale *et al.*, 2005; 2006). Sebbene il rischio vulcanico sia dominante, e la caratterizzi come l'area a più alto rischio al mondo, anche il rischio sismico in quest'area non può essere sottovalutato. Il rischio più noto al grande pubblico è certamente l'esposizione ai forti terremoti appenninici. Questo perché è ancora molto vivo, nella memoria collettiva, il ricordo del terremoto Irpino-Lucano del 1980 (M=6.9), che causò la distruzione pressoché totale di diversi centri abitati dell'Irpinia, nonché molti danni e spavento nell'intera Campania e nel Potentino. In realtà, il tratto Campano dell'Appennino ha prodotto in passato diversi terremoti catastrofici, localizzati, oltre che nel tratto Irpino-Lucano interessato dal 1980 (e dal terremoto spesso considerato 'gemello' del 1694, M=6.9), nell'alta Irpinia (terremoti del 1732, M=6.6; 1962, M=6.2), nel Vulture (1930, M=6.7) o nel Sannio (1688, M=6.9; 1702, M=6.3); per citare solo quelli più importanti e di magnitudo maggiore di 6. È vero però che anche la sismicità legata all'attività vulcanica, sebbene meno nota storicamente almeno nelle aree Vesuviana e Flegrea, non può essere sottovalutata. Per quanto riguarda l'area Flegrea, l'esperienza più importante, ed anche molto prossima temporalmente, è costituita dai terremoti che accompagnarono i grandi episodi bradisismici del 1982-1984 (De Natale et al., 2017). Ci furono, nel periodo 1983-1984, diversi terremoti di magnitudo maggiore di 3 (De Natale e Zollo, 1986) e, il 4 ottobre 1983, un terremoto di magnitudo 4.0 (Marturano ed al., 1988) che produsse danni non gravi (I_{max}(MCS) = VII) nonostante la bassa profondità (circa 3 km) ma che fu probabilmente, insieme al timore di un'eruzione, tra le ragioni principali che suggerirono l'evacuazione di Pozzuoli. Non vi sono comunque forti evidenze per considerare la magnitudo di questo evento come la massima attesa. Per quanto riguarda il Vesuvio, l'attività sismica legata ai fenomeni recenti (anche eruttivi, fino al 1944) non ha evidenziato magnitudo di particolare rilievo. Il terremoto di magnitudo più alta registrato con strumentazione moderna accadde il 9 Ottobre 1999 (M=3.6). Comunque, è oggi opinione diffusa tra i ricercatori che il terremoto del 62 DC, che danneggiò fortemente Pompei ed Ercolano, fosse in qualche modo legato all'attività vulcanica del Vesuvio, che entrò in eruzione nel 79 DC. Questo terremoto ebbe un'intensità massima stimata pari al IX grado, ed una magnitudo stimata di 5.8 (Guidoboni ed al., 2007). Ma la situazione più particolare e grave che riguarda il rischio sismico nell'area Napoletana è senz'altro quella di Ischia. L'isola d'Ischia è caratterizzata da un vulcanismo, legato a serbatoi magmatici molto superficiali (2-3 km), che causa anche la risorgenza del'Horst dell'Epomeo (Luongo ed al., 2006). I movimenti dell'Epomeo lungo le faglie che lo svincolano dal resto dell'isola generano in periodi particolari terremoti, localizzati sulle faglie bordiere di N-O sotto l'abitato di Casamicciola, estremamente distruttivi a causa della bassissima profondità (circa 2 km). In questo lavoro focalizzeremo l'attenzione sul problema della sismicità di Ischia. Questo non solo per l'impatto, anche sociale e mediatico, che ha avuto il recente terremoto del 21/8/2017; ma soprattutto perché la situazione di Ischia è emblematica di un problema più generale che si ritrova a scala regionale e nazionale, ma che qui è particolarmente evidente sebbene di più facile soluzione vista l'estensione molto limitata delle aree più esposte.

Il terremoto che ha colpito Casamicciola il 21/8/2017, infatti, riporta purtroppo alla ribalta un problema fondamentale, finora irrisolto, del nostro Paese: l'estrema vulnerabilità degli edifici storici e di contro la assoluta necessità di preservare il valore architettonico, storico e culturale di questi centri. Inoltre, esso ripropone, in maniera molto più chiara ed evidente, il problema dell'inadeguatezza delle mappe di pericolosità sismica del territorio Italiano in prossimità delle sorgenti sismogeniche (faglie), e l'assoluta necessità della messa in sicurezza del territorio, in particolare per quanto riguarda gli edifici in muratura. Il nostro lavoro, pertanto, dopo aver descritto le motivazioni per cui la messa in sicurezza

IN BOZZA

dell'isola da un punto di vista sismico risulta una urgente priorità nazionale, propone un progetto speditivo ed efficiente per la modifica della normativa sismica, qui assolutamente carente, e la messa in sicurezza degli edifici nelle zone più a rischio, rispetto ai terremoti massimi attesi.

LA SISMICITÀ DELL'ISOLA D'ISCHIA

L'isola d'Ischia è stata più volte colpita, in passato, da terremoti fortemente distruttivi, sebbene in un'area molto localizzata e ripetitiva. I terremoti storici dell'isola, come riportati da Lungo ed al. (2006) sono mostrati in *Tab.* 1.

Tabella 1 – Terremoti storici nell'isola d'Ischia (da Luongo *et al.*, 2006). Il terremoto del 1228 è da molti autori riportato invece come avvenuto nel 1275 (Guidoboni *et al.*, 2007)

Anno	Località	Imax (MCS)
1228	Casamicciola	IX-X
1302	Settore orientale dell'isola	VIII
1557	Campagnano	VII-VIII
1762	Casamicciola	VII
1767	Settore orientale dell'isola	VII-VIII
1796	Casamicciola	VIII
1828	Casamicciola	VIII-IX
1841	Casamicciola	VII
1863	Casamicciola	VII
1867	Casamicciola	VI-VII
1881	Casamicciola	IX
1883	Casamicciola	XI

La sismicità di Ischia, a parte un paio di eventi storici riportati come avvenuti nel settore orientale (localizzazioni molto dubbie), è quasi totalmente concentrata nell'area di Casamicciola. Per quanto ne sappiamo, essa è legata ai movimenti relativi dell'Epomeo, lungo le faglie che svincolano questa struttura dal resto dell'isola. I meccanismi di genesi di questi terremoti, verosimilmente uguali per tutti gli eventi del passato, sono stati ben evidenziati dal terremoto del 21/8/2017, l'unico evento distruttivo registrato da strumentazione moderna. La *Fig.* 1, in particolare, riporta un modello di faglia per il terremoto del 21/8/2017 ottenuto dall'inversione dei dati InSAR (INGV, Rapporto di sintesi preliminare sul terremoto dell'isola d'Ischia M4.0 del 21/8/2017). La faglia evidenziata, localizzata a mezza costa dell'Epomeo in corrispondenza di Casamicciola alta, entro 2 km di profondità, è probabilmente la stessa struttura (o parte di essa) che ha dato origine ai terremoti del passato, ed in particolare al terremoto del 1883 che rase al suolo Casamicciola causando più di 2400 vittime.

Nel caso dell'evento del 21/8/2017, un terremoto assolutamente modesto ha causato morti, feriti e la distruzione di gran parte degli edifici di Casamicciola alta. È utile per chiarire meglio il concetto fare qualche considerazione in più sulla magnitudo di questo evento: la magnitudo dichiarata da INGV nel suo secondo comunicato (la prima era di 3.6) è di 4.0 (magnitudo durata), ma probabilmente (nonostante le piccole differenze fisiologiche connaturate ai diversi metodi di calcolo) è stata maggiore. L'USGS USA e l'EMSC Europea hanno stimato una magnitudo di 4.3, calcolata (con un metodo chiamato magnitudo momento) con criteri omogenei per tutti i forti terremoti del Mondo; lo stesso INGV, nel suo Rapporto di Sintesi (già citato) al paragrafo 3.4.2 (https://ingvterremoti.files.wordpress.com/2017/09/rapporto-di-sintesi-sul-terremoto-6-settembre-2017_I.pdf), ha calcolato una magnitudo di 4.4 dai dati di deformazione superficiale. È importante notare che, siccome la magnitudo è legata al logaritmo dell'energia del terremoto, un evento di magnitudo 4.4 ha un'energia di circa 4 volte maggiore di uno di magnitudo 4.0. In ogni caso, anche considerando un valore di magnitudo 4.4, è comunque modesto, ed i danni sono stati ingenti a causa dell'estrema superficialità dell'evento. Il problema della messa in sicurezza del patrimonio edilizio nazionale, con particolare riferimento agli edifici storici o comunque datati e/o costruiti in muratura, è enorme. La sua soluzione, altamente auspicabile, ha verosimilmente costi molto alti, sebbene nel medio-lungo periodo tali costi debbano essere considerati un investimento sulla sicurezza del Paese e sul turismo. In ogni caso, mentre è necessario considerare, almeno nel medio-lungo termine, questo importante problema a scala regionale e nazionale, il problema di Ischia richiede necessariamente un'attenzione prioritaria e risolutiva in tempi brevissimi. Infatti, sebbene non sia possibile al momento predire l'evoluzione dei fenomeni sismici sull'isola, sappiamo che storicamente i forti eventi sismici a Casamicciola hanno quasi sempre avuto un effetto destabilizzante sul sistema, causando sismicità, anche di intensità maggiore degli eventi iniziali, per anni o addirittura decenni. Illuminante risulta, ad esempio, l'evoluzione della sismicità che ha fatto seguito all'evento sismico del 1828, che ebbe un'intensità massima del IX grado Mercalli, quindi leggermente più alta di quella stimata per l'evento del 21/8/2017; ci furono circa 30 morti. Nel 1841, 1863 e 1867, avvennero altri terremoti con intensità massime tra 5 e 7 (scala Mercalli); nel 1881 avvenne un terremoto di intensità IX, simile a quello del 1828, che causò circa 130 morti, poi nel 1883 il più forte, che chiuse la sequenza, che causò più di 2400 morti. Anche tra il 1762 ed il 1796 ci fu una sequenza simile di forti terremoti, sebbene di intensità minore, che causarono comunque danni ingenti ed alcuni morti. Le cronache riportano inoltre altre scosse nel

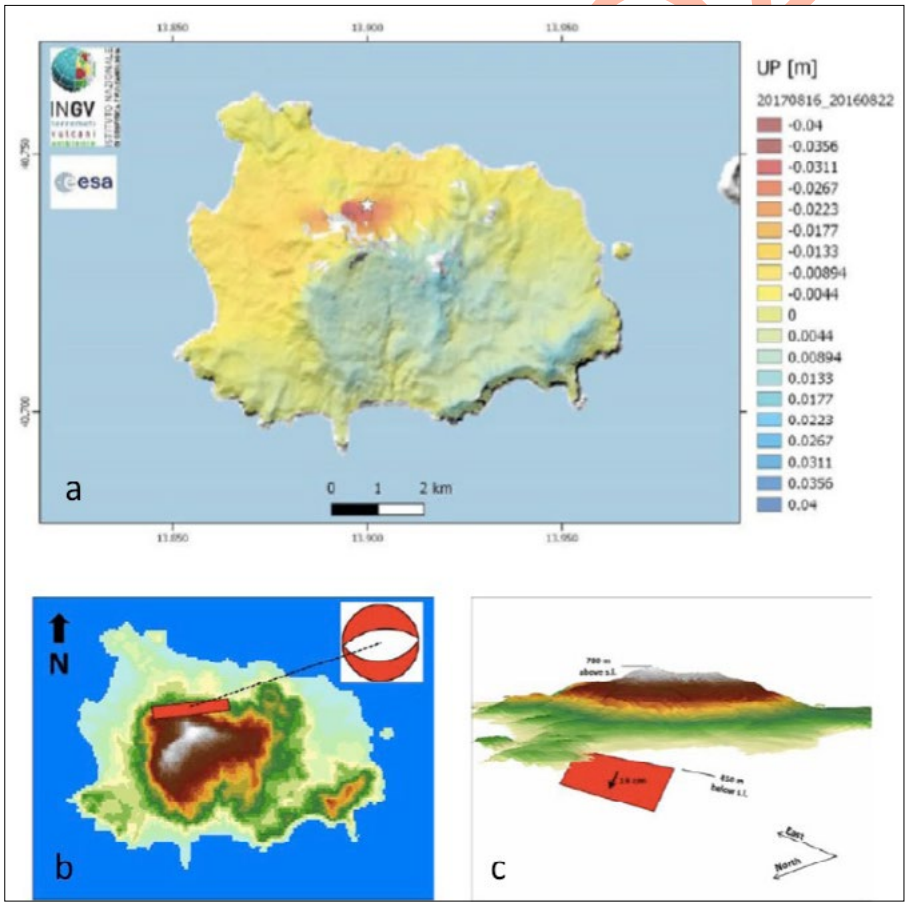


Figura 1 – a) Mappa degli spostamenti verticali calcolati dai dati InSAR; b) mappa di Ischia con la traccia di faglia ricavata dai dati InSAR; c) vista laterale della topografia di Ischia, con la faglia responsabile del terremoto del 21/8/2017 come ricavata dalla modellazione dei dati InSAR. Da INGV: Rapporto di sintesi preliminare sul terremoto dell'isola d'Ischia (Casamicciola) M4.0 del 21/8/2017

1622 (di dubbia interpretazione, e perciò non riportate in alcuni cataloghi) e nel 1557, con danni agli edifici. Nel 1275 avvenne il primo terremoto di cui abbiamo notizie storiche; ebbe un'intensità massima stimata tra l'VIII ed il IX grado Mercalli. È importante notare che, a parte il terremoto del 1275, che fu seguito 27 anni dopo dall'ultima eruzione di Ischia (1302), tutti gli altri terremoti non hanno avuto alcuna associazione con eruzioni vulcaniche.

Calcoli recenti, di tipo geofisico, sulla magnitudo massima possibile per i terremoti ad Ischia indicano l'evento del 1883 come l'esempio di terremoto più forte generabile rappresentato da una magnitudo di circa 5.5 (Luongo ed al., 2006). Questa stima e la stima di MCE (Maximum Credible Earthquake-Terremoto massimo credibile) secondo quanto descritto nel volume 'Difendersi dai Terremoti si può' di Panza e Peresan (2016), costituiscono un vincolo che, oltre l'evidenza storica, permette di considerare gli effetti del terremoto del 1883 come rappresentativi di quelli da cui difendersi per una efficace prevenzione.

Un'altra osservazione importante è quella relativa alla estrema costanza nel tempo della zona di genesi dei terremoti forti sull'isola. Tutti gli eventi menzionati, inclusi tutti gli eventi minori (magnitudo da negativa a 2.4) registrati dal 1993 (anno di installazione delle prime stazioni sismiche) ad oggi, risultano localizzati sotto Casamicciola, tra 1 e 2 km di profondità.

La localizzazione sotto Casamicciola riflette l'osservazione che questi terremoti sono associati alla dinamica del blocco risorgente dell'Epomeo, e si collocano lungo le faglie intorno a questa struttura, che la svincolano dal resto dell'isola consentendogli di muoversi in sollevamento ed in abbassamento. Da tutte le osservazioni della sismicità storica e recente, quindi, risulta che soltanto le faglie settentrionali intorno all'Epomeo, ossia quelle localizzate sotto l'abitato di Casamicciola, possono produrre forti terremoti (ed anche tutti quelli, di magnitudo anche molto bassa, che in tempi recenti abbiamo registrato sull'isola).

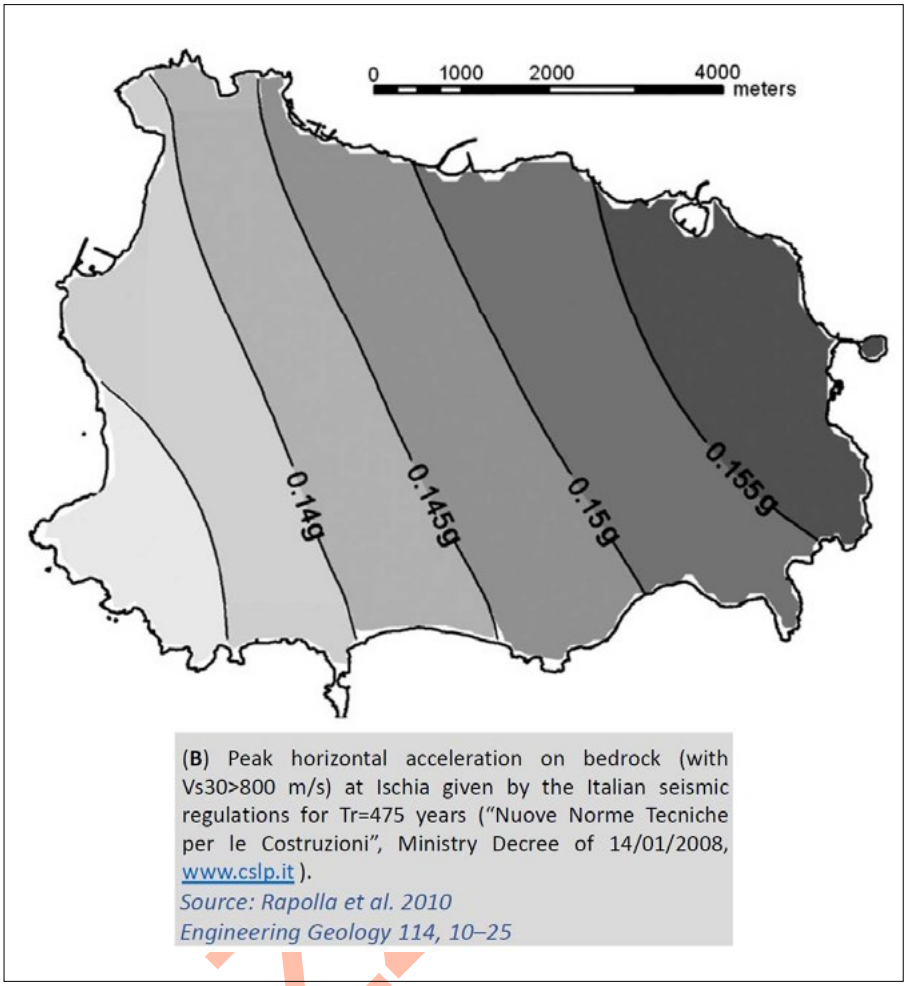


Figura 2 – Mappa di accelerazioni di riferimento sul territorio Ischitano (dalla Mappa di Pericolosità Sismica in Italia; si veda anche http://esse1-gis.mi.ingv.it). I valori rappresentano le accelerazioni su roccia, da utilizzare nell'attuale normativa sismica per la verifica sismica degli edifici (Rapolla, 2010)

LA MESSA IN SICUREZZA DEI CENTRI ABITATI: UNA NECESSITÀ ED UN MESSAGGIO FORTE ALLA NAZIONE ED AL TURISMO INTERNAZIONALE

Da quanto detto nel paragrafo precedente, si deduce facilmente che nuovi eventi sismici, anche considerevolmente più forti di quello del 21/8, non possono essere esclusi, e che la loro probabilità di accadimento non si estinguerà verosimilmente (come nelle usuali sequenze di 'repliche' dei forti terremoti) in pochi mesi, e neanche in pochi anni. Il rischio concreto di nuovi terremoti distruttivi resterà perciò alto nei prossimi mesi, nei prossimi anni e nei prossimi decenni. Si pone quindi il problema, urgentissimo, di tutelare la popolazione dell'isola da eventuali ulteriori disastri, possibilmente anche di dimensioni largamente maggiori di quanto accaduto recentemente. A questa motivazione, evidentissima e cruciale, se ne aggiunge però un'altra, di portata se vogliamo ancora più ampia.

L'isola d'Ischia rappresenta uno dei 'marchi' fondamentali del nostro Paese, che da sempre attrae il turismo internazionale. La tutela dell'immagine dell'isola rappresenta quindi un imperativo, per salvaguardare l'immagine e la credibilità stesse del nostro Paese. Questo, anche senza contare l'importanza economica del turismo sull'isola, sia a livello locale che nazionale.

Abbiamo quindi qui una chiara evidenza di un rischio sismico concreto ed altissimo, che pur interessando una popolazione molto limitata in numero, ed un territorio estremamente limitato, coinvolge fortemente l'immagine di uno dei simboli turistici più famosi del nostro Paese; ed in ultima analisi mette in gioco la credibilità e l'immagine di un'intera nazione.

Ecco perché, sebbene il problema del consolidamento e messa in sicurezza dei centri storici rappresenti un problema di dimensioni nazionali, qui ad Ischia la soluzione di questo problema è prioritaria; e può diventare nel contempo altamente simbolica e trainante per iniziare, da qui, una nuova politica di tutela del territorio nazionale. In tal modo, risolvendo efficacemente e rapidamente il problema della sicurezza sismica ad Ischia, si darà un messaggio forte ed alto a tutta la comunità internazionale, salvaguardando ed ulteriormente incoraggiando il turismo, sull'isola ed in tutta Italia.

VERSO UN PIANO OPERATIVO DI MESSA IN SICUREZZA: DALLO STUDIO DELLA SISMICITÀ STORICA AGLI EVENTI RECENTI

Da quanto esplicitato nel paragrafo precedente, emergono naturalmente alcune importanti considerazioni di tipo 'tecnico', fondamentali per un programma di consolidamento e messa in sicurezza degli edifici dell'isola:

1) la zona in cui i forti terremoti possono localizzarsi è limitata e ben definita;
2) gli effetti sui centri abitati sono da considerarsi ben rappresentati (o per lo meno utili come riferimento) da quanto accaduto nel passato, compreso il terremoto recente del 21/8/2017;
3) gli effetti massimi a cui gli edifici dell'isola devono resistere possono essere rappresentati, come minimo, da quelli evidenziati nel terremoto del 1883.

UNBOX

4) Le attuali normative sismiche per gli edifici sono assolutamente carenti (come si evidenzierà nel seguito), in quanto sottostimano fortemente le accelerazioni di riferimento (quelle da utilizzare per il calcolo della resistenza degli edifici), e devono essere sostituite con una nuova normativa, che consideri appunto almeno gli effetti prodotti dal terremoto del 1883.

Un piano di consolidamento e di messa in sicurezza del territorio di Ischia deve pertanto partire da un'attenta e dettagliata analisi della sismicità storica, facendo nel contempo tesoro dei dati acquisiti durante il terremoto recente del 21/8/2017. In ogni caso, i possibili scenari di danno sono fortemente vincolati dalle considerazioni da 1 a 3, che risultano dalle osservazioni passate e recenti, nonché da precise considerazioni sulla dinamica di quest'area. Va premesso che l'attuale normativa sismica sulle accelerazioni di riferimento per il calcolo degli edifici è assolutamente carente (vedi *Fig.* 2); la sua inadeguatezza non dipende soltanto dalle accelerazioni di riferimento troppo basse, ma soprattutto dal fatto che è chiaramente concepita prevedendo risentimenti provenienti da terremoti sul continente (per questo le accelerazioni sono massime sulla costa Est e minime sulla costa Ovest). I valori riportati in *Fig.* 2 sono quelli previsti (per l'accelerazione orizzontale; quella verticale è stimata come la metà) su terreni rocciosi; considerando anche l'amplificazione generata dai terreni superficiali (effetti di amplificazione locali), che per l'area di Casamicciola sono indicati con un fattore moltiplicativo di 1.2, l'accelerazione di riferimento (orizzontale) nel sito dell'Osservatorio di Casamicciola può essere calcolata come 0.18 g, (e quella verticale come 0.09 g). Le registrazioni accelerometriche del terremoto del 21/8/2017 alla stazione IOCA, localizzata appunto nell'Osservatorio di Casamicciola, riportano valori massimi orizzontali di circa 0.28 g, e valore massimo verticale di 0.18 g. Quindi, già questo terremoto ha generato, in questo sito, accelerazioni massime orizzontali maggiori di quelle di riferimento del 55%, e verticali maggiori del 101%. È chiaro quindi che i valori di riferimento per il calcolo degli edifici sono largamente sottostimati già rispetto alle accelerazioni massime prodotte da questo terremoto; non parliamo poi di un evento del tipo 1883, in cui le accelerazioni massime potrebbero superare, anche ampiamente, il valore di 0.5 g. Incidentalmente si osserva che stime di pericolosità basate sul metodo neo-deterministico (NDSHA) indicano per Ischia valori al basamento roccioso variabili tra 0.15 e 0.3 g (e.g. Panza e Peresan, 2016).

Bisogna quindi stabilire una nuova normativa sismica per il territorio Ischitano.

Una possibilità concreta, approssimata ma sicuramente valida e che permette tempi di messa in sicurezza molto brevi, è quella di considerare le isosiste del terremoto del 1883, le quali consentono di proporre una classificazione in tre aree (Rossa, Blu e Verde: quella viola, in aggiunta, rappresenta quella di quasi completo collasso nel terremoto del 21/8/2017) come quella mostrata in *Fig.* 3. Dai valori delle intensità macrosismiche riportate sulla mappa, è inoltre possibile, con formule empiriche ben consolidate (ad esempio Medvedev e Sponheuer, Proceedings of the 5th World Conference Earthquake Engineering, 1969, ma ne esistono altre molto pertinenti al territorio italiano), risalire ai valori di accelerazione. La *Fig.* 3 costituisce quindi la proposta di nuova normativa, che al contrario dell'attuale mappa di pericolosità contiene le informazioni relative alle sorgenti sismiche isolane di massima pericolosità, e comunque tutte le informazioni utili ad una classificazione sismica speditiva (poiché l'intensità macrosismica, calcolata dal danno, ingloba anche l'amplificazione locale dei terreni). Nella figura, la zona verde è racchiusa

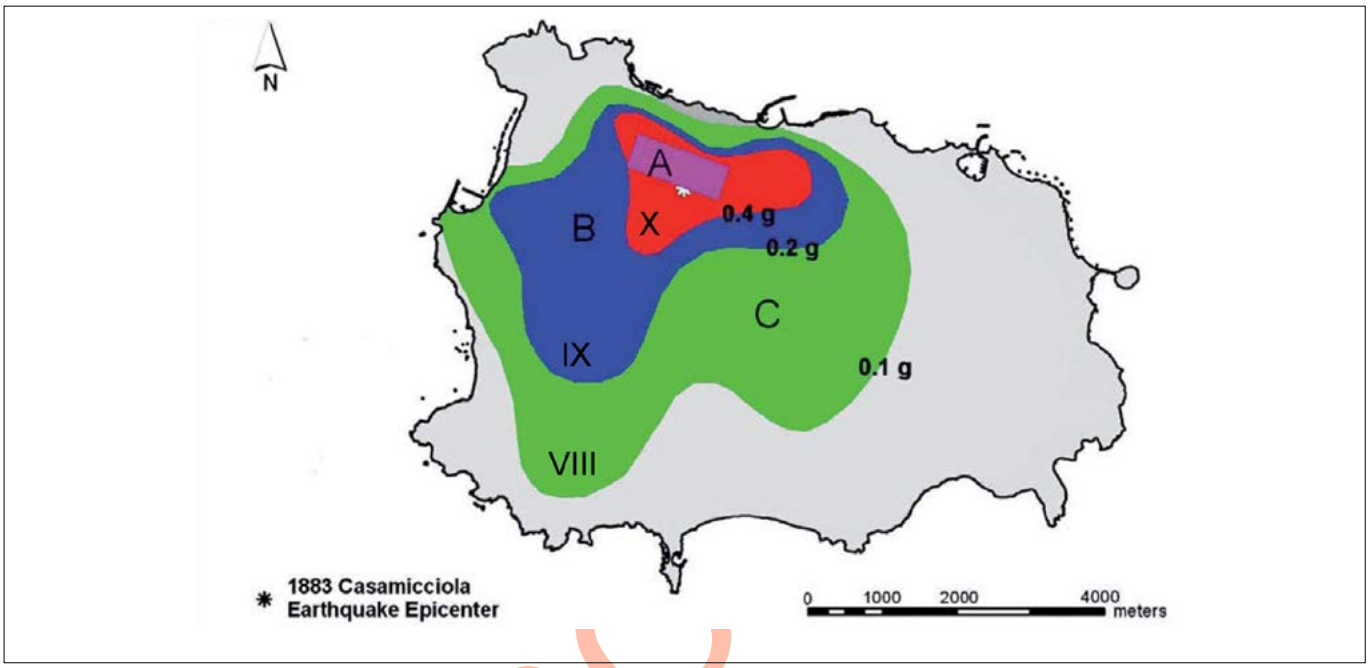


Figura 3 – Possibile zonazione sismica sulla base delle conoscenze attuali. I valori di accelerazione per ogni zona sono dati in funzione dell'accelerazione di gravità g. Le aree rosse e blu dovrebbero essere quelle in cui la messa a norma degli edifici è obbligatoria. La zona viola, in cui sono attese accelerazioni massime anche superiori a 0.5-0.7g, potrebbe essere riservata solo ad edifici di particolare resistenza sismica, con tecnologie particolari

Tabella 2 – Definizione delle classi di vulnerabilità: combinazione delle tipologie strutturali verticali ed orizzontali

STRUTTURE ORIZZONTALI	STRUTTURE VERTICALI			
	Muratura di qualità scadente	Muratura di qualità media	Muratura di qualità buona	Calcestruzzo armato
Sistemi a volte misti	A [B]	A [B]	A [B]	
Solai in legno con/senza catene	A [B]	A [B]	B [C1]	
Solai in putrelle con/senza catene	B [C1]	B [C1]	C1 [D1]	
Solai o solette in c.a.	B [C1]	C1 [D1]	C1 [D1]	C2
Edifici adeguati	C1	D1	D1	D2
Edifici nati antisismici	D1	D1	D1	D2

Nota: tra parentesi quadra è indicata la classe di attribuzione per gli edifici che hanno subito interventi di miglioramento/riattazione

dalla curva corrispondente all'intensità dell'VIII grado; la blu dal IX grado; la rossa dal X grado; la zona viola corrisponderebbe all'XI grado. Ovviamente tale classificazione può essere migliorata, sulla base di modelli teorici statistico-deterministici come quelli utilizzati da Zollo *et al.* (1997) o descritti nel volume 'Difendersi dai Terremoti si può' (Panza e Peresan, 2016). Il suggerimento forte, data la necessità di procedere con la massima velocità alla messa in sicurezza del patrimonio edilizio già esistente, è di partire con questa classificazione e parallelamente iniziare uno studio più approfondito, che definirà le mappe di pericolosità definitive e quindi le accelerazioni di riferimento da utilizzare per il calcolo degli edifici di nuova costruzione. A questo punto, definiamo una procedura operativa, logica, rapida e quanto più possibile efficace, per definire quali edifici consolidare ed il livello di consolidamento richiesto. A questo proposito, risulta utilissima la classificazione delle tipologie di vulnerabilità degli edifici in funzione delle caratteristiche costruttive. In *Tab.* 2 sono riportate le tipologie degli edifici (classificazione internazionalmente riconosciuta e coerente anche con le metodologie previste dalle norme per il sisma bonus 2017), mentre in *Tab.* 3 è riportato il grado di danneggiamento degli edifici in muratura di ciascuna tipologia in funzione dell'intensità macrosismica, e anch'essa coerente con le metodologie previste dalle norme per il Sisma Bonus (2017). I dati di *Tab.* 3 fanno riferimento alla scala I_{EMS98} che, anche se non strettamente pertinenti al territorio italiano dove è diffusa la scala I_{MCS}, sono ben calibrati, in quanto verificati statisticamente da tutti i maggiori terremoti del Mondo, e comunque considerare una struttura più fine non ha molto senso date le approssimazioni implicite nella conversione tra le varie scale di intensità macrosismica.

Dalla *Tab.* 3 si può evincere quindi, per ciascun livello di intensità, a partire da quale tipologia gli edifici in muratura risultano poco o nulla danneggiati.

Si nota facilmente che, in zone soggette ad intensità Mercalli di X grado, soltanto gli edifici di tipologia D risultano raramente soggetti a collasso (distruzione totale). Per il IX grado di intensità, risultano raramente soggetti a collasso gli edifici di categoria C; mentre con intensità dell'VIII grado anche gli edifici di tipologia B non collassano. Risulta quindi naturale fissare i criteri da raggiungere nella messa in sicurezza nelle aree delimitate dalle intensità di VIII, IX e X grado. La soluzione più semplice e anche più conservativa è che in tutte le aree non devono più essere ammessi edifici di tipologia A e B, mentre nell'area rossa delimitata dalla curva di intensità X non devono essere ammessi neanche edifici di tipologia C. Pertanto, nell'area delimitata dall'isosista X, il consolidamento deve mirare a portare tutti gli edifici almeno in tipologia D, mentre nelle aree delimitate dalle isosiste IX tutti gli edifici di tipologia A e B devono essere portati dal consolidamento almeno in categoria C. Inoltre, si deve rendere obbligatorio il consolidamento, con queste norme, nelle aree delimitate dalle isosiste IX e X, mentre nell'area delimitata dall'isosista VIII si può rendere l'obbligo effettivo solo per il consolidamento degli edifici della tipologia A, lasciando opzionale il consolidamento degli edifici di categoria B.

La procedura normativa proposta può essere quindi sintetizzata nei seguenti passi:

1) Adozione di una nuova mappa di pericolosità, basata sui danni effettivamente osservati per il terremoto massimo (1883) fino ad ora registrato (*Fig.* 3);
2) Verifiche di vulnerabilità nelle tre aree rossa, blu, verde, per la determinazione accurata delle tipologie di edifici esistenti, classificati nelle classi A, B,C,D;
3) Consolidamento obbligatorio degli edifici nelle aree rossa e blu, tale da renderli tutti almeno di tipologia D nell'area rossa, ed almeno di tipologia C nell'area blu;
4) Consolidamento obbligatorio degli edifici di tipologia A nella zona verde, rendendoli almeno di tipologia C; consolidamento opzionale degli edifici di tipologia B, con gli stessi incentivi per chi decide di farlo;
5) In area viola, si suggerisce l'interdizione per edifici normali, e la sperimentazione di costruzioni completamente antisismiche in base a criteri innovativi.

Per quanto riguarda il finanziamento dell'operazione di messa in sicurezza, si possono utilizzare i finanziamenti del sisma bonus, che dovrebbero però essere integralmente erogati a rimborso spese degli interventi (entro un anno al massimo), e per la quota restante a copertura del 100% di spesa integrati da ulteriori finanziamenti nazionali o regionali. Il valore approssimativo degli interventi può essere stimato complessivamente nell'ordine di 100 milioni di euro.

Parallelamente, dovrebbero partire analisi sismologiche teoriche mirate a determinare in forma statistico-deterministica, variando i parametri che descrivono le possibili evoluzioni della rottura sismica su di una faglia che rappresenti il terremoto massimo credibile (1883, M_{1883}+0,5), localizzata nella posizione della faglia del 21/8/2017, i possibili intervalli di variazione delle accelerazioni massime e degli spettri di risposta, in ogni punto dell'isola d'Ischia. Altre attività possono essere ulteriormente intraprese, tutte finalizzate all'ottimizzazione della mappa di pericolosità dell'isola e delle procedure per la verifica sismica, per i futuri nuovi edifici. Rilievi strutturali approfonditi e la messa a punto di metodologie numeriche avanzate possono essere ulteriormente sviluppati per le verifiche di vulnerabilità e la progettazione antisismica di nuovi edifici. Comunque, per gli edifici esistenti si dovrebbe procedere senz'altro come ipotizzato ai punti 1-5, data la necessità di prevedere tempi stretti e data la prevedibile efficacia della soluzione speditiva proposta.

Le azioni che possono essere intraprese, associate in un cronoprogramma indicativo, sono sintetizzate nella *Tab.* 4, dove le azioni assolutamente necessarie (punti 1-5) sono indicate in rosso. L'inizio delle attività di consolidamento degli edifici (punti 3 e 4) è posta in questo schema, indicativamente, al 4° mese, subito dopo la classificazione dettagliata

Tabella 3 – Livelli di danni osservati, nei forti terremoti mondiali, sugli edifici di varie tipologie

Danno	0 Nessuno	1 Lieve	2 Medio	3 Grave	4 Molto grave (crolli parziali)	5 Distruzione totale
Intensità EMS98						
VII			molti B, pochi C	molti A, pochi B	pochi A	
VIII			molti C, pochi D	molti B, pochi C	molti A, pochi B	alcuni A
IX			molti D, pochi E	molti C, pochi D	molti B, pochi C	molti A, pochi B
X			molti E, pochi F	molti D, pochi E	molti C, pochi D	la maggior parte di A, molti B, pochi C
XI			molti F	molti E, pochi F	la maggior parte di C, molti D, pochi E	quasi tutti gli A, la maggior parte di B, molti C, pochi D

INGV

Tabella 4 – Cronoprogramma indicativo delle principali attività ipotizzabili. In rosso le attività strettamente necessarie. L'inizio delle attività di consolidamento degli edifici è previsto in questo schema al quarto mese

	Tempo (mesi)			
Attività possibili	1	2	3	4
Decreto governativo				
Studi sismologici				
Analisi geologiche/geotecniche				
Rilievi di vulnerabilità				
Analisi architettoniche				
Approfondimento analisi strutturali				
Regolamento per gli interventi				

delle tipologie di edifici nelle aree a maggior rischio (Rilievi di vulnerabilità).

CONCLUSIONI

I problemi posti dal recente terremoto di Ischia rappresentano, ad una scala molto minore e per molti versi in maniera più marcata ed urgente, una sintesi delle problematiche poste dal rischio sismico in Italia. In particolare, è qui estremamente evidente il grande problema posto dalla vulnerabilità degli edifici antichi in muratura, molti dei quali rappresentano un patrimonio storico/architettonico tale che è difficilmente immaginabile sostituire con edifici moderni, magari rilocalizzati in zone più sicure. Il caso di Ischia rappresenta anche un caso estremo di sottovalutazione delle sorgenti sismiche locali nell'elaborazione delle mappe ufficiali di pericolosità. Queste ultime, di conseguenza, sottostimano fortemente sia le accelerazioni di progetto da utilizzare nella verifica sismica delle strutture, sia la stessa distribuzione delle aree soggette alle accelerazioni più forti. Già il terremoto del 21/8/2017 ha prodotto accelerazioni quasi doppie rispetto a quelle considerate dalla normativa, per cui è ipotizzabile che anche edifici costruiti perfettamente a norma potessero collassare. Inoltre, contrariamente a quanto si pensa nel caso dei forti terremoti tettonici italiani, ossia che lo scarico di sforzo tettonico sulle faglie sismogenetiche implichi tempi di ricarica (sostanzialmente scevri da forti terremoti) dell'ordine delle centinaia di anni, nel caso di Ischia si hanno molteplici evidenze storiche che l'accadimento di terremoti forti aumenti la probabilità che altri ne avvengano, anche più forti, entro tempi dell'ordine di anni o di qualche decennio. Infine, è importante notare che Ischia rappresenta un importante 'marchio' per il turismo internazionale, con importantissimi risvolti economici a livello locale, regionale ed anche nazionale. Tale 'immagine' risulta fortemente oscurato dal forte impatto nell'opinione pubblica delle drammatiche vicissitudini connesse all'evento del 21/8/2017, avvenuto tra l'altro nel pieno della stagione turistica. Tutte queste considerazioni rendono estremamente evidente quanto sia importante ed urgente, per la sicurezza della popolazione e per l'indotto economico rappresentato dal turismo, procedere speditamente ad un piano di completa ed efficace messa in sicurezza del territorio, che deve affiancare necessariamente l'opera di ricostruzione, facendo di questa isola un 'modello' positivo ed internazionalmente riconoscibile da esportare poi, con i dovuti tempi e modi, su scala nazionale per risolvere analoghi problemi. La piccola scala, intesa come dimensione fisica ed economica del problema ad Ischia, rapportata però all'estrema importanza ed urgenza, ne fa infatti un 'modello' ideale da sperimentare per una futura messa in sicurezza di tutto il territorio nazionale dal rischio sismico (e, auspicabilmente, da tutti i rischi naturali).

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano Giuliano Panza, Fabio Romanelli, Franco Vaccari, Antonella Peresan per aver letto criticamente il lavoro ed aver fornito importanti suggerimenti migliorativi.

BIBLIOGRAFIA

De Natale, G. and Zollo, A. (1986), *Statistical analysis and clustering features of the Phlegrean Fields earthquake sequence*, May '83-May '84. Bull. Seism. Soc. Am., 76, 801-814.

De Natale, G., Troise, C., Pingue, F., Mastrolorenzo, G., Pappalardo L. (2005), *The Somma-Vesuvius volcano (Southern Italy) : Structure, dynamics and hazard evaluation*, Earth Science Reviews.

De Natale, G., Troise, C., Pingue, F., Mastrolorenzo, G., Pappalardo, L., Boschi, E. (2006), *The Campi Flegrei Caldera: unrest mechanisms and hazards*. In Troise, C., De Natale, G.& Kilburn,, C. R. J. (eds), *Mechanisms of activity and unrest at large calderas*. Geological Society, London, Special Publication, 269, 25-45.

De Natale, G., Troise, C., Somma, R., Moretti, R. (2017), *Nella Caldera dei Campi Flegrei*. Le Scienze, Ed. L'Espresso, 585, 2017.

Guidoboni E., Ferrari G., Mariotti D., Comastri A., Tarabusi G., Valensise G. (2007), *CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B.C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C.-1500)*. INGV-SGA.

Luongo G., Carlino S., Cubellis E., Delizia I., Iannuzzi R., Obrizzo F. (2006), *Il terremoto di Casamicciola del 1883: una ricostruzione mancata*. Alfa Tipografia, Napoli 64 pp.

Marturano, A., Esposito, E., Porfido, S., Luongo, G. (1998), *Il terremoto del 4 Ottobre 1983 (Pozzuoli): attenuazione dell'intensità con la distanza e relazione Magnitudo-Intensità. Zonazione della città di Napoli*. Mem. Soc. Geol. It., 41, 941-948.

Panza, G. F., Peresan, A. (2016), *Difendersi dal terremoto si può: l'approccio neo-deterministico*. EPC Editore, 180 pp.

Zollo, A., Bobbio, A., Emolo, A., Herrero, A. e De Natale, G. (1997), *Modelling of ground acceleration in the near source range: the case of 1976, Friuli earthquake (M=6.5), northern Italy*. Journ. of Seismol., 1, 305-319, 1997.

I terremoti di Amatrice, Visso e Norcia del 2016-2017 nel contesto sismotettonico dell'Italia Centrale: stato delle conoscenze e problemi aperti

Alessandro Amato
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

Massimiliano Barchi
Università degli Studi di Perugia

Lauro Chiaraluce
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

The 2016-2017 Amatrice-Visso-Norcia earthquakes in the Central Italy seismotectonics framework: state of the art and open issues

Parole chiave (*key words*): terremoto (*earthquake*), faglia diretta (*normal fault*), rete sismica (*seismic network*), sequenza sismica (*seismic sequence*), Italia Centrale (*Central Italy*)

1. INTRODUZIONE: FAGLIE E TERREMOTI

Oggi appare quasi banale parlare della relazione tra tettonica e terremoti, ma in realtà questa relazione è stata stabilita in modo chiaro solo in tempi relativamente recenti. Infatti, l'idea che il terremoto rappresenti l'effetto della rottura lungo un piano di faglia viene enunciata in modo rigoroso, e supportata da dati sperimentali, solo dopo il terremoto di San Francisco del 1906, con la teoria del rimbalzo elastico (Reid, 1910). A scala globale, la relazione tra terremoti e tettonica trova conferma nella osservazione che la maggior parte della sismicità è distribuita lungo i limiti delle placche litosferiche. A scala locale, solo nell'ultima parte del XX secolo è stata dimostrata la relazione tra magnitudo di un terremoto e dimensioni della faglia attivata (Kanamori, 1983; Wells & Coppersmith, 1994).

Anche se dal punto di vista teorico la relazione tra faglie e terremoti è ben stabilita, associare il singolo terremoto ad una struttura tettonica ben definita rimane sempre un compito difficile, per varie ragioni: innanzitutto, i terremoti avvengono ad alcuni chilometri di profondità, mentre i geologi possono osservare direttamente le faglie solo in superficie; inoltre, le faglie studiate dai geologi rappresentano in genere l'effetto cumulato di molte centinaia di episodi di fagliazione, avvenuti in occasione di altrettanti terremoti.

Solo studi multidisciplinari, basati sulla raccolta, l'analisi critica e l'integrazione di dati diversi, sismologici, geofisici, geodetici e geologici, possono permettere di formulare delle ragionevoli ipotesi sulla sismotettonica, cioè sui rapporti tra faglie e terremoti.

2. SISMICITÀ PRECEDENTE IN ITALIA CENTRALE

2.1 Sismicità recente

Una lunga e complessa sequenza sismica ha colpito una vasta regione dell'Italia centrale a partire dalla notte del 24 agosto 2016, culminando nella scossa di Magnitudo 6.5 del 30 ottobre, che rappresenta il terremoto più forte registrato in Italia in tempi successivi al terremoto dell'Irpinia (1980). I dati sismologici (in particolare la distribuzione degli ipocentri e i meccanismi focali delle scosse principali) mostrano che la sequenza sismica del 2016-2017 ha attivato un sistema di faglie dirette (dette anche faglie normali) che si estende per oltre 60 km, con direzione NNW-SSE, da Visso ad Amatrice (Chiaraluce *et al.*, 2017).

Questi terremoti si inseriscono coerentemente nel quadro sismotettonico dell'Appennino centro-settentrionale. Infatti la sequenza sismica è dovuta alla rottura di un sistema di faglie dirette (estensionali), disposte in direzione parallela all'Appennino stesso, la cui genesi si lega al processo di estensione che interessa la penisola italiana, con un tasso di circa 3 millimetri all'anno, ormai ben vincolato dalle osservazioni delle reti geodetiche installate nella regione (si veda tra gli altri D'Agostino, 2014, Devoti *et al.*, 2017 e le referenze citate).

Faglie dello stesso tipo hanno prodotto i terremoti registrati nella regione negli ultimi 40 anni, con epicentri localizzati nelle zone di Norcia (1979), Gubbio (1984), Colfiorito-Gualdo Tadino (1997-98), l'Aquila (2009). Queste sequenze hanno avuto sviluppi temporali, magnitudo ed effetti piuttosto diversi, ma hanno anche molte caratteristiche comuni: in particolare, tutte le scosse principali (*main shocks*) sono legati alla rottura di faglie dirette con immersione verso WSW.

Se si guarda alla distribuzione in pianta di questi terremoti, si può notare che essi sono allineati lungo una fascia continua e pressoché rettilinea, disposta in direzione NNW-SSE, da Gubbio all'Aquila. Lungo la stessa fascia, in un arco di tempo assai più lungo, si concentra anche la sismicità storica della regione, che comprende terremoti avvenuti in zone simili o contigue rispetto a quelle dove si sono registrati i terremoti degli ultimi decenni, come la Valnerina e i monti a est di Foligno. Se si allarga lo sguardo all'intera penisola, si può notare che in realtà la fascia sismogenica sopradescritta è solo un segmento di una struttura assai più lunga, che si estende dalla Toscana settentrionale fino alla Calabria, lungo l'asse della catena appenninica.

2.2 Sismicità storica

Il settore dell'Appennino centrale interessato dalla sequenza del 2016-2017 è stato sede di importanti terremoti e sequenze sismiche nella storia antica e recente, come ben documentato nei cataloghi storici (Guidoboni *et al.*, 2007; Rovida *et al.*, 2016). I dati riportati nel Catalogo Parametrico CPTI15 (Rovida *et al.*, 2016) evidenziano la presenza di una fascia sismica principale che corre lungo la catena appenninica al confine tra Umbria e Marche, dove si localizza la maggior parte degli eventi maggiori. Parallelamente a questa fascia, si osserva un secondo settore più "interno" (a ovest) del primo, caratterizzato da una minore frequenza di epicentri. Verso est, si notano ancora degli eventi sismici, meno frequenti e generalmente meno intensi. Questa suddivisione in tre fasce della sismicità della catena appenninica centrale, puramente descrittiva, trova riscontro in buona parte con le conoscenze geologiche e i dati geodetici disponibili oggi. La fascia centrale rappresenta quella dove si concentra la maggior parte della deformazione attuale, caratterizzata da estensione perpendicolare all'asse della catena, come mostrato dai dati GPS (D'Agostino, 2014). Il settore interno (quello che passa per Perugia, Foligno, Spoleto, Rieti) è ancora ubicato nella fascia in estensione, ma possiede un minore potenziale sismico. Più comples-

In bozza

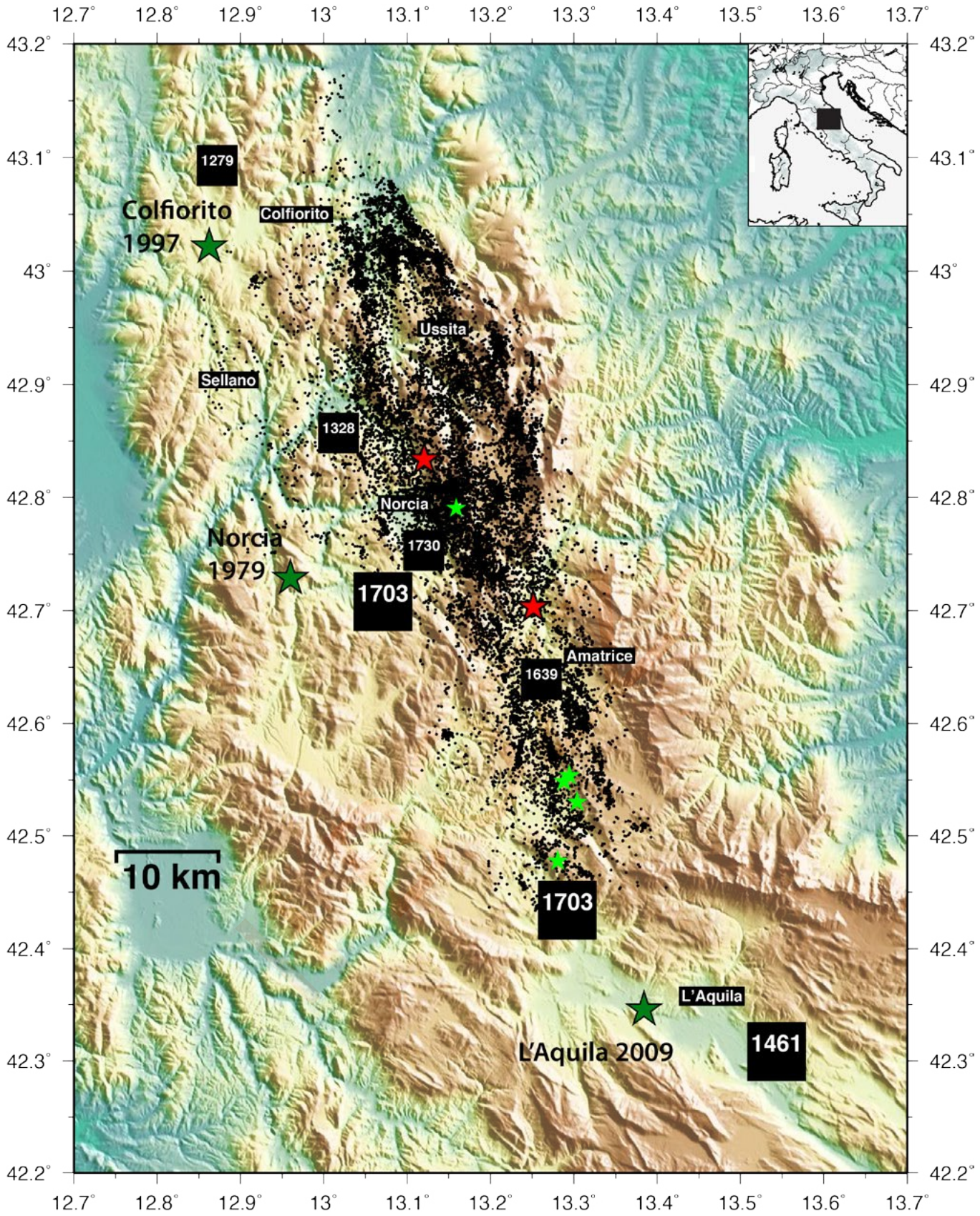


Figura 1 – Gli epicentri della sequenza sismica del 2016-2017 e quelli dei principali terremoti del catalogo storico CPTI15 (Rovida et al.*, 2016)*

sa è la situazione nel settore esterno, anche se i terremoti che avvengono lungo la costa Adriatica sono legati prevalentemente a un raccorciamento crostale (v. anche il successivo paragrafo 3.2).

Prima dell'Anno Mille, i dati riportati dal Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (Guidoboni *et al.*, 2007) indicano la presenza di alcuni sporadici eventi con effetti a Spoleto (nel 63 a.C.), Norcia (intorno al 99 a.C.) e uno ancora più antico in Italia centrale intorno al 436 a.C. Nel primo millennio, si ha notizia di un terremoto avvenuto nell'anno 801 d.C., durante il viaggio di Carlo Magno attraverso la regione, dopo la sua incoronazione a Roma. In tutti i casi elencati, si tratta di dati troppo sporadici per tentare un'attribuzione di ogni terremoto a una particolare faglia o sistema di faglie.

Nel catalogo CPTI15 (Rovida *et al.*, 2016), che riporta i terremoti a partire dall'anno 1000 D.C., i primi eventi importanti (con magnitudo stimata maggiore di 6) sono quelli del 1279 e del 1328 (*Fig.* 1). Per l'evento del 1279 è stato stimato un epicentro intorno a Serravalle del

Chienti - Nocera Umbra e una magnitudo di 6.2; per quello del 1328, di magnitudo stimata 6.5, l'epicentro macrosismico risulta posizionato circa 30 km più a sud, nella Val Nerina (tra Preci e Cerreto di Spoleto, pochi chilometri a nord di Norcia). La zona compresa tra le aree sorgente di questi due eventi è presumibilmente quella che venne interessata, molti secoli dopo, dai terremoti del 1997, di cui si parlerà più avanti (*Fig.* 1). Un altro evento di questo periodo che merita di essere ricordato è quello del 1298, di cui si conosce poco, ma che sembra avere prodotto danni importanti nella zona tra Rieti, Leonessa e Spoleto (la magnitudo stimata è 6.2).

Nei tre secoli successivi non sono riportati nel catalogo storici forti eventi in questa regione, pur essendo documentati terremoti di magnitudo stimata tra 5 e 6 in varie zone.

Nel 1639 un terremoto di magnitudo stimata 6.2 danneggia severamente Amatrice, Accumoli e altri comuni dell'odierno reatino, con un andamento piuttosto simile a quanto accaduto nel terremoto del 24 agosto 2016.

Il Settecento si apre con i due noti eventi distruttivi avvenuti tra gennaio e febbraio del 1703, in un'area prossima, ma non coincidente, a quella della sequenza del 2016. Il primo, avvenuto il 14 gennaio del 1703, interessa la zona a sud di Norcia, tra l'Umbria meridionale (Cascia, Civita e molte altre località, con effetti fino al 10° e 11° grado MCS) e il Reatino (Cittareale e Accumoli, 11° e 10° grado MCS, rispettivamente).

Questo terremoto, per il quale si stima una magnitudo pari a 6.9, venne seguito da un altro forte terremoto una ventina di giorni più tardi, il 2 febbraio, che devastò un'ampia area dell'aquilano e ancora del Reatino. I dati macrosismici suggeriscono che i due forti eventi del 1703 siano avvenuti su due faglie adiacenti lungo la direzione della catena appenninica. Le due aree sono ubicate subito a nord dei terremoti del 2009, che avrebbero quindi interessato una struttura differente, più meridionale.

Dopo altri eventi minori (p. es. nel 1719), un altro forte terremoto ha interessato la zona della Val Nerina nel 1730, con danni fino al nono grado MCS e una magnitudo stimata intorno a 6. Pochi anni più tardi, è la volta del settore più a nord: nel 1747 e nel 1751 due forti terremoti (magnitudo stimate 6.1 e 6.4, rispettivamente) danneggiano pesantemente la zona intorno a Gualdo Tadino.

Quasi nello stesso periodo anche il settore più esterno, cioè quello marchigiano, viene danneggiato da due forti terremoti, prima nel 1741 nella zona di Fabriano (magnitudo stimata 6.2), e poi nel 1781 a nord del precedente, intorno a Cagli (magnitudo stimata 6.5). Il Settecento si chiude con un ultimo forte terremoto nelle Marche, quello del 1799 tra Camerino e Tolentino, anche questo distruttivo e con magnitudo stimata pari a 6.2.

Nell'Ottocento si annovera il terremoto che nel 1832 colpì una vasta area della Valle Umbra (tra Trevi, Foligno e Assisi), con magnitudo stimata 6.4, i cui effetti suggeriscono la presenza di importanti faglie attive anche nel settore più occidentale dell'Appennino umbro-marchigiano. Altri eventi minori sono avvenuti nel corso dell'Ottocento nell'area di catena. Tra questi, merita menzione il terremoto che colpì Norcia il 22 agosto 1859 e che, pur non essendo particolarmente energetico (magnitudo stimata 5.9), determinò una svolta significativa per il futuro del rischio sismico dell'area, come vedremo in seguito (paragrafo 5.2). Vent'anni più tardi, un altro evento sismico colpì la stessa zona (Cascia, Norcia), con magnitudo stimata a 5.6. Dopo altri eventi minori, vale la pena ricordare altri due terremoti, avvenuti rispettivamente nella zona esterna (tra Camerino e Amandola) nel 1873 (magnitudo stimata 5.9), e nella zona interna nel 1898, con danni dell'ottavo grado MCS a Rieti (magnitudo stimata 5.5). Questi due terremoti confermano la presenza di sorgenti sismogenetiche anche in aree relativamente lontane dall'asse della catena, sia pure presumibilmente con potenziale inferiore. Peraltro il terremoto reatino del 1898 è stato seguito, tre mesi dopo, da un altro terremoto della stessa magnitudo nella zona della Val Nerina.

I primi decenni del Novecento non vedono eventi sismici importanti nella regione. Nel 1943 è la zona esterna dell'ascolano a subire danni fino al nono grado MCS per un evento di magnitudo 5.7. Tre anni dopo, l'evento del Gran Sasso (di magnitudo 5.7) produce danni dell'ottavo grado ad Accumoli e del settimo ad Amatrice, oltre a colpire molti altri centri del reatino, del teramano e dell'aquilano.

Nel settembre 1979, un terremoto di magnitudo intorno a 6 colpisce ancora la zona di Norcia, con effetti maggiori principalmente a sud e a sudovest della città nursina. Anche questo terremoto avrà effetti rilevanti sulla sicurezza della città di Norcia in occasione della sequenza del 2016 (v. paragrafo 5.2).

2.3 Paleosismologia

Anche in un territorio ricco di storia come l'Italia, le ricerche sulla sismicità storica permettono di avere informazioni abbastanza complete solo per i terremoti avvenuti negli ultimi secoli e qualche notizia, sempre più rara man mano che si va indietro nel tempo, per gli ultimi 2500 anni circa. Le tecniche della paleosismologia consentono di estendere all'indietro nel tempo le conoscenze sui terremoti di una regione, associando a terremoti le deformazioni osservate su terreni recenti databili. Uno scavo artificiale (trincea) attraverso una faglia ritenuta attiva può registrare diversi episodi di movimento, ciascuno dei quali segnala il possibile accadimento di un terremoto.

Nella zona interessata dai terremoti del 2016, per esempio, una trincea scavata alla base del M. Vettore, nel Pian Grande di Castelluccio aveva permesso di identificare indizi di tre terremoti di età protostorica e preistorica, il più recente dei quali databile a circa 3000 anni fa (Galadini & Galli, 2003). Significativamente, una rottura di superficie è stata osservata lungo la stessa faglia, durante la scossa del 30 ottobre 2016.

Per estendere lateralmente le informazioni raccolte in una trincea, o per progettare meglio future trincee, si possono usare le prospezioni geofisiche, metodi non invasivi di esplorazione del sottosuolo, quali ad esempio: prospezioni geoelettriche e magnetotelluriche, Ground Penetrating Radar (GPR), sismica ad alta risoluzione.

3. SCENARIO TETTONICO E GEODINAMICO

3.1 Terremoti e tettonica quaternaria

Riassumendo, le nostre informazioni sui terremoti, dirette o indirette, sono ottime per gli ultimi 20-40 anni, discrete per gli ultimi 200-400 anni, scarse per gli ultimi 2000 e scarsissime per gli ultimi 20000.

La maggior parte dei geologi ritiene tuttavia che i terremoti dell'Italia centrale siano principalmente legati a un sistema di faglie dirette quaternarie, immergenti prevalentemente a WSW, attive negli ultimi 2-2.5 milioni di anni (Pleistocene inferiore) o, in alcuni casi, fin dal Pliocene superiore (fino a 3.5 Ma). Queste faglie, che si dispongono lungo la stessa fascia, dove si concentra la sismicità storica e strumentale che abbiamo descritto, bordano le cosiddette conche intramontane: bacini sedimentari, sviluppati per lo più in ambiente continentale, la cui nascita ed evoluzione è strettamente legata all'attività di queste faglie. Esempi di conche intramontane sono i Piani di Colfiorito e Annifo, come pure la Piana di S. Scolastica (Norcia) e i Piani di Castelluccio.

La connessione tra faglie quaternarie e terremoti è stata ulteriormente confermata dal fatto che alcune delle evidenti rotture cosismiche, osservate in occasione delle scosse sismiche del 2016-17 (in particolare con la scossa del 30 ottobre) hanno riattivato superfici di faglia già mappate in superficie, lungo il versante occidentale dei Monti Sibillini, tra il M. Vettore e il Monte Bove.

3.2 Lo scenario sismotettonico e geodinamico

La zona assiale dell'Appennino è quindi interessata da un campo di sforzi estensionale, come indicato dai meccanismi focali

IN BOZZA

dei terremoti e dai dati raccolti in corrispondenza delle perforazioni profonde nella regione (Montone *et al.*, 2004). Questo campo di sforzi è perfettamente coerente con quello associabile alle faglie dirette affioranti in superficie, come già evidenziato da Lavecchia *et al.* (1994), che ne rappresentano un effetto su una scala temporale assai più lunga. Ma anche le deformazioni a breve termine, registrate dalle reti geodetiche (GPS), confermano che la zona assiale della catena subisce un'estensione in direzione SW-NE, con una velocità di circa 3 mm/anno. Questa velocità può apparire bassa, ma occorre considerare che 3 mm all'anno corrispondono a 3 km in un milione di anni, un intervallo di tempo molto piccolo alla scala geologica.

Gli stessi dati mostrano come, in una fascia più esterna, dal bordo appenninico della Pianura Padana alla costa dell'Adriatico, sia simultaneamente attivo un processo di raccorciamento e compressione (Frepoli e Amato, 1997; Pondrelli *et al.*, 2006). Espressione di questo processo sono anche in questo caso i terremoti, come quello che nella primavera del 2012 ha colpito l'Emilia, nella zona tra Modena e Ferrara.

Lo scenario sismotettonico dell'Appennino settentrionale è quindi caratterizzato da un dominio estensionale, corrispondente alla zona assiale della catena, dove si concentrano molti dei terremoti più distruttivi, e da un dominio compressivo, disposto lungo una fascia più esterna. Queste due fasce sono separate da una fascia dove i terremoti sono relativamente meno frequenti. Tuttavia alcuni eventi storici, avvenuti proprio in questo dominio intermedio, attendono ancora di essere pienamente compresi e meritano certamente un approfondimento degli studi, finalizzati a completare questo quadro.

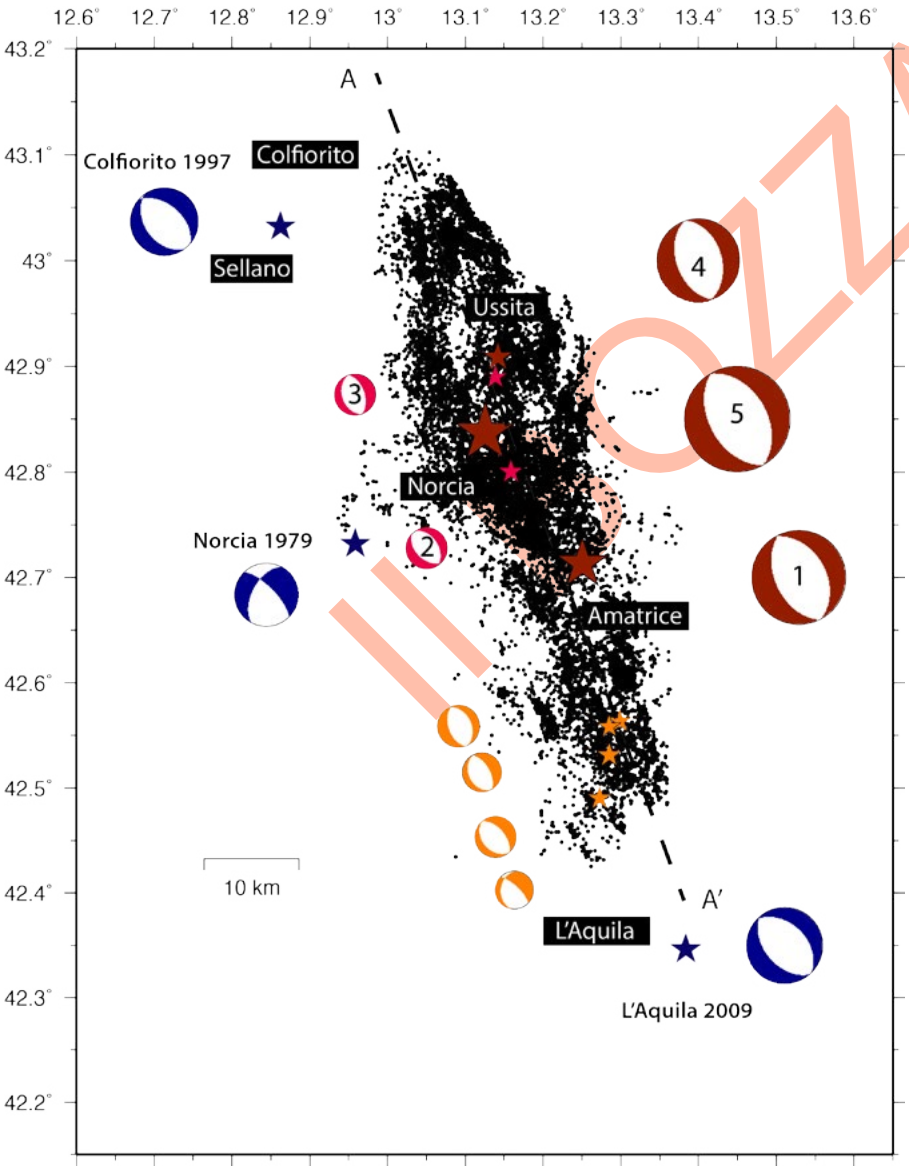


Figura 2 – Mappa della sismicità relativa alla sequenza sismica AVN1617. Le stelle rosso chiaro indicano gli eventi sismici con 5.0<M_W<5.9 mentre quelle rosso scuro gli eventi con M_W>5.9. A questi eventi principali sono associati i meccanismi focali che indicano il tipo di cinematica a carattere prevalentemente estensionale che ha caratterizzato le dislocazioni collegate a questi terremoti. I pallini neri indicano gli ipocentri dei circa 65364 aftershocks registrati dalla Rete Sismica Nazionale gestita dall'INGV, tra 1 gennaio 2016 e 30 giugno 2017, con M_L>1.0. Riportiamo anche in blu gli epicentri e i meccanismi focali dei principali terremoti che hanno caratterizzato le sequenze sismiche strumentali dell'area, da nord a sud: Colfiorito 1997 (M_W6.0), Norcia 1979 (M_W5.9) e L'Aquila 2009 (M_W6.1)

Le conoscenze sulla geologia ci dicono che questa contemporanea attività di due fasce tettoniche circa parallele, caratterizzate rispettivamente da estensione ad ovest e da compressione a est, è una caratteristica peculiare della tettonica appenninica. In particolare, i dati sull'età dei bacini sedimentari della regione mostrano che, negli ultimi 15 milioni di anni, l'evoluzione tettonico-sedimentaria dell'Appennino settentrionale è caratterizzata dalla simultanea attività di due fasce di deformazione, tra loro parallele, rispettivamente estensionale (a ovest) e compressiva (a est), che migrano nel tempo da ovest verso est. Estensione e compressione sono coassiali, nel senso che la direzione di massima estensione nella fascia interna è parallela a quella di massimo raccorciamento nella fascia esterna. Il campo di sforzi e di deformazione in atto, e la conseguente distribuzione della sismicità, rappresentano quindi il capitolo finale, o meglio attuale, di una storia geologica più lunga, che caratterizza la regione lungo tutto il Neogene e il Quaternario.

Dal punto di vista geodinamico, la struttura dell'Appennino settentrionale è ancora oggetto di accese discussioni, anche se i dati cinematici a breve termine, come pure quelli geologici a lungo termine, indicano concordemente la rotazione antioraria di un blocco di crosta continentale (la microplacca Adria), nell'ambito della convergenza N-S tra le placche Africana e Euroasiatica. Molti studiosi ritengono che tale rotazione sia associata alla subduzione verso ovest (e al simultaneo arretramento verso est) della crosta continentale della microplacca Adria, il cui arretramento verso est indurrebbe il collasso e l'estensione della soprastante catena appenninica.

3.3 Il contributo della geologia del sottosuolo

Le faglie quaternarie dell'Italia centrale affiorano spesso con buona evidenza, ed è relativamente facile misurarne la giacitura e determinarne il rigetto a lungo termine, accumulato nel tempo: per le faglie maggiori, questo rigetto è generalmente compreso tra alcune centinaia di metri e 2 km.

Per collegare le faglie quaternarie, affioranti in superficie, alle strutture sismogenetiche, attivate durante i terremoti, la cui immagine è ricostruita sulla base dei dati sismologici, occorre ricostruire la geologia del sottosuolo, fino alla profondità tipica di queste sequenze, che è di 6-10 km. Una ricostruzione di questo tipo deve necessariamente affidarsi ad indagini indirette, di tipo geofisico. In particolare, negli ultimi 20 anni molti ricercatori hanno utilizzato profili sismici a riflessione, acquisiti in passato dall'industria petrolifera in regioni sismicamente attive, quali l'Appennino o la Pianura Pada-

ANTEPRIMA

na. I profili sismici a riflessione costituiscono il principale dell'esplorazione petrolifera, i cui *target* si trovano ad alcuni chilometri di profondità, una profondità di poco inferiore a quella di nucleazione dei terremoti.

Con questo tipo di dati sono state studiate, tra le altre, le strutture di Città di Castello-Sansepolcro, Gubbio, Gualdo Tadino e Colfiorito, caratterizzando la geometria profonda delle faglie ritenute attive e sismogenetiche, la struttura interna dei bacini sedimentari ad esse associati, e soprattutto la struttura del sottosuolo, consentendo di formulare ipotesi ragionevoli sulle litologie che caratterizzano le zone di nucleazione dei terremoti (Barchi & Mirabella, 2009). Questi studi hanno mostrato che la sismicità si sviluppa prevalentemente all'interno di rocce della copertura sedimentaria, prevalentemente carbonati ed evaporiti, mentre gli eventi principali si nucleano principalmente nelle evaporiti triassiche della Formazione di Burano, costituita da alternanze di dolomie e anidriti. La ricerca si è quindi orientata allo studio della reologia di questi tipi litologici, anche attraverso prove di laboratorio, con lo scopo di comprendere meglio la meccanica dei terremoti e il ruolo dei fluidi durante la fagliazione.

Il fatto che gli studi di geologia del sottosuolo siano principalmente basati sul riutilizzo di dati preesistenti, acquisiti in passato dall'industria petrolifera, è legata agli alti costi richiesti per l'acquisizione ex-novo di profili sismici a riflessione, spinti a profondità sismogenetiche, costi non compatibili con le risorse a disposizione dei programmi di ricerca geologica in Italia. L'unica eccezione è costituita dal progetto CROP, che negli anni '90 del secolo scorso ha consentito l'acquisizione di oltre venti profili crostali attraverso la penisola italiana e i mari circostanti (Scrocca *et al.*, 2003). Tra questi, il profilo CROP03 ha attraversato l'Appennino settentrionale, dalla costa tirrenica (Punta Ala) a quella adriatica (Gabicce). Tra i risultati più rilevanti delle ricerche, correlate con l'interpretazione di questo profilo, c'è stata l'individuazione, in corrispondenza della Valle del Tevere, di una faglia a basso angolo est-immergente (Faglia Altotiberina), che guida la deformazione estensionale della regione, e al cui tetto si sviluppano le faglie antitetiche ovest-immergenti, come la faglia di Gubbio. L'esistenza e l'attività della Faglia Altotiberina è stata successivamente confermata da dati sismologici di grande dettaglio, acquisiti da reti locali installate *ad hoc*, sino a costituire oggi la sede del test-site *TABOO*, un importante laboratorio a cielo aperto per lo studio di faglie attive e sismogenetiche (Chiaraluce *et al.*, 2014).

4. EVOLUZIONE SPAZIO-TEMPORALE DELLA SEQUENZA DI AMATRICE-VISSO-NORCIA

La sequenza sismica di Amatrice-Visso-Norcia è iniziata nella notte del 24 agosto 2016 con l'occorrenza di un forte terremoto (*main shock*), di M_W 6.0 (alle 03:36:32 ora italiana: evento 1 in *Fig.* 2), localizzato a pochi chilometri dalla città di Amatrice. Questo primo evento principale è stato seguito, dopo poco meno di un'ora, da un'altra forte scossa (*aftershock*) di M_W 5.3 (alle 04:33:28; evento 2 in *Fig.* 2), avvenuta a quasi 10 km di distanza verso NW, nella zona tra il Monte Vettore e Norcia. Come è possibile osservare in *Fig.* 3, a differenza di quanto successo sia per la sequenza sismica di Colfiorito del 1997, avvenuta a nord, che per quella dell'Aquila del 2009 a sud, il primo *mainshock* della sequenza del 2016-2017 non è stato preceduto, nelle settimane e nei mesi prima, da alcun evidente aumento di sismicità e tanto meno da una sequenza di *foreshocks*.

La *Fig.* 3 mostra infatti la distribuzione della sismicità nello spazio e nel tempo, a partire da 8 mesi prima dell'inizio della sequenza (1 gennaio 2016), fino a 10 mesi dopo il suo inizio (giugno 2017). Per meglio capire la costruzione di questa immagine, abbiamo riportato in *Fig.* 2 la traccia della sezione (A-A'), che va da Serravalle del Chienti a nord fino a Pizzoli a sud (e che corrisponde all'asse delle ordinate di *Fig.* 3), lungo la quale abbiamo proiettato gli eventi sismici avvenuti in ciascuno degli oltre 550 giorni considerati (ascissa di *Fig.* 3). In questa figura si può apprezzare, basandoci sulla distribuzione della sismicità, la dimensione del primo segmento di faglia (che chiameremo di Amatrice) attivatosi ad agosto, pari a circa 30 km in direzione Appenninica (da Amatrice a Castelluccio, da 10 a -20 km in *Fig.* 3). Dopo circa due mesi,

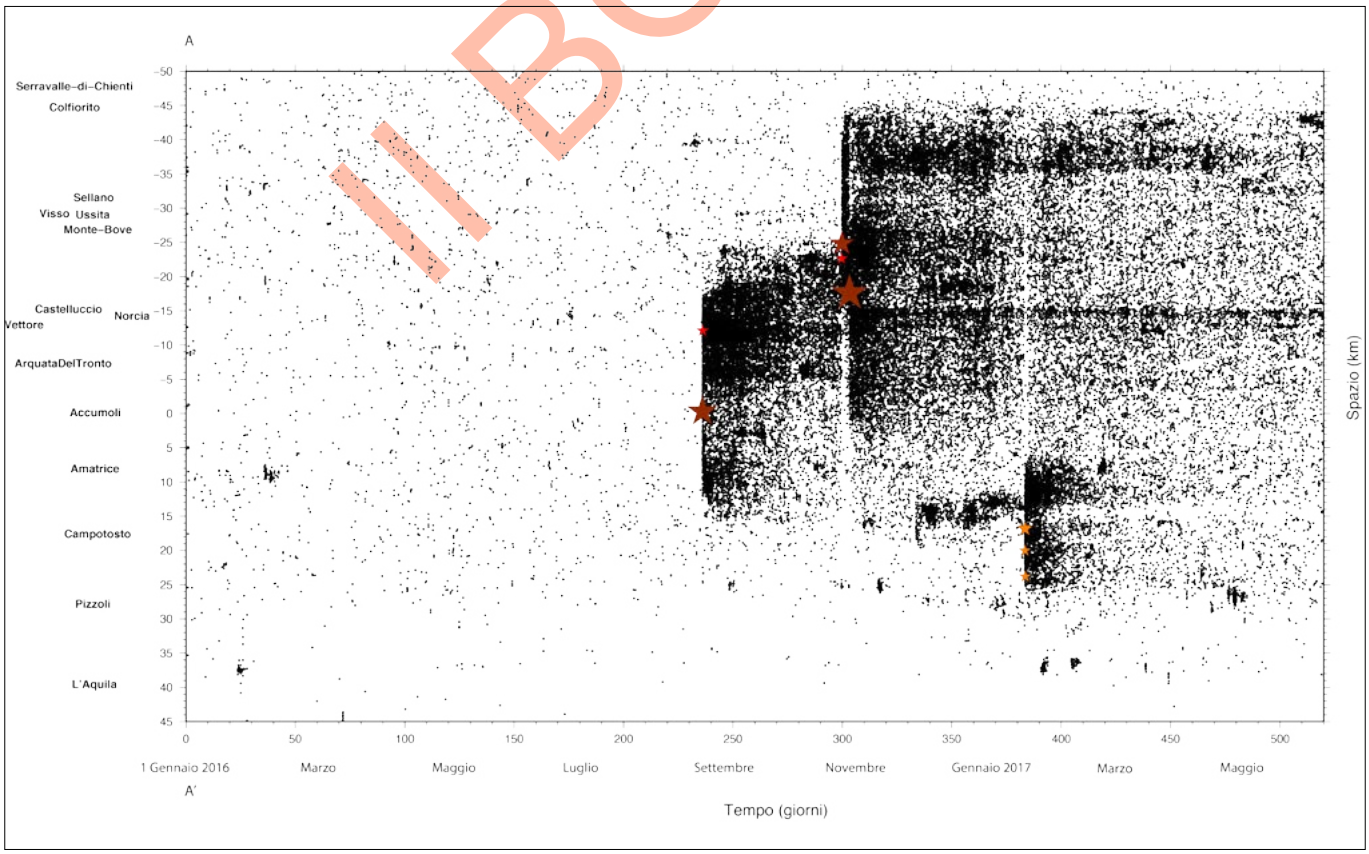


Figura 3 – Distribuzione spazio temporale della sismicità relativa alla sequenza sismica AVN1617. Le stelle colorate indicano gli eventi sismici principali descritti in Figura 1, così come i pallini neri indicano gli ipocentri dei circa 60 mila aftershocks avvenuti tra l'inizio di gennaio 2016 e la fine di giugno del 2017

IL BOZZA

il 26 di ottobre, sono avvenuti altri due eventi, anch'essi molto vicini tra loro, sia nel tempo (alle 19:10:36, evento 3 in *Fig.* 2 con M_W 5.4, e alle 21:18:05 UTC, evento 4 in *Fig.* 2 con M_W 5.9), che nello spazio, a circa 2 km di distanza relativa. In *Fig.* 3 possiamo vedere che questi eventi attivano il segmento più settentrionale del sistema di faglie (che chiameremo di Visso), segnando una chiara migrazione verso nord della sismicità, partendo dal sottosuolo della zona di Visso e Ussita. Alla minore magnitudo di questi eventi, confrontata con quella del precedente terremoto di Amatrice, corrisponde una minore dimensione del segmento di faglia di Visso, pari a circa 20 km (da -25 km a -45 km in *Fig.* 3). Sempre in *Fig.* 3 possiamo notare come gli *aftershocks* relativi a questi eventi (quindi i terremoti avvenuti nelle prime ore/giorni dopo gli eventi stessi), siano per la stragrande maggioranza distribuiti verso NW. Questa osservazione ben si correla con la distribuzione di spostamento cosismico lungo il piano di faglia, ricostruita da dati sismologici e geodetici (Chiaraluce *et al.*, 2017; Cheloni *et al.*, 2017), per l'evento di M_W 5.9, la quale mostra una evidente direttività della sorgente dall'ipocentro in direzione NW, verso l'abitato di Camerino. Questa peculiarità è verosimilmente il motivo per cui la città di Camerino ha subito il maggiore danneggiamento proprio in occasione della scossa del 26 ottobre.

Di lì a soli 4 giorni, la mattina del 30 ottobre (alle 07:40:17, evento 5 in *Fig.* 2), l'evento più forte di tutta la sequenza, con M_W 6.5, torna a colpire la porzione centrale di questo sistema Appenninico (che chiameremo segmento di Norcia), con epicentro proprio in prossimità della città nursina. La posizione di questo evento e della faglia attivata hanno sorpreso geologi e sismologi: lo scenario ritenuto più probabile dopo gli eventi del 24 agosto e del 26 ottobre era quello da molti definito come "effetto domino", ossia l'attivazione di altri segmenti di faglia a nord o a sud dei precedenti. Questa ipotesi si basava sulla considerazione che le due faglie attivate avessero esaurito il loro potenziale sismogenetico, come osservato in altre sequenze. La realtà era diversa, e ci ha evidenziato una volta di più la complessità dei processi di fagliazione nell'Appennino. Oggi, mano a mano che le analisi dei dati sismologici si completano e si approfondiscono, stiamo capendo come questo terremoto abbia rotto un segmento di faglia molto complesso, lungo almeno 40 km (da 10 km a -30 km in *Fig.* 3).

L'evento del 30 ottobre è il più forte registrato sul territorio italiano dal 1980, data del terremoto che ha colpito l'Irpinia (con M_W 6.9). Tuttavia, la scossa del 30 ottobre non ha provocato nessuna vittima (e sostanzialmente nemmeno un ferito grave), mentre ricordiamo che durante l'evento del 1980 persero la vita 2914 persone. La ragione di ciò è duplice. La prima è legata al forte danneggiamento legato all'occorrenza dei precedenti terremoti di Amatrice e Visso, che ha forzatamente allontanato le persone dalla regione, in particolar modo dagli edifici più vulnerabili. La seconda è legata invece all'opera positiva della Protezione Civile che, nonostante ci fossero ancora case probabilmente agibili, non consentiva il rientro della popolazione con la sequenza sismica in corso. Va anche dato atto alla comunità scientifica, inclusa la Commissione Grandi Rischi, di avere segnalato ripetutamente la possibilità di attivazione di ulteriori segmenti di faglia oltre a quelli già attivi, memori dell'esperienza di numerose sequenze precedenti (Colfiorito 1997, Molise 2002, Emilia 2012, ma anche Friuli 1976, Belice 1968, per citare i casi più recenti), contribuendo in questo modo a tenere alta l'attenzione.

Un evento come quello di Norcia è per fortuna relativamente poco frequente, non solo per la sua energia, ma anche per gli effetti che ha indotto in superficie (quali ad esempio la fagliazione superficiale e le frane da crollo). Riportiamo in *Fig.* 4 un esempio di rottura cosismica prodotta appunto dalla propagazione dello scorrimento (*slip*) sul piano di faglia, che in questo caso ha raggiunto la superficie, disclocando la superficie topografica, come avviene appunto in occasione dei terremoti più forti. Nel caso mostrato in figura (Emergeo Working Group, 2017) si evidenzia come la stessa faglia sia stata interessata da un primo movimento nel terremoto del 24 agosto, successivamente ripreso ed enfatizzato durante il terremoto del 30 ottobre. Spettacolari rotture co-sismiche di superficie sono state osservate lungo i vari segmenti di faglia attivati, e in particolare lungo i versanti sud-occidentali della dorsale dei Monti Sibillini, tra il Monte Vettore e il Monte Bove (Emergeo Working Group, 2016). Fratture di questo tipo sono state osservate e cartografate in dettaglio dai geologi subito dopo le scosse del 24 agosto (Pucci *et al.*, 2017). Sistemi più estesi, complessi e spettacolari si sono formati dopo le scosse del 26 e soprattutto dopo quella del 30 ottobre: queste nuove fratture hanno interessato un'area di oltre 30 km di lunghezza e 4 km di larghezza, estendendosi anche ai bordi e all'interno dei Piani di Castelluccio e, in alcuni casi, riattivando le superfici di faglia quaternaria, già mappate dai geologi lungo i versanti, come mostrato nella foto di *Fig.* 4.

5. GEOMETRIA DEL SISTEMA DI FAGLIE

Abbiamo riportato in *Fig.* 5a and 5b i circa 60000 *aftershocks* di $M_L \geq 1.0$ registrati dalla Rete Sismica Nazionale dell'INGV tra il 1° gennaio 2016 e il 30 giugno 2017, in mappa e lungo una serie di sezioni rispettivamente longitudinale e perpendicolari alla catena appenninica. Questo per meglio mostrare, almeno al prim'ordine (quindi alla scala della decina di chilometri), la geometria del sistema di faglie attivatosi fino a oggi e la sua relazione spaziale con le precedenti e attigue sequenze sismiche del 1997 a Nord e del 2009 a Sud.

Questo complesso sistema estensionale, compreso nei primi 10 km di profondità, è composto da un piano di faglia principale a immersione W-SW con un dip (immersione) che varia dai 35 ai 50° lungo tutta la lunghezza del sistema. Il sistema presenta poi una struttura antitetica posta appunto al fronte del piano principale (vedi sezioni 3, 4, 5 e 6

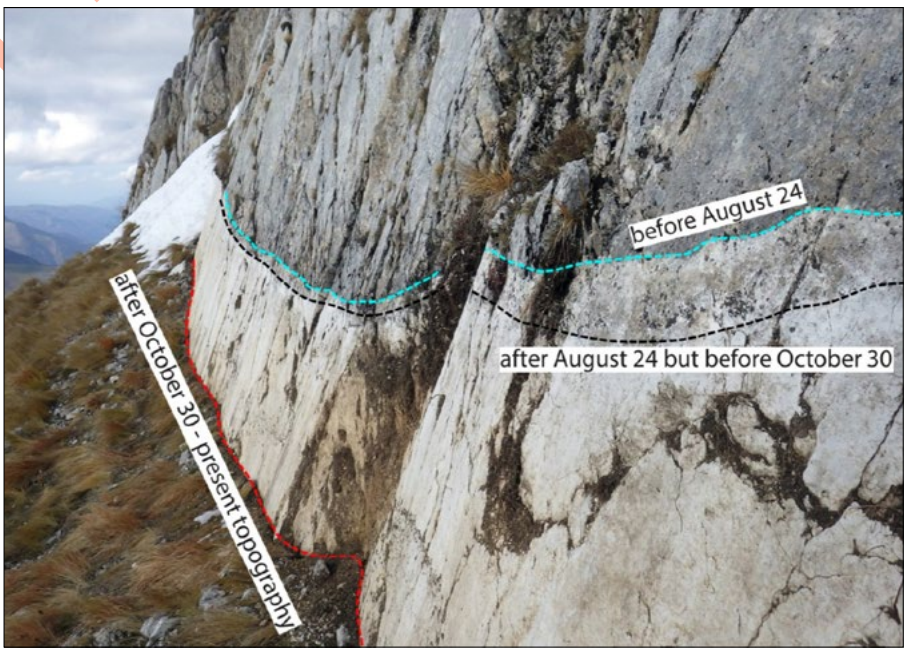
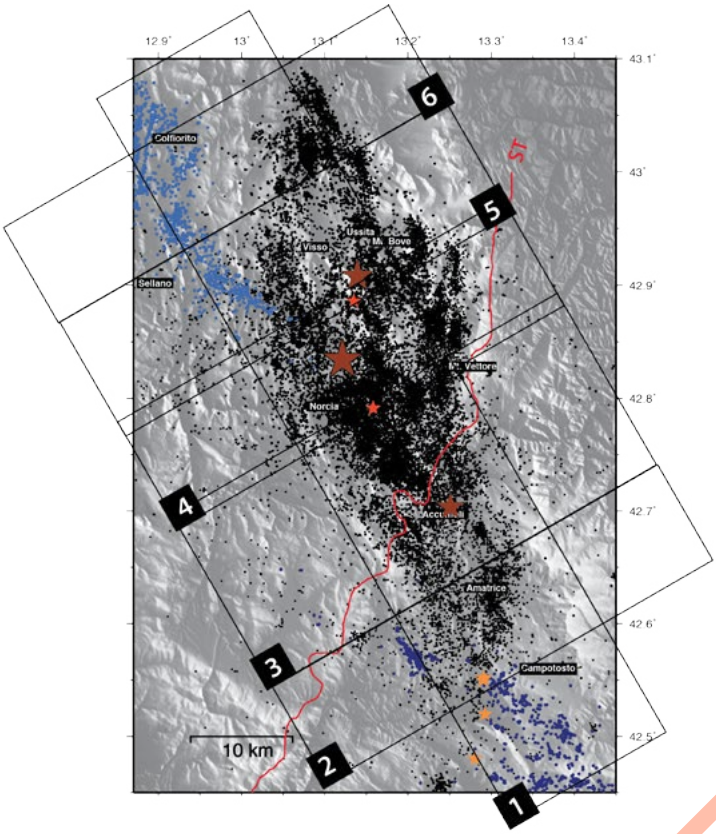
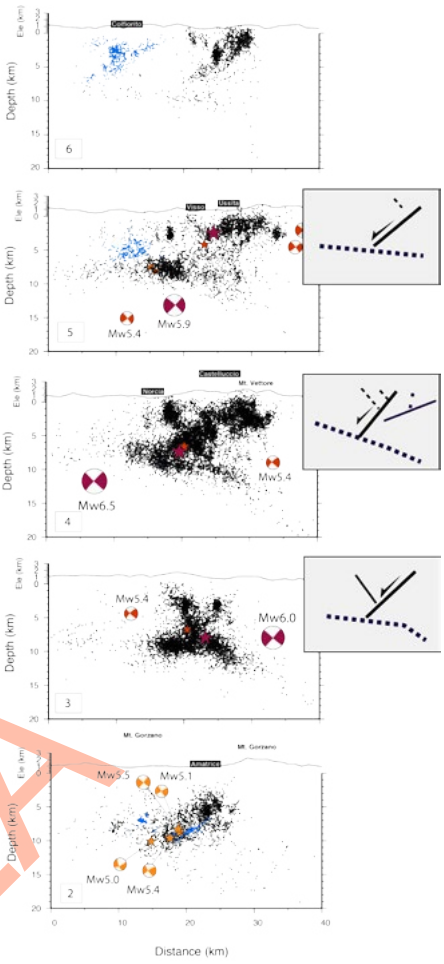


Figura 4 – Dettaglio della superficie di faglia sul "Cordone del Vettore" (lat. 42.817, long. 13.256 – elev. 2100 m s.l.m.). Le scarpate di faglia su roccia sono generalmente coperte da cunei colluviali che preservano il piano di faglia dal processo di ossidazione e alterazione meteorica. Lo spostamento (slip) cosismico porta ad affiorare il piano di faglia prima coperto che può arrivare come un piano di faglia libero dalla vegetazione con un contrasto di colore (da Emergeo Working Group, 2017)

in bozza





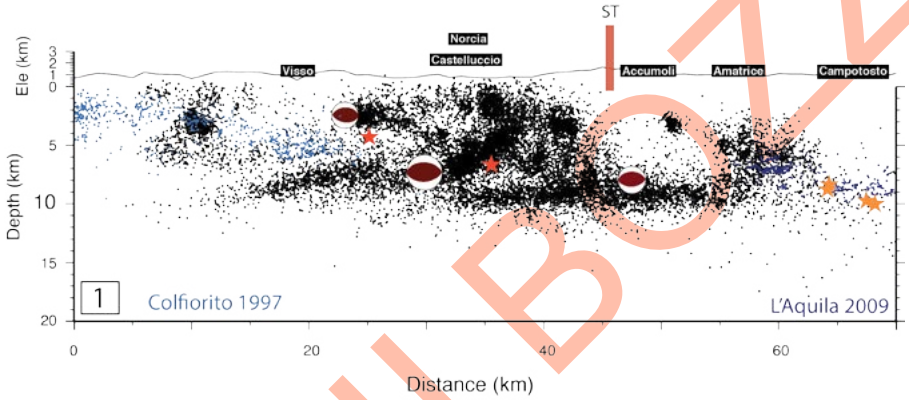


Figura 5a – Sopra: mappa della sismicità della sequenza sismica AVN1617. Le stelle colorate indicano gli eventi sismici principali descritti in Figura 1, così come i pallini neri indicano gli ipocentri dei circa 60 mila aftershocks avvenuti tra il 24 agosto 2016 e il 30 giugno 2017. Mentre i pallini blu chiaro e scuro rappresentano rispettivamente gli aftershocks più meridionali della sequenza sismica di Colfiorito del 1997 e quelli più settentrionali dell'Aquila 2009. Sotto: sezione longitudinale alla sequenza sismica 1 dove abbiamo proiettato tutti gli eventi inclusi nella box 1.

Figura 5b –Sezioni trasversali alla alla sequenza sismica (quindi con orientazione SW-NE), dove abbiamo proiettato tutti gli eventi inclusi nelle box (da 1 a 5) disegnate in mappa di Figura 3a. A destra delle sezioni 3, 4 e 5 che approssimativamente includono gli aftershocks del segmento di faglia di Amatrice, di Norcia e di Visso (vedi testo), abbiamo riportato uno schema sintetico dell'anatomia di faglia derivato dalla distribuzione di sismicità

in *Fig.* 5b). Struttura su cui come abbiamo detto in precedenza, enuclea il terremoto di M_W5.4 un'ora dopo il terremoto di Amatrice (sezione 3). Un'altra caratteristica del sistema è data dalla presenza, piuttosto rara in bibliografia, di una sismicità con allineamento quasi sub-orizzontale compresa tra circa 8 e 11 km di profondità. Questo allineamento sembra scomparire a sud, guardando la sismicità relativa alla struttura di Campotosto, attivatasi durante la sequenza dell'Aquila del 2009 (vedi pallini blu in sezione 2 di *Fig.* 5b). Mentre verso nord, questa struttura basale sembra divenire meno attiva ma ancora presente fin sotto la faglia di Sellano, attivatasi nel 1997 (vedi pallini blu in sezione 6 sempre di *Fig.* 5b). È interessante notare come tutti i terremoti principali nucleino attorno ai 6-8 km di profondità, proprio sopra questo livello di sismicità sub-orizzontale. Altro aspetto interessante è dato dal diverso modo con cui la sequenza 2016-17 sembri interagire con i sistemi attivatisi in precedenza. Vediamo infatti che a sud (verso la sequenza del 2009), la nuova sismicità sembra proseguire e ingrandire le strutture attivatesi negli anni precedenti (vedi sezione longitudinale 1 in *Fig.* 4a e sezione ortogonale 2 in 5b). Mentre a nord (verso la zona del 1997), la nuova struttura si pone sub-parallelamente a quella del 1997 (sezione 6 in 5b) anche se un poco più profonda (sezione 1).

Ultima notazione si riferisce alla presenza e al ruolo di un'importante disconitnuità strutturale dell'Appennino centrale, il sovrascorrimento dei Monti Sibillini (ST, *Fig.* 5; Centamore e Rossi, 2009). È interessante notare come tutta la sismicità a nord di quella linea sia molto più superficiale, fino ad arrivare quasi in superficie (vedi in sezione 1 a sinistra della scritta rossa ST, che rappresenta l'intersezione della topografia con la linea tettonica in superficie). Al contrario, a sud di questa, non ci sono praticamente *aftershocks* relativi al terremoto di Amatrice. Quell'allineamento di terremoti che ci disegna una struttura immergente a SW in sezione ortogonale 3 di *Fig.* 5a è dato dagli eventi che avvengono a Nord di ST che vengono però nella nostra sezione ortogonale schiacciati su quella sezione (vedi area compresa nella sezione 3, disegnata in mappa di *Fig.* 5a). L'assenza di *aftershocks* dopo il terremoto principale (*main shock*) sulla porzione più meridionale del segmento di faglia di Amatrice è un aspetto probabilmente di natura reologico-strutturale che sarà oggetto di approfonditi studi futuri.

IL BOZZA

6. CONSIDERAZIONI FINALI: LEZIONI APPRESE E PROBLEMI APERTI

6.1 Un terremoto atteso (ma non previsto!)

Gli studi geologici, sismologici, geodetici, storici, effettuati negli ultimi decenni avevano permesso di caratterizzare bene il territorio dell'Appennino centrale. Una buona parte di questi studi era confluita nella carta di pericolosità sismica (Gruppo di Lavoro MPS, 2004), dove la zona colpita dai terremoti della sequenza 2016-2017 ricade infatti nella fascia appenninica più "pericolosa". Gli studi storici, sintetizzati nei cataloghi già citati (Guidoboni *et al.*, 2007; Rovida *et al.*, 2016), avevano individuato eventi sismici precedenti, di magnitudo confrontabile (forse anche maggiore) di quelle massime osservate nel 2016 (Mw 6.5). Gli studi paleosismologici, descritti sopra, avevano evidenziato la presenza di faglie attive con lunghi periodi di ritorno proprio nell'area di Castelluccio di Norcia e del Monte Vettore. Come abbiamo visto, anche gli studi geologici, sia quelli fatti su singole strutture, come quelle del M. Vettore e del M. Gorzano, che quelli più generali sulle faglie attive e sul contesto sismotettonico della regione, hanno associato fin dagli anni '90 (Lavecchia *et al.*, 1994) i terremoti della zona assiale a un sistema di faglie dirette attive, puntando a definire la pericolosità di questa zona dell'Appennino centrale. Un tentativo di calcolare la pericolosità dipendente dal tempo, utilizzando e combinando diversi modelli di *hazard* ottenuti con metodi differenti, aveva evidenziato l'area in questione come una di quelle a maggiore probabilità di occorrenza di un forte terremoto in Italia (anche in questo caso senza poter indicare una finestra temporale ristretta; Marzocchi *et al.*, 2012). Un altro studio basato sul confronto tra dati sismici recenti, storici e dati geodetici, aveva identificato l'area in questione come una di quelle a maggiore potenziale sismogenetico (Chiarabba *et al.*, 2011).

Riassumendo, l'area della sequenza sismica del 2016 e 2017 era certamente una di quelle dove era ritenuto probabile un forte terremoto, anche se nessuno degli studi citati aveva potuto avanzare degli scenari a breve termine. Nonostante questa consapevolezza, non si erano evidentemente presentate le condizioni per la messa in sicurezza del territorio e non si era quindi data nessuna priorità negli investimenti, alla riduzione della vulnerabilità delle infrastrutture del territorio e soprattutto dei centri abitati indubbiamente più esposti. Questa realtà deriva principalmente dal fatto che le numerose leggi emanate in materia, che nel nostro Paese hanno sempre seguito un terremoto (come nel 1859, nel 1908, 1915, 1980, 2002), hanno sempre posto l'attenzione soltanto sulle nuove costruzioni, senza includere alcuna prescrizione riguardo a quanto già edificato in epoche precedenti. Fanno eccezione le norme post-1859 a Norcia, che effettivamente hanno avuto un'efficacia (purtroppo soltanto locale), come descritto nel paragrafo successivo.

6.2 Ridurre la vulnerabilità

Nell'Appennino centrale, le lezioni dai terremoti del passato sono state quasi sempre "sciupate", con pochi eccezioni. Tra queste, certamente la più istruttiva è quella di Norcia, dove i terremoti del 2016 non hanno provocato vittime né crolli importanti nell'edilizia privata del centro storico, contrariamente a quanto accaduto ad Amatrice, Accumoli, Arquata e Pescara del Tronto e in molti altri centri.

I rilievi macrosismici effettuati dopo il terremoto del 24 agosto avevano assegnato soltanto il VI grado MCS a Norcia, contro il X-XI di Amatrice, una differenza enorme. La ragione di questa differenza va ricercata principalmente negli interventi post-sismici dell'Ottocento e del Novecento. Se si confrontano le storie sismiche di tre centri storici del Lazio (Amatrice, in Abruzzo fino agli anni Trenta del Novecento), dell'Umbria (Norcia) e delle Marche (Arquata del Tronto), notiamo che tutti i casi considerati sono ricchi di terremoti importanti almeno dopo il XVII secolo (*Fig.* 6). Tuttavia, è molto probabile che a Norcia la maggiore incidenza dei terremoti anche nel XIX e XX secolo, unitamente a delle migliori condizioni socio-economiche, abbia determinato degli interventi salvifici. Se si esaminano le disposizioni normative emanate dallo Stato Pontificio dopo il terremoto del 1859, che provocò gravi danni e un centinaio di vittime a Norcia, non si può non pensare ai crolli di Amatrice. Le prescrizioni imposte nella ricostruzione della cittadina nursina post-1859 avrebbero infatti forse potuto almeno in parte

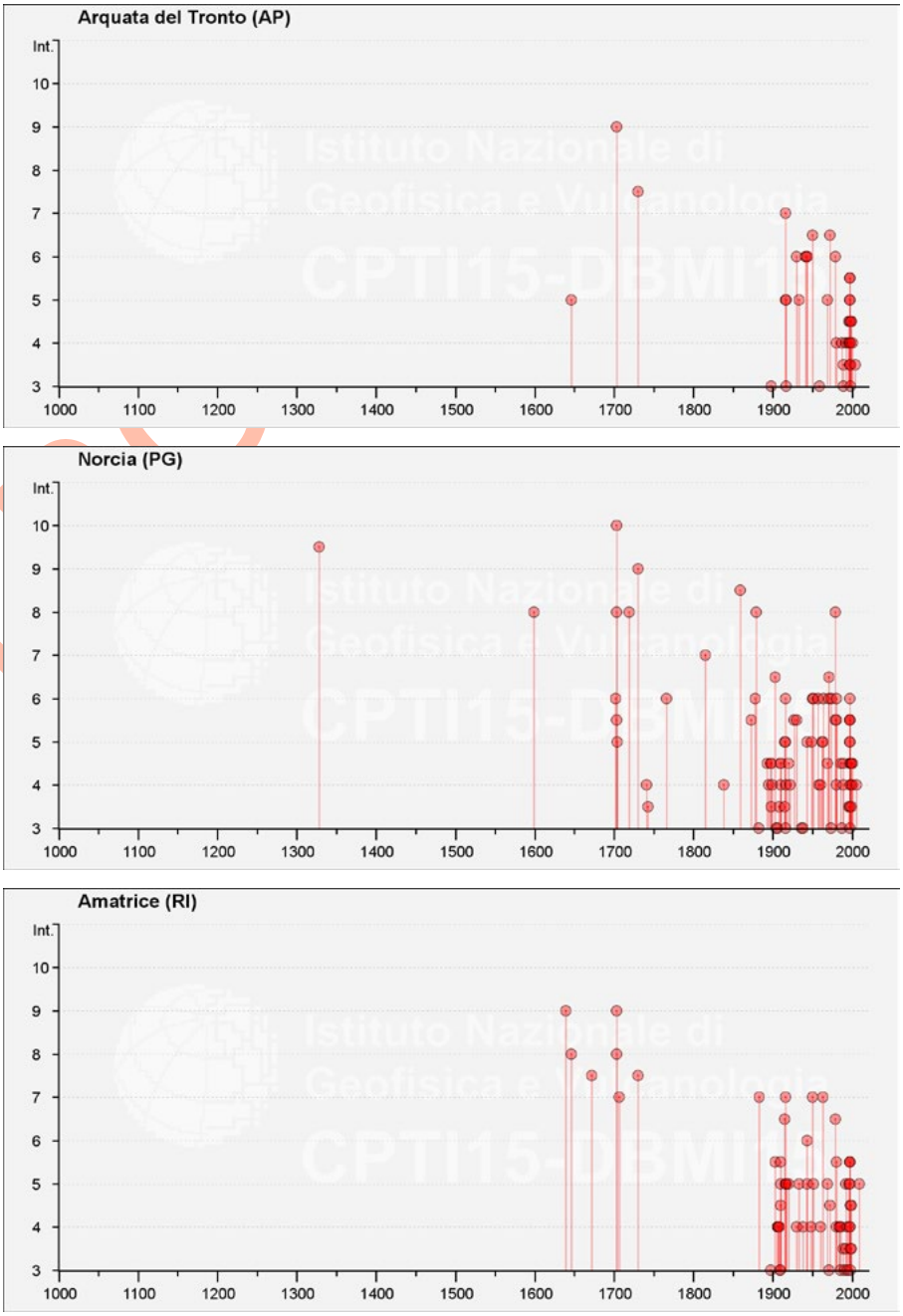


Figura 6. Storie sismiche di Arquata del Tronto (AP), Norcia (PG) e Amatrice (RI) a confronto. Fonte: CPTI15 (Rovida et al., *2016)*

proteggere un poco Amatrice, se adottate anche lì. Tra queste prescrizioni ci sono ad esempio: muri spessi almeno 60 centimetri, edifici di soli due piani, altezza inferiore a 7,50 metri, divieto di usare ciottoli arrotondati e malte scadenti, divieto di costruire in prossimità di dirupi. In pratica, tutto il contrario di quanto è stato osservato ad Amatrice e che è risultato essere la causa principale dei crolli nel 2016. Norcia aveva avuto poi altri terremoti, e fu soprattutto quello del 1979 a creare l'occasione per un altro importante intervento di adeguamento sismico, fortemente voluto dall'allora sindaco Alberto Novelli (Sanvico, 2013). Al contrario, comuni vicini quali Amatrice, pur inseriti tra quelli classificati come sismici già dopo il terremoto della Marsica del 1915, non sono stati "costretti", né in quell'occasione - il sisma del 1915 provocò effetti del VI-VII grado MCS ad Amatrice - né in terremoti successivi a ricostruire in modo più sicuro. E neppure furono incentivati ad adeguare gli edifici esistenti per far fronte al rischio di futuri crolli, sebbene oramai questo rischio fosse stato in qualche modo certificato.

6.3 Complessità e imprevedibilità

La sequenza sismica del 2016-2017 presenta, come visto, una forte similitudine geologica e sismologica con le sequenze del 1997 e del 2009. Ci sono tuttavia anche alcune differenze non trascurabili. Anzitutto, il terremoto del 24 agosto 2016, l'unico ad avere provocato la morte di quasi trecento persone, non è stato preceduto da alcuna evidente attività sismica (tipo *foreshocks*), contrariamente a quanto osservato prima del terremoto dell'Aquila e di Colfiorito.

Altre differenze importanti riguardano la tempistica delle scosse principali. Nel caso di Colfiorito, la scossa più forte (Mw 6.0) si manifestò circa nove ore dopo quella di magnitudo Mw 5.7 che aveva determinato i primi crolli e le prime vittime, la notte del 26 settembre 1997. Nel caso dell'Aquila, invece, la scossa principale del 6 aprile 2009 (Mw 6.1) non fu seguita da eventi della stessa entità. Nel 2016, invece, l'evento più forte (Mw 6.5) è avvenuto oltre due mesi dopo quello di magnitudo 6.0 del 24 agosto.

Questa eterogeneità così evidente è probabilmente il riflesso della complessità del processo sismogenetico, a cui concorrono fattori diversi, quali ad esempio il grado di complessità strutturale e di segmentazione dei sistemi di faglia, i meccanismi di trasferimento dello stress tra faglie adiacenti, la presenza di asperità lungo le faglie stesse, e l'eventuale presenza di fluidi nel volume focale.

Nonostante questa estrema complessità, negli ultimi anni sono stati fatti grandi passi avanti nella comprensione dei fenomeni sismici e nelle capacità di mappare le sequenze sismiche in tempo quasi reale (si veda il volume speciale curato da Anzidei e Pondrelli, 2016). Grazie alla quantità e qualità dei dati sismologici, geologici e geodetici raccolti nelle aree sismiche dell'Appennino, è oggi possibile proporre rapidamente delle ricostruzioni realistiche di estremo dettaglio dei processi di fagliazione, dei rapporti tra le diverse strutture e della deformazione ad essi associata, sia nel periodo intersismico che in quello cosismico. E dai risultati delle elaborazioni svolte sui dati raccolti durante la sequenza di Amatrice, Visso e Norcia, per esempio, riteniamo utile cogliere e condividere una prima lezione importante, che potrà servirci per il futuro: l'analisi tempestiva di dati sempre più dettagliati, condotta durante una sequenza, può consentirci di comprendere meglio l'evoluzione del fenomeno sismico in corso e di meglio vincolare gli scenari attesi nei futuri terremoti, compresi gli *aftershocks* e altre faglie che si potrebbero attivare.

BIBLIOGRAFIA

Anzidei, M., and S. Pondrelli (a cura di, 2016). *The Amatrice seismic sequence: preliminary data and results*, Annals of Geophysics, 59.

Barchi, M. R., and Mirabella, F. (2009). *The 1997–98 Umbria–Marche earthquake sequence: "Geological" vs. "seismological" faults.* Tectonophysics, 476(1), 170-179.

Centamore, E., and D. Rossi (2009). *Neogene-Quaternary tectonics and sedimentation in the Central Apennines*, Boll. Soc. Geol. It. 128, no. 1, 73–88.

Cheloni, D., *et al.* (2017), *Geodetic model of the 2016 Central Italy earthquake sequence inferred from InSAR and GPS data*, Geophys. Res. Lett., 44, 6778–6787, doi:10.1002/2017GL073580.

Chiarabba, C., De Gori, P., and Amato, A. (2011). *Do earthquake storms repeat in the Apennines of Italy?* Terra Nova, 23(5), 300-306.

Chiaraluce, L., Di Stefano, R., Tinti, E., Scognamiglio, L., Michele, M., Casarotti, E., M. Cattaneo, P. De Gori, C. Chiarabba, G. Monachesi, A. Lombardi, L. Valoroso, D. Latorre, and Marzorati, S. (2017). *The 2016 Central Italy Seismic Sequence: A First Look at the Mainshocks, Aftershocks, and Source Models.* Seismological Research Letters, 88(3), 757–771. https://doi.org/10.1785/0220160221

Chiaraluce, L., Amato, A., Carannante, S., Castelli, V., Cattaneo, M., Cocco, M., ... and Marzorati, S. (2014). *The Alto Tiberina Near Fault Observatory (northern Apennines, Italy).* Annals of Geophysics, 57(3).

D'Agostino, N. (2014), *Complete seismic release of tectonic strain and earthquake recurrence in the Apennines (Italy)*, Geophys. Res. Lett., 41, 1155–1162, doi:10.1002/2014GL059230.

Devoti, R., *et al.* (2017), *A combined velocity field of the Mediterranean region*, Ann. Geophys., 60(2), doi:10.4401/ag-7059.

Emergeo Working Group (2016). *Rapporto di sintesi sul Terremoto in centro Italia Mw 6.5 del 30 ottobre 2016.* http://dx.doi.org/10.5281/ zenodo.166019.

Emergeo Working Group (2017). *A new photographic dataset of the coseismic geological effects originated by the Mw5.9 Visso and Mw6.5 Norcia earthquakes (26th and 30th October 2016, Central Italy).* Miscellanea INGV, n. 38 del 2017.

Frepoli, A. and Amato, A. (1997). *Contemporaneous extension and compression in the Northern Apennines from earthquake fault plane solutions.* Geophys. J. Int., 129, 368-388.

Galadini, F. and Galli, P. (2003). *Paleoseismology of silent faults in the central Apennines (Italy): the Mt. Vettore and Laga Mts.* Faults. Annals of Geophysics, 46. http://dx.doi.org/10.4401/ag-3457.

Galli, P. e Peronace, E. (a cura di, 2016). *Rapporto sugli effetti macrosismici del terremoto del 24 agosto 2016 di Amatrice in scala MCS (DPC, INGV-QUEST, CNR-IGAG).*

Gruppo di Lavoro MPS (2004). *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003.* Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

Guidoboni, E., Ferrari, G., Mariotti, D., Comastri, A., Tarabusi, G., and Valensise, G. (2007). *Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 BC-1997) and Mediterranean Area (760 BC-1500).*

Kanamori, H. (1983). *Magnitude scale and quantification of earthquakes*, Tectonophysics 93, 185-199.

Lavecchia, G., Brozzetti, F., Barchi, M., Menichetti, M., and Keller, J. V. (1994). *Seismotectonic zoning in east-central Italy deduced from an analysis of the Neogene to present deformations and related stress fields.* Geological Society of America Bulletin, 106(9), 1107-1120.

Marzocchi, W., A. Amato, A. Akinci, C. Chiarabba, A. M. Lombardi, D. Pantosti, and Boschi, E. (2012). *A Ten-Year Earthquake Occurrence Model for Italy.* Bull. Seismol. Soc. Am., 102(3), 1195-1213.

Montone, P., Mariucci, M. T., Pondrelli, S., and Amato, A. (2004). *An improved stress map for Italy and surrounding regions (central Mediterranean).* Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 109(B10).

Pondrelli, S., Salimbeni, S., Ekström, G., Morelli, A., Gasperini, P., and Vannucci, G. (2006). *The Italian CMT dataset from 1977 to the present. Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 159(3), 286-303.

Pucci, S., De Martini, P. M., Civico, R., Villani, F., Nappi, R., Ricci, T., … Pantosti, D. (2017). *Coseismic ruptures of the 24 August 2016, Mw 6.0 Amatrice earthquake (central Italy).* Geophysical Research Letters, 44(5), 2138–2147. https://doi.org/10.1002/2016GL071859

Reid, H. F. (1910). *The machanism of the earthquake, in The California Earthquake of April 18, 1906.* Report of the state earthquake investigation commission, 2, 16-28.

Rovida, A., M. Locati, R. Camassi, B. Lolli, and Gasperini, P. (eds.) (2016). *CPTI15, the 2015 Version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.* doi: http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15

Sanvico, M. (2013), *Sindaco Novelli. L'orgoglio della ricostruzione, la fierezza dell'onestà.* Stabilimento Tipografico Pliniana.

Scrocca, D., Doglioni, C., Innocenti, F., Manetti, P., Mazzotti, A., Bertelli, L., Burbi, L., and D'Offizi, S., (eds.), 2003. *CROP Atlas: seismic reflection profiles of the Italian crust.* Mem. Descr. Carta Geol. It., 62, 194 pp, 71 plates.

Wells, D. L., and Coppersmith, K. J. (1994). *New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement.* Bulletin of the seismological Society of America, 84(4), 974-1002.

In bozza

Effetti geomorfologici e variazioni idrogeologiche indotti dai terremoti: esempi nell'area epicentrale della sequenza sismica 2016-2017 del centro Italia

Domenico Aringoli
Bufalini M.
Piero Farabollini
Marco Giacopetti
Marco Materazzi
Gilberto Pambianchi
Università degli Studi di Camerino – Sezione di Geologia

Gianni Scalella
Regione Marche

Geomorphological effects and hydrogeological variations induced by earthquakes: study cases from 2016-2017central Italy epicentral area

Parole chiave (*key words*): Effetti geomorfologici (*Geomorphological effects*), variazioni idrogeologiche (*hydrogeological variations*), crisi sismica (*seismic crisis*), Italia centrale (*central Italy*)

INTRODUZIONE

Il 24 agosto 2016 un terremoto di magnitudo 6.0 ha colpito l'Italia centrale, con epicentro situato ai confini tra le regioni Lazio, Marche, Abruzzo e Umbria, nei pressi dell'abitato di Accumoli (Rieti, Lazio). A seguire, il 26 ottobre e successivamente il 30 ottobre 2016 e il 18 gennaio 2017 si sono verificati altri quattro importanti eventi sismici, rispettivamente pari a 5.7M, 5.9M, 6.5M e 5.7M, che hanno ampliato l'area interessata dalla sequenza sismica, che corrisponde a circa 2000km^2 (*Fig.* 1). Subito dopo l'evento principale, sono state avviate, da parte di numerosi ricercatori, verifiche sugli effetti ambientali del terremoto legati alla riattivazione tettonica della frattura attiva precedentemente mappata (ossia primaria), nonché sugli effetti secondari legati alla scossa principale (ad es. frane, fratture al suolo, variazioni delle caratteristiche idrogeologiche delle sorgenti, sinkhole, ecc.).

CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E SISMICHE DELL'AREA

Il bacino del Castelluccio è una depressione intramontana, situata nell'Appennino centrale e riempita da sedimenti fluvio-lacustri deposti durante il Pleistocene medio fino all'Olocene; le unità di base sono invece rappresentate da calcari calcarei e pelagici di età Giurassico-Miocene (*Fig.* 2).

La principale modellazione geomorfologica del paesaggio è iniziata durante il Pliocenico finale, quando condizioni climatiche umide o subtropicali, favorevoli ai processi di pianificazione, hanno creato un paleo-paesaggio a bassa energia di rilievo.

La fase tectonica successiva, attiva dal Pleistocene inferiore-medio fino ad ora, è caratterizzata da faglie dip-slip ed oblique e da forte entità del sollevamento. Questi processi

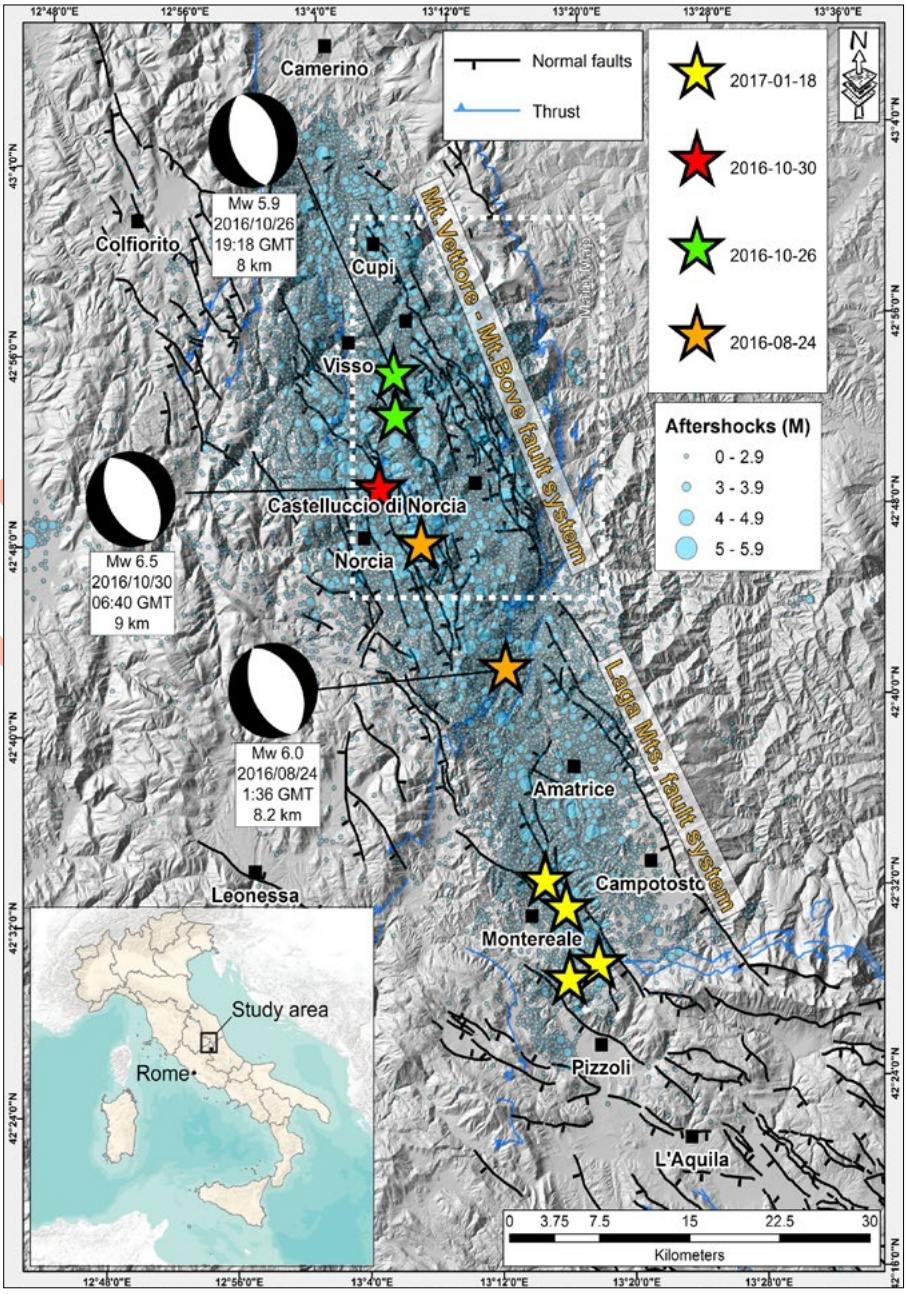
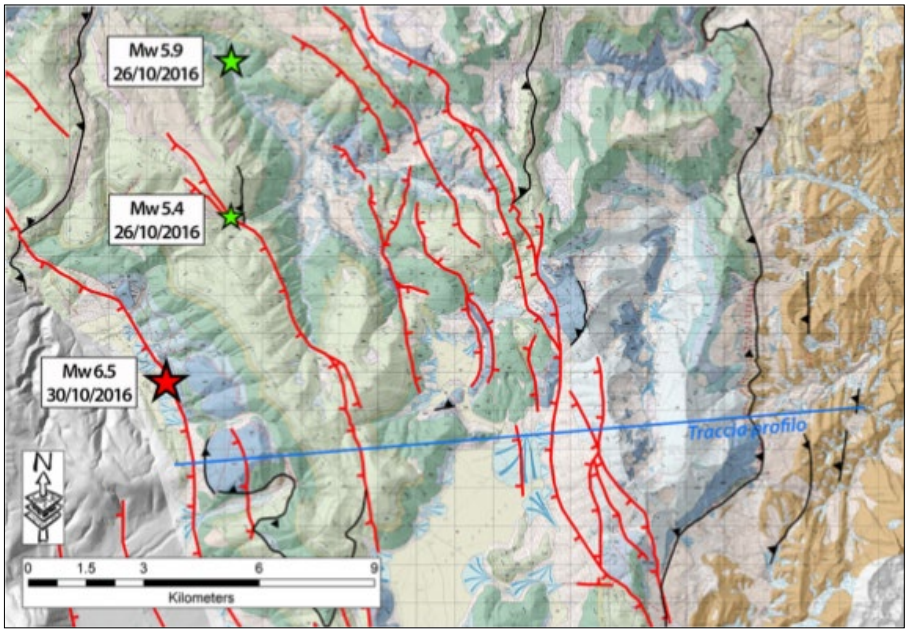


Figura 1 – Area interessata dalla sequenza sismica 2016-2017 del centro Italia (modificata da Open EMERGEO Working Group, 2017, in stampa)



le di alcune faglie sismogenetiche profonde (Tondi & Cello, 2003).

Il versante del Monte Vettore è caratterizzato dalla presenza di due faglie normali: la faglia più bassa è presente alla base della Scarpata del Vettore e limita il bacino del Castelluccio. La faglia più in alto invece, corre molto vicino alla cima del Mt. Redentore, ed è contrassegnata da una scarpata di faglia chiaramente visibile per una lunghezza di oltre 7 km, comunemente chiamata "Cordone del Vettore" (Pierantoni *et al.*, 2013). Infatti il versante occidentale del Monte Vettore è l'espressione morfologica di tale elemento tettonico di immersione SW NNW-SSE (lunghezza totale 30 km) con terminazione settentrionale a Mt. Bove. Lo spostamento stratigrafico totale lungo il piano di faglia è dell'ordine di mille metri (*Fig.* 2).

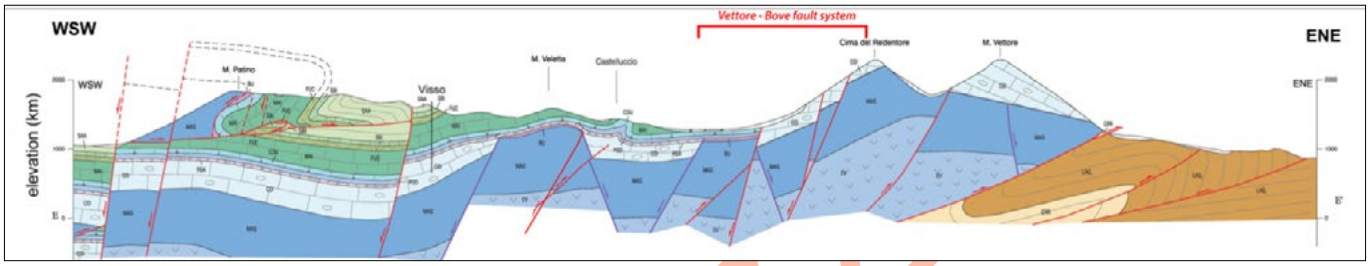


Figura 2 – Carta geologica schematica e profilo geologico (da Pierantoni et al.*, 2013)*

hanno interrotto e disarticolato il precedente paesaggio, formando una serie di depressioni tettoniche, quali Colfiorito, Castelluccio, Norcia, Cascia, Leonessa, ecc., che caratterizzano tutta l'area appenninica (Coltorti & Farabollini, 2002 cum bib.; Aringoli *et al.*, 2016). Il sollevamento quaternario prodottosi, insieme all'assetto stratigrafico, ha generato una intensa attività morfodinamica che ha portato alla rimodellazione significativa del paesaggio precedente, attivando anche grandi frane e deformazioni gravitative profonde di versante o DSGSD (Aringoli *et al.*, 1996; Aringoli *et al.*, 2010a e b), alcune delle quali hanno mostrato indizi di riattivazione durante l'attuale sequenza sismica. Per quanto riguarda la sismicità, sono stati documentati due principali terremoti distruttivi storici e strumentali, il 14 gennaio 1703 (X MCS, Mw = 6.6) e il 19 settembre 1979 (Ms = 5.9, profondità focale di 6-8 km) anche se molti altri si sono verificati nel tempo (Rovida *et al.*, 2016). I dati di errore e i meccanismi focali del terremoto mostrano un'estensione NE-SW preesistente, ma sono stati anche determinati meccanismi strike-slip e inversi (Cello *et al.*, 1997). Questi terremoti storici, compreso quello recente, sono stati associati all'attività di un sistema di faglie attive coerenti ed interagenti che corre in direzione NNW-SSE da Colfiorito all'Aquila (*Fig.* 3). Questo sistema di faglie è stato interpretato anche come l'espressione superficia-

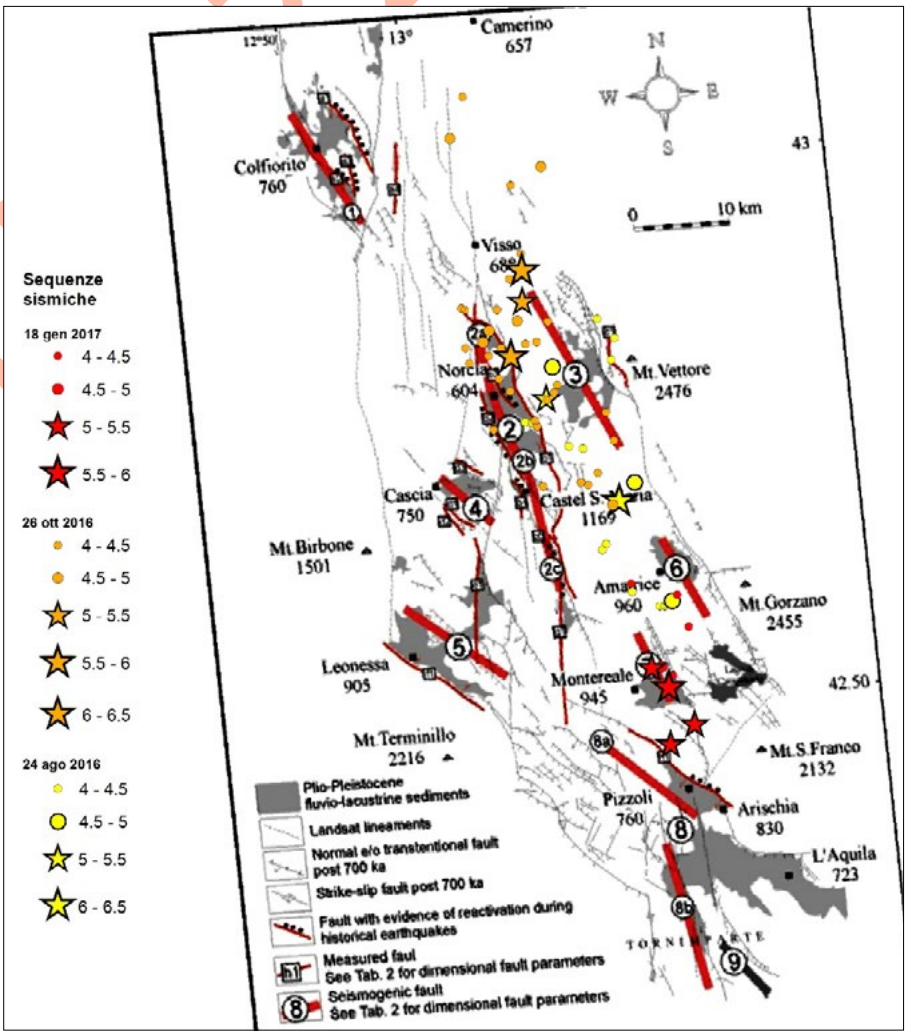


Figura 3 – Il Sistema di faglie dell'Appennino Centrale e r elativa interpretazione sismogenetica (da Cello & Tondi, 2003)

EFFETTI GEOMORFOLOGICI COSISMICI

Subito dopo gli eventi del 24 agosto e, successivamente, dopo quelli di ottobre e di gennaio, il Gruppo Geomorpholab dell'Università di Camerino, con colleghi geologi della Regione Marche e di altri Enti di Ricerca (DPCN, INGV e ISPRA), si è mosso sul territorio al fine di fotografare, cartografare, classificare, catalogare ed informatizzare, le innumerevoli evidenze di superficie legate allo scuotimento sismico nell'area del cratere.

Gli effetti diretti collegati alla deformazione del suolo in corrispondenza della faglia la cui rottura ha generato l'evento sismico sono limitati ad un'area poco estesa e prossima alla rottura. Gli effetti secondari risultanti dal passaggio temporaneo delle onde sismiche, sono stati riconosciuti anche molto lontano dagli epicentri, causando una diffusa presenza di effetti permanenti sulla superficie terrestre che, in rapporto alla lunghezza della faglia ed alla magnitudo liberata dall'evento (ESI Scale, 2007), sono state valutate dell'ordine delle migliaia di km^2.

Sono state raccolte più di 4000 evidenze che hanno permesso di costruire una banca-dati sugli effetti del terremoto distinti in effetti diretti ed effetti secondari (Farabollini *et al*., 2017): fratture al suolo, attivazione e riattivazione di grandi frane e DGPV, collassi di doline; vulcanelli di fango e fenomeni di liquefazione, sbarramenti per frana, cedimenti differenziali, modificazioni del regime idrico delle sorgenti e della portata dei fiumi, fessure e/o fratture e/o deformazioni su infrastrutture viarie ed a rete, ecc.

Le osservazioni sugli effetti geomorfologici provocati dal sisma evidenziano una stretta correlazione e casistica con quelli che si sono prodotti in occasione di precedenti eventi sismici che hanno interessato precedentemente l'appennino centrale, quali ad es. la sequenza sismica Umbria-Marche, 1997 o quella de L'Aquila, 2009, anche se quest'ultimi hanno mostrato evidenze molto minori e diffuse in un territorio notevolmente più limitato.

Di seguito vengono proposte alcune situazioni che, a parere degli scriventi, meglio rappresentano modificazioni del paesaggio legate al terremoto: fenomeni di deformazione gravitativa profonda che, riattivatesi a seguito della sequenza sismica, richiedono monitoraggi e studi di estremo dettaglio alfine di capirne l'evoluzione spazio-temporale permettendone quindi anche la possibilità di interventi di mitigazione o specifiche azioni di "convivenza".

1- Monte Vettore

In cima al Monte Vettore, a circa 2230 metri di altitudine, lungo l'allineamento di Punta di Prato Pulito-Monte Vettore, possono essere osservate numerose trincee e sdoppiamenti di cresta orientate circa E-W (*Fig.* 4), con lunghezze superiori a 100 m, larghezza fino a 4 metri e profondità superiore a 1 m, parzialmente riempite di detriti e vegetate. All'interno di tali depressioni sono stati identificate fessure e fratture di circa 20 cm di profondità e 5 cm di larghezza e free-face in roccia, interpretate come conseguenza della compattazione del materiale di riempimento durante lo scuotimento sismico (*Fig.* 4).

Anche il versante sud-occidentale è fortemente deformato e presenta una morfologia con profilo convesso con piccole e arrotondate contropendenze, riempiti di detriti e suolo; nonostante la litologia sia la stessa, la giacitura degli strati cambia lungo il pendio rispetto alla cima del rilievo. Inoltre, sono stati osservati piani di taglio compressivi e piccole frane superficiali riattivate dal terremoto.

Gli elementi morfologici sopra menzionati permettono di ipotizzare la presenza di una deformazione gravitazionale profonda (DSGSD) che interessa la parte più alta del versante (Punta di Prato Pulito – Monte Vettoretto) con una profondità di centinaia di metri e parzialmente coperta da materiale detritico (*Fig.* 5a e b). La genesi di questo fenomeno, che può essere definita come una deep rock creep, può essere associata all'alta energia di rilievo generata dal sollevamento tettonico quaternario e all'interazione tra il sistema di faglia del Monte Vettore e del sovrascorrimento dei Monti Sibillini (Aringoli *et al*., 2016). I fattori di attivazione possono essere correlati a eventi sismici (come in questo caso) o agli effetti conseguenti eventi meteorologici estremi.



Figura 4 – Fratture e fessure osservate lungo la cresta di Monte Vettore

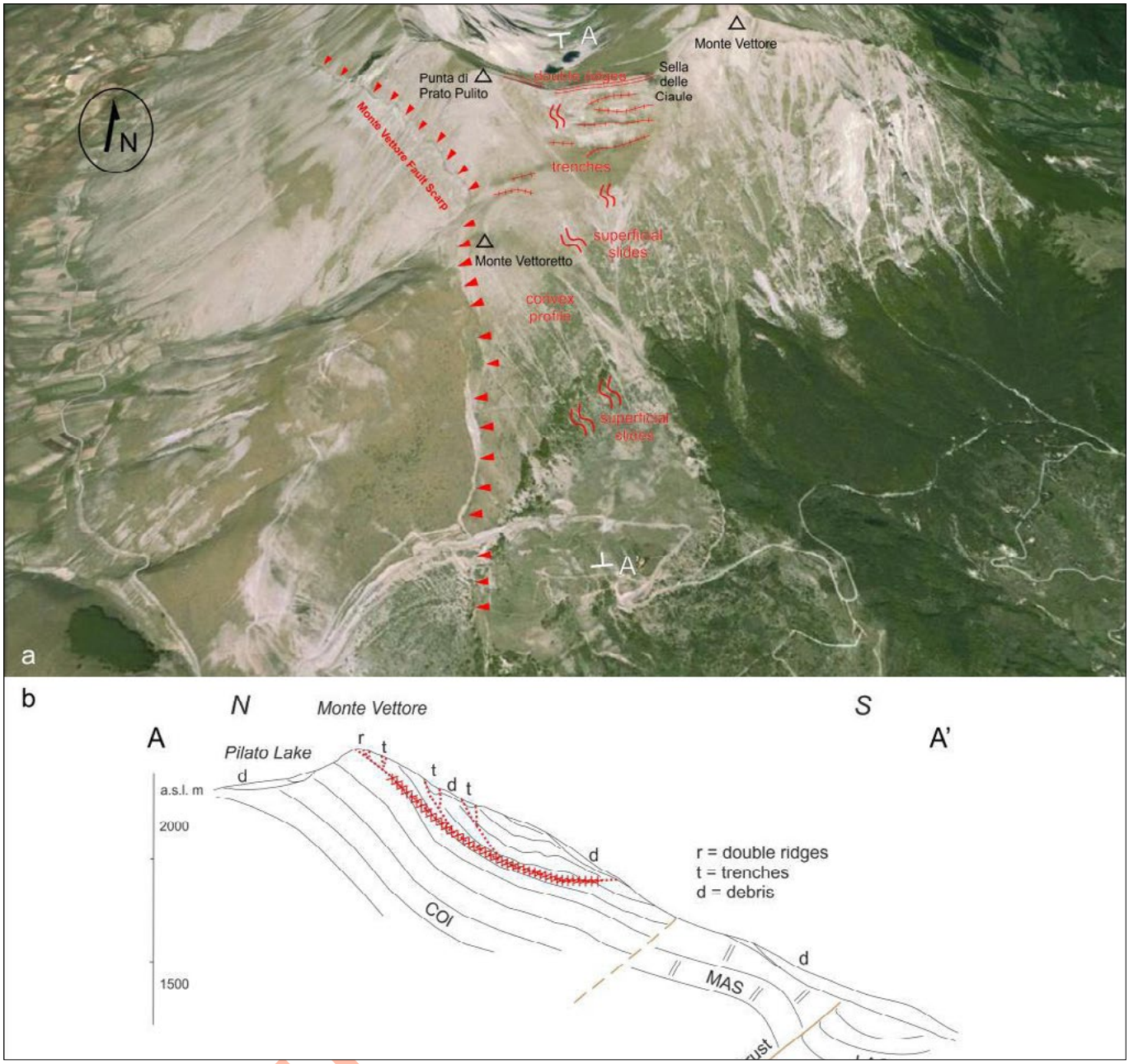


Figura 5 – Schema geomorfologico (a) e profilo interpretativo (b) dell'area del monte Vettoretto – Punta di Prato Pulito (da Aringoli et al.*, 2016 modificato e ridisegnato)*

2- Passo Cattivo

Nell'area di Passo Cattivo, alla sommità della valle del Tenna, sono stati riconosciuti elementi tipici delle deformazioni gravitative profonde di versante che hanno avuto anche risentimenti superficiali, sempre legati alla gravità. In particolare in cresta al versante Cima Vallinfante – Monte Porche sono riconoscibili una serie di trincee dalla forma arcuata, parallele tra loro e via via di minore dimensione ed estensione procedendo verso il fondovalle del fiume Tenna, la più importante delle quali taglia la sommità del crinale stesso (*Fig.* 6), presenti sia nelle immagini da satellite del 4 agosto 2013 e del 18 maggio 2016 e che sembrano non aver subito riattivazioni a seguito dell'evento sismico del 24 agosto 2016 (*Fig.* 7) ma che invece presentano una larghezza di circa 2 metri ed una profondità valutabile in circa 1,5m, dopo gli eventi sismici dell'ottobre 2016 (particolari della *Fig.* 6).



Figura 6 – Immagine dall'alto dell'area di Passo Cattivo (Monte Bicco-Monte Porche): in primo piano la frattura della larghezza di circa 2 m e della profondità anche di 1,5m (nel dettaglio in basso a destra) che taglia, con una geometria arcuata, la cresta del rilievo; in alto (colore bianco) la frana di crollo che ha interessato il versante di Vallinfante creando enormi coni detritici e frammentando la scarpata con creste aggettanti e dell'altezza di oltre 10m (particolare in alto a destra). La frana è stata stimata in circa 150.000 m^3 di roccia. Da notare le fratture di tensione a monte della scarpata principale e che evidenziano situazioni di forte instabilità del versante



Figura 7 – Immagine da Google Earth dell'area di Passo Cattivo: in alto immagine del 18 maggio 2016; in basso quella del 25 agosto 2016

Sempre dal confronto delle immagini di *Fig.* 6 e *Fig.* 7 è anche possibile notare come i fenomeni franosi, legati a crolli e valanghe di roccia, presenti alla base del versante e che si producono lungo la valle di Vallinfante (in alto nelle foto), si siano riattivati dopo gli eventi di ottobre producendo estese conoidi detritiche alla base e un evidente arretramento della scarpata principale, con fratture di tensione allineate secondo la forma arcuata della scarpata di frana stessa, con distacchi, pinnacoli rocciosi e blocchi aggettanti (particolare della *Fig.* 6); tali materiali, inoltre, potrebbero rimobilizzarsi anche a seguito dell'azione crioclastica data sia la forte fratturazione che pervade l'ammasso roccioso sia per la natura calcarea dell'ammasso stesso e delle sue caratteristiche giaciturali, leggermente a franapoggio.

Altri effetti cosismici di minore entità, ma comunque importanti per la loro diffusione in tutta l'area del cratere e rappresentativi di una magnitudo a luoghi superiore a quanto finora ipotizzato (Esi Scale, 2007), sono rappresentati essenzialmente da:

1. crolli di roccia e/o *debris avalanches*, lungo versanti a luoghi anche non molto ripidi, interessando aree antropizzate e non (Valnerina, Monte Vettore, Sasso Spaccato - *Fig.* 8) e che in alcuni casi hanno anche prodotto lo sbarramento di fiumi con la creazione di bacini lacustri poco profondi e temporanei (Valnerina – *Fig.* 9a; Gola dell'Infernaccio – *Fig.* 9b);
2. valanghe e/o slavine sul versante sud-est del Monte Sibilla – Monte Porche e Monte Bove connesse con le precipitazioni di tipo nevoso



Figura 8 – Frana di crollo in località Sasso Spaccato di Bolognola. Il fenomeno ha riguardato circa 30.000m³ di materiale



Figura 9 – Sbarramenti di corsi d'acqua per effetto di frane di crollo: a- Valnerina; b- Gola dell'Infernaccio

del 21-22 gennaio 2017 al quale hanno fatto seguito scosse sismiche importanti;

3. attivazione e/o riattivazione di frane superficiali molte delle quali hanno coinvolto infrastrutture viarie e a rete dell'area del "cratere" (*Fig.* 10a e b);
4. cedimenti e/o collassi, come nel caso della "voragine senza fondo" che si è formata sul Pian Grande di Castelluccio rivelatasi poi come la riattivazione di una delle numerose doline presenti nella piana, con uno sprofondamento di circa 4 metri e per una larghezza di circa 5 metri o come invece fenomeni di liquefazione riconosciuti in località Caldarola nei pressi della zona industriale;
5. variazioni di portata di alcune sorgenti, la cui trattazione sarà oggetto del paragrafo successivo;
6. deformazioni e/o fratturazione al suolo (*Fig.* 11a e b) o sul manto stradale (*Fig.* 11c e d) che hanno interessato diffusamente tutta l'area epicentrale: per le prime, sicuramente le più estese, da segnalare quelle che percorrono le creste dell'allineamento Monte Porche-Cima Vallelunga-Monte Argentella-Monte Sibilla, per una lunghezza stimata di oltre 3km; per le seconde invece, la valutazione degli effetti deformativi permettono di stimare in quasi 1200 i km di infrastrutture viarie coinvolte da tali effetti;



Figura 10 – Riattivazione di frane (in senso orario dall'alto a sinistra: Casali di ussita; Spina di Gualdo; Castelluccio, Gualdo di Castelsantangelo sul Nera)



Figura 11 – a) Fratture in cresta a Cima Vallelunga; b) Monte Argentella; c) galleria Capodacqua: la frattura corrisponde alla dislocazione prodotta dalla faglia del Monte Vettore; d) viadotto Capodacqua

7. assestamenti e/o compattazione dei sedimenti quaternari che talvolta sono stati la causa dell'elevato grado di danneggiamento di infrastrutture e di centri abitati (Pescara del Tronto, Piedilama, Pretare, Amatrice, ecc).

Per questa ultima casistica, in particolare, è da menzionare la situazione della frazione di Pescara del Tronto: l'analisi geomorfologica, sia in campagna che in foto aerea, e l'analisi di dettaglio sia del substrato pre-quaternario che dei sedimenti quaternari di riempimento della valle del Tronto e delle loro caratteristiche geometriche e stratigrafiche, hanno permesso di evidenziare un quadro molto più complesso rispetto a quello che ci si aspettava sulla base della semplice osservazione della risposta sismica locale dei terreni. Per effetto delle forti eterogeneità del substrato quaternario, dato da spessori notevoli di sedimenti quaternari, diversamente organizzati e cementati, con forti variazioni laterali e verticali di facies, che passano dai depositi detritici stratificati di versante, a depositi caotici di estesi corpi di frana fino a depositi travertinosi in facies "di cascata" interdigitati a depositi in facies "di cascata e vasca", è stato possibile motivare il totale crollo dell'abitato di Pescara del Tronto (*Fig.* 12), rispetto al forte danneggiamento che invece ha subito l'abitato di Capodacqua, posto a pochi km dal primo. L'ampia area di distribuzione degli effetti cosismici e la loro diffusa variabilità e frequenza, ha permesso, infatti, di comprendere come le cause della forte eterogeneità degli effetti sull'ambiente fisico e della forte diversità, a parità di contesto strutturale dell'edificato, del danneggiamento, è da imputare ad un contesto geomorfologico molto articolato, dato anche da morfologie sepolte che a volte sfuggono alla sola analisi di campagna.

Per quanto riguarda infine la presenza di fratture dall'andamento anche arcuato, depressioni circolari e morfologie circoidi, in aree a bassa o nulla energia di rilievo, che a luoghi ha anche condizionato l'antropizzazione del territorio, sia nelle infrastrutture che nelle attività agricole, è stata messa in relazione con la presenza di doline e/o sinkhole, sia su depositi quaternari (Pian Grande di Castelluccio) che su substrato calcareo (Monte Bove-Monte Porche-Monte Sibilla). Tali morfologie, legate a processi carsici che hanno interessato il substrato calcareo dell'area coinvolta dal sisma, molto spesso risultano mascherate dai depositi di riempimento quaternario, e riconoscibili solamente ad una attenta analisi geomorfologica da foto aerea e di campagna. Con ogni probabilità, la differente presenza ed eterogeneità di comportamento, sia della fratturazione al suolo e del danneggiamento, può trovare ampia spiegazione, appunto nella presenza di tali manifestazioni.

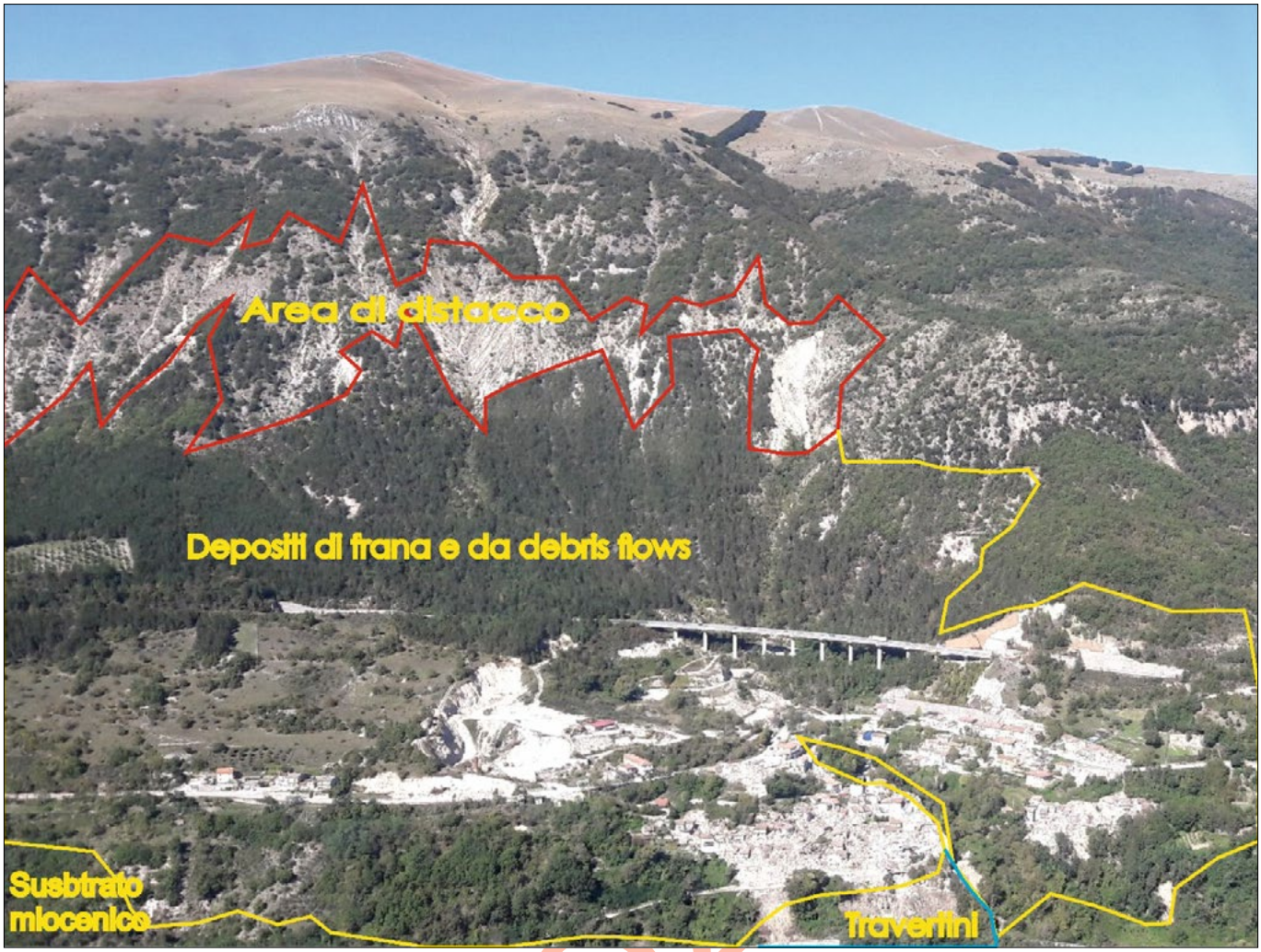


Figura 12 – Panoramica dell'abitato di Pescara del Tronto. Pescara del Tronto è l'abitato che è stato completamento distrutto dall'evento sismico del 24 agosto e successivamente da quello del 30 ottobre (da Farabollini et al.*, 2017; modificato)*

EVIDENZE DI MODIFICAZIONI IDROGEOLOGICHE

In concomitanza di eventi sismici molto intensi, come quelli accaduti di recente, è abbastanza comune notare anomalie nel regime idrologico dei corsi d'acqua e/o nei livelli delle falde acquifere che alimentano le principali sorgenti spesso captate a scopo idropotabile.

Per quanto riguarda le acque sotterranee, nel corso dell'attuale sequenza sismica, già a seguito del sisma dello 24 agosto 2016, sono stati notati evidenti incrementi di portata di quasi tutte le maggiori sorgenti nell'area epicentrale. Sorgenti come Pescara d'Arquata (*Fig.* 13), Capodacqua, Foce di Montemonaco, (per citarne alcune) alimentate dagli acquiferi dell'area dei Piani di Castelluccio e del Monte Vettore, o come la sorgente San Chiodo di Castelsantangelo sul Nera hanno infatti mostrato, nelle ore successive al sisma, aumenti di portata anche di molte decine di litri/secondo oltre che temporanee alterazioni del chimismo e sporadici aumenti di torbidità dell'acqua (Giacopetti *et al.*, in stampa). Tali fenomeni,

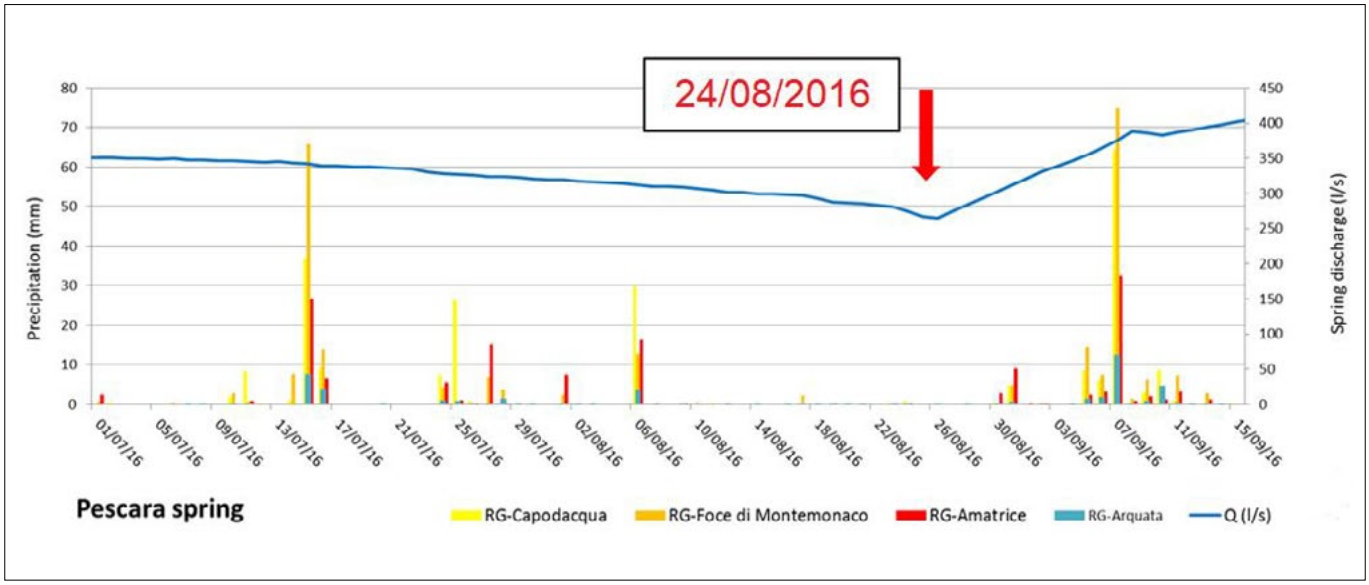


Figura 13 – Aumento di portata nella sorgente di Pescara d'Arquata dopo il sisma del 24 agosto 2016 (modificato da Giacopetti et al.*, in stampa)*

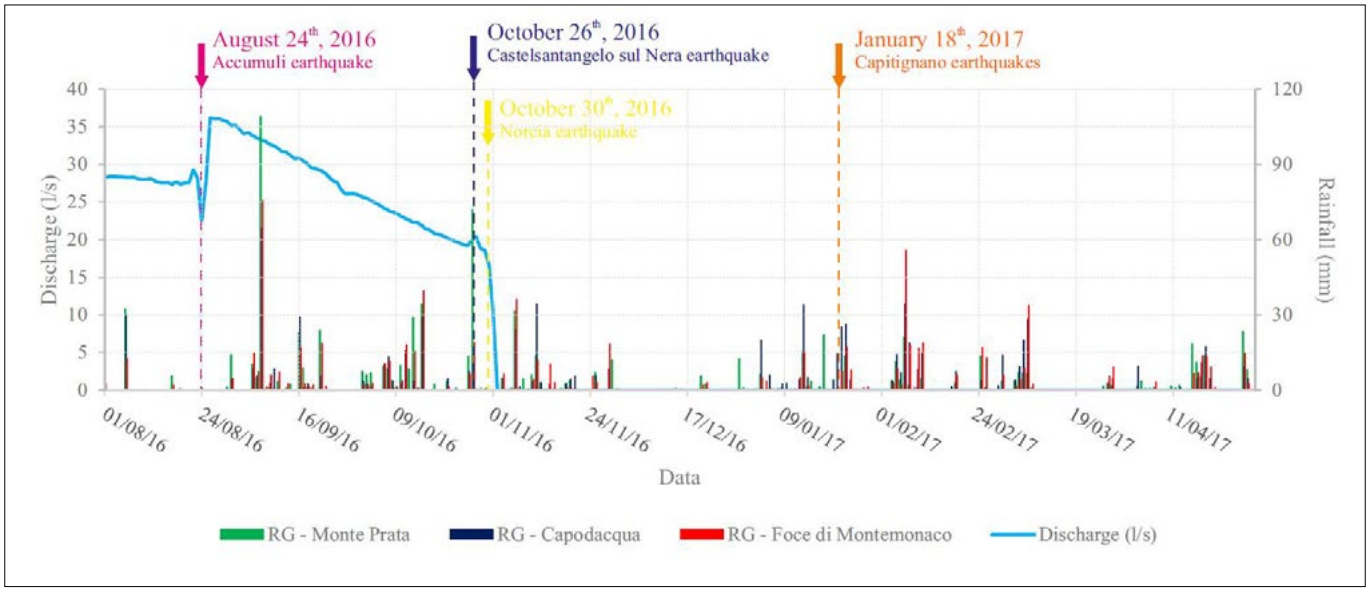


Figura 14 – Sorgente di Forca Canapine; incremento temporaneo di portata a seguito del sisma del 24 agosto poi seguito da una progressiva diminuzione, fino alla definitiva scomparsa dopo gli eventi di fine ottobre (modificato da Giacopetti et al.*, in stampa)*

come detto, sono noti nella letteratura scientifica e sono stati osservati anche durante la sequenza sismica del 1997 a Colfiorito (Carro *et al.*, 2005) o a seguito del terremoto dell'Aquila del 2009. Principalmente interessano gli acquiferi profondi con effetti che spesso tendono a perdurare per molti mesi (Amoruso *et al.*, 2011) per poi ritornare lentamente alla normalità oppure, in alcuni casi, a rimanere perenni.

Le cause di tali variazioni, sebbene i meccanismi non siano ancora del tutto chiariti e varino da sito a sito, sono riconducibili essenzialmente a modificazioni dei circuiti delle acque sotterranee; abbastanza comune ad esempio è l'apertura di nuovi sistemi di fratture ma, ancor più comunemente, è l'aumento di permeabilità d'insieme dell'acquifero come conseguenza di fenomeni di "ripulitura" delle fratture a seguito degli incrementi di pressione indotti dal sisma.

Differenti sono state le conseguenze del sisma sulle sorgenti minori o più superficiali: non sono rare infatti testimonianze di sorgenti "scomparse" (come quella di Forca Canapine nell'ascolano, scomparsa dopo le scosse del 26 e 30 ottobre 2016 (*Fig.* 14) e che contribuiva con una portata di oltre 50 l/s all'approvvigionamento idrico dei comuni del Piceno) o, al contrario, di emergenze che, da anni non più attive, hanno ricominciato a funzionare.

L'esempio sicuramente più impressionante è quello della sorgente del Torbidone, nel comune di Norcia che, scomparsa dopo il terremoto del 1979, ha ricominciato a funzionare dopo il 30 ottobre 2016 con una portata che è andata via via aumentando fino a raggiungere, all'inizio di febbraio, circa 1600 l/s (*Fig.* 15).

Questi effetti sulle sorgenti rappresentano elementi di forte criticità per quanto riguarda la gestione delle risorse idriche. Oltre alle sorgenti scomparse, che renderanno necessario il reperimento di nuove fonti di approvvigionamento o ad un aumento nei volumi captati in quelle esistenti (con tutte le problematiche ambientali e normative



Figura 15 – Sorgente del Torbidone (Norcia), febbraio 2017: il continuo incremento di portata ha reso necessario ricreare ed ampliare il vecchio alveo "tombato" dopo il terremoto del 1979

BOZZA



Figura 16 – Il fiume Nera, già a rischio esondazione, a fine gennaio 2017

connesse), ad aumenti di portata (a meno di complesse modificazioni dei circuiti sotterranei) corrisponderanno necessariamente diminuzioni nei tempi di residenza e di immagazzinamento della risorsa idrica: tutto ciò comporterà una seria riflessione sui piani di sfruttamento futuri.

Gli stessi meccanismi sono alla base dei fenomeni osservati recentemente lungo il fiume Nera in prossimità dell'abitato di Castelsantangelo (*Fig.* 16) dove il fiume ha mostrato cospicui e repentini incrementi di portata (circa 7000 l/s alla fine di novembre 2016, più del doppio del normale regime) sicuramente non attribuibili alle precipitazioni e neanche al periodo stagionale, essendo solitamente in regime di magra in autunno. Contestualmente gli abitanti del luogo hanno anche riferito di allagamenti in prossimità del corso d'acqua e di venute di acqua dal sottosuolo.

Anche questo fenomeno sarebbe legato all'incremento di livello della falda acquifera che, presente poco al di sotto del piano campagna e direttamente collegata al corso d'acqua, tende a salire per effetto dell'aumento di pressione sopra descritto. Effetti simili, come per le sorgenti, sono stati osservati nelle nostre aree anche durante la sequenza sismica del 1997, nei tratti montani del fiume Topino o nel torrente Vigi (tributario del fiume Nera).

Sebbene non rilevati in tutti i tratti montani dei corsi d'acqua dell'area epicentrale, questi effetti sono potenzialmente pericolosi in quanto predispongono i corsi d'acqua a possibili fenomeni di esondazione in concomitanza di eventi meteorologici intensi o di repentini scioglimenti del manto nevoso durante la stagione invernale e primaverile.

BIBLIOGRAFIA

Amoruso, A., Crescentini, L., Petitta, M., Rusi, S. and Tallini, M. (2011), *Impact of the April 6, 2009 L'Aquila earthquake on groundwater flow in the Gran Sasso carbonate aquifer, central Italy.* Hydrological Processes, 25, 1754-1764. doi: 10.1002/hyp.7933.

Aringoli D., Farabollini P., Giacopetti M., Materazzi M., Paggi S., Pambianchi G., Pierantoni P.P., Pistolesi E., Pitts A. & Tondi E. (2016), *The August 24th 2016 Accumoli earthquake: surface faulting and Deep-Seated Gravitational Slope Deformation (DSGSD) in the Monte Vettore area.* Ann. Geophys., 59(5), http://dx.doi.org/10.4401/ag-7199.

Aringoli D., Gentili B. & Pambianchi G. (2010a), *Deep-seated gravitational slope deformations in active tectonics areas of the Umbria-Marche Apennine (central Italy).* Geogr. Fis. Dinam. Quat., 33 (2), pp. 127-140.

Aringoli D., Gentili B., Materazzi M. & Pambianchi G. (2010b), *Mass movements in Adriatic Central Italy: Activation and evolutive control factors.* In: Werner, E D. and Friedman H.P., Eds., Landslides: Causes, Types and Effects, pp. 1-72.

Carro, M., De Amicis, M., Luzi, L. (2005), *Hydrogeological changes related to the Umbria–Marche earthquake of 26 September 1997 (Central Italy).* Natural Hazards 34: 315-339.

Coltorti M. & Farabollini P. (2002), *Quaternary evolution of the Castelluccio di Norcia Basin (Umbro-Marchean Apennine, Central Italy).* Il Quaternario, 8 (1): 149-166.

EMERGEO Working Group (2016), *Coseismic effects of the 2016 Amatrice seismic sequence: First geological results.* Ann. Geophys., 59(5).

Farabollini P., Angelini S., Aringoli D., Fazzini M., Lugeri F., Materazzi M., Pambianchi G. & Scalella G. (2017), *La sequenza sismica dell'Italia centrale del 24 agosto 2016 e successive: contributi alla conoscenza e la banca dati degli effetti di superficie.* Rendiconti Online, vol. spec. GIT 2017, Gavorrano Terme, in stampa.

Giacopetti M., Fabbrocino S., Ianni C., Materazzi M., Pambianchi G. (in stampa), *Co-seismic and post-seismic changes in groundwater discharge: first results from the epicentral region of the Central Italy earthquake 2016.* Rendiconti Online, in stampa.

Open EMERGEO Working Group (2017), *Surface ruptures following the 30 October 2016 Mw 6.5 Norcia earthquake, central Italy.* Journ Map., in press.

Pierantoni, P., G. Deiana, and S. Galdenzi (2013), *Stratigraphic and structural features of the Sibillini Mountains (Umbria-Marche Apennines, Italy).* Ital. J. Geosci., 132(3), 497-520.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B. & Gasperi (2016), *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes.* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15

Tondi E. & Cello G. (2003), *Spatiotemporal Evolution of the Central Apennines Fault System (Italy).* Journal of Geodynamics, 36, 113-128.

Tondi E., Cello G. & Mazzoli S. (1997), *Strutture sismogenetiche in Appennino centrale: potenziale sismico, analisi frattale e processi di crescita.* Il Quaternario, 10 (2), 409-414.

5.
DALLA GESTIONE DELLE EMERGENZE ALLA RICOSTRUZIONE

II BOZZA

Earth Observation Systems: dall'emergenza alla proposta di un progetto integrato per la gestione del territorio

Elena Candigliota
Ricercatrice, ENEA Centro Ricerche Bologna
E-mail: elena.candigliota@enea.it

Francesco Immordino
Ricercatore, ENEA Centro Ricerche Bologna
E-mail: francesco.immordino@enea.it

Earth Observation Systems: from emercency to integrated project proposal for land management

Parole chiave (*key words*): telerilevamento (*remote sensing*), terremoto (*earthquake*), danni edifici (*building damages*), gestione territorio (*land management*)

INTRODUZIONE

I disastri naturali sono eventi estremi che provocano perdita di vite umane e danni o perdite di edifici, patrimonio culturale, sistemi di comunicazione, ambiente naturale ecc.

I sistemi di Earth Observation (EOS) rappresentano lo strumento ideale per la gestione di tali eventi, in quanto forniscono informazioni su grandi aree e ad intervalli brevi. Anche se questa tecnologia potrebbe essere utilizzata nella prevenzione delle catastrofi per una più attenta gestione del territorio, di fatto è oggi per lo più utilizzata nell'emergenza e nelle analisi post-evento.

Di seguito viene descritto il trattamento di dati satellitari multispettrali per la conoscenza del territorio e per l'individuazione del danno nel post terremoto dell'Italia Centrale nel centro storico di Amatrice.

Dalla gestione dell'emergenza e dall'analisi territoriale tesa alla prevenzione nasce la proposta di un programma di lavoro integrato tra enti di ricerca e uffici governativi che ha come obiettivo lo studio multitemporale dei fenomeni di degrado e la gestione di processi geoambientali attraverso tecniche satellitari, ottiche e SAR, per la gestione del territorio.

1. EARTH OBSERVATION SYSTEMS

L'Earth Observing System (EOS) è un programma della NASA per l'osservazione della Terra dallo spazio, comprendente una serie di satelliti artificiali e di strumenti scientifici posti in orbita attorno al pianeta. Obiettivo del programma è l'osservazione dei fenomeni di lunga durata che interessano la superficie dei continenti, la biosfera, l'atmosfera e gli oceani della Terra. Il programma costituisce la principale risorsa della ricerca *Earth Science Enterprise* della NASA, il cui scopo è di sviluppare una migliore comprensione della Terra e della risposta ai cambiamenti naturali e determinati dalle attività umane allo scopo di giungere a migliori previsioni dei rischi climatici, meteorologici e, in generale, naturali, cui possono incorrere le generazioni presenti e future.

1.1 EOS per gli studi territoriali

Nell'analisi di un'immagine satellitare, attraverso un processo di interpretazione e di integrazione di informazioni spettrali e spaziali, è possibile arrivare alla realizzazione di un prodotto cartografico digitale a supporto della gestione territoriale, permettendo la spazializzazione di informazioni puntuali.

La disponibilità dei dati e della visione sinottica offre la possibilità di osservare le forme del territorio in ambito locale ed in scala regionale. L'analisi delle scene satellitari multispettrali permette di disporre di sintesi cromatiche composte da bande spettrali differenti; durante le fasi di interpretazione e delimitazione delle forme del paesaggio o di strutture geomorfologiche, le differenti combinazioni RGB (*Fig.* 1) possono essere alternate fra loro permettendo il confronto tra le diverse informazioni estratte.

Nel paesaggio è possibile leggere i caratteri di un'evoluzione a volte complessa, inserita in sistemi morfodinamici che si sono alternati anche in tempi geologici recenti. L'erosione del

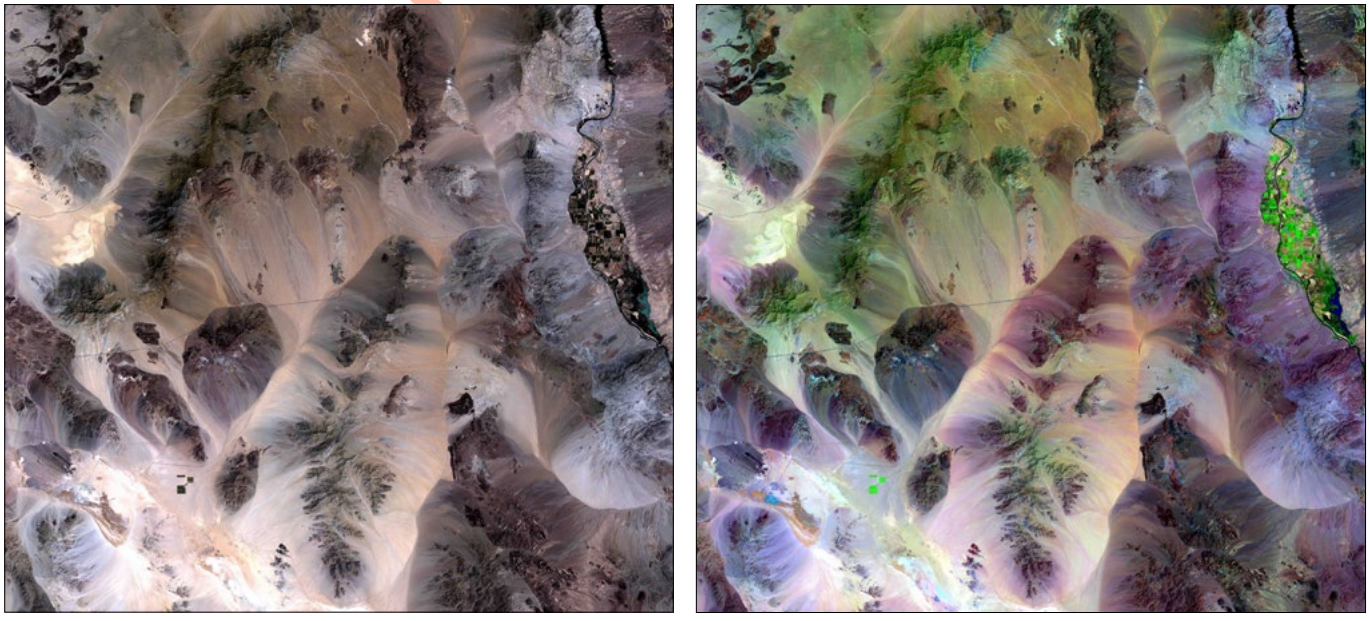


Figura 1 – Visualizzazione a veri colori: sinistra - RGB 321; falsi colori (destra - RGB 641). (Landsat 7ETM - USGS)

ANTEPRIMA

suolo, l'attività meteorica e i processi tettonici controllano, infatti, l'evoluzione del paesaggio inserito nei grandi sistemi geo-sedimentari (Reading, 1996; Marini, 2006).

Le forme del rilievo (landforms) sono l'espressione dell'evoluzione geologica di una regione e l'azione combinata di differenti fattori (litologia, assetto strutturale, erosione, clima, acqua, tempo) si riflette su di esse, dando origine ad un paesaggio che sarà coerente (ad eccezione di importanti alterazioni di tipo antropico) con i processi naturali che lo hanno prodotto (Drury, 1997). L'analisi delle forme permette la conoscenza dell'evoluzione del paesaggio e dei rapporti con il sistema antropico (agricoltura, centri urbani, aree artigianali e industriali).

Le morfologie create dai reticoli di drenaggio fluviale dipendono dal pendio delle superfici, dalla litologia e dall'assetto delle rocce; questi elementi, infatti, influenzano il percorso e la quantità di acqua che scorre lungo la superficie. I modelli di drenaggio che vengono delineati sulle immagini satellitari, grazie alla visione sinottica e panoramica, riflettono le tipologie litologiche, la struttura, la copertura del suolo e l'intensità delle alterazioni da parte degli agenti esterni.

L'analisi delle forme permette di definire le strutture geomorfologiche e geostrutturali con le sue evoluzioni e le relazioni con i sistemi antropici. I sistemi quali aree urbane, produttive e rurali, sono costituite da una varietà di materiali (anche artificiali), terreni, rocce e minerali e aree vegetate (*Figg.* 2-3) che costituiscono la copertura del suolo e sono utilizzati in modi differenti dall'uomo. La copertura del suolo (Land Cover) può essere definita come lo stato biofisico della superficie della terra e del sottosuolo immediato, inclusi flora e fauna, suolo, topografia, acque superficiali e sotterranee e strutture umane (Turner *et al.*, 1995); l'uso del suolo (Land Use) è l'uso umano del territorio e coinvolge sia il modo in cui gli attributi biofisici della terra vengono manipolati sia lo scopo per il quale viene utilizzato il terreno (Turner *et al.*, 1995).

Negli ultimi anni, le superfici antropizzate sono considerate non solo come un indicatore del grado di urbanizzazione, ma anche come un importante indicatore di qualità ambientale (Arnold & Gibson, 1996). L'opera dell'uomo ha profondamente modificato i caratteri ambientali e paesistici, in modo particolare, delle pianure alluvionali; l'agricoltura è stata l'attività predominante in queste aree con uno schema di organizzazione territoriale non facile da modificare. Un esempio particolarmente importante è costituito dalle strutture della centuriazione romana, un potente ordinatore territoriale, che ha controllato la parcellizzazione e il reticolo della viabilità e della canalizzazione (*Fig.* 3).

Le bonifiche e le irrigazioni hanno comportato un piano preventivo di riorganizzazione territoriale con una sistemazione geometrica a riquadri rettangolari limitati da argini, canali, limiti poderali e strade (*Fig.* 4). In tempi più recenti, lo sviluppo industriale ha modificato profondamente i tratti della pianura, con l'espansione urbana e lo sviluppo di una fitta rete viaria.

Le immagini multispettrali permettono di ricavare informazioni dettagliate sulla natura e le proprietà dei diversi materiali sulla superficie del terreno; maggiori informazioni possono migliorare la precisione di classificazione (Thenkabail *et al.*, 2004a). Ogni tipo di copertura del suolo è caratterizzata da differenti proprietà di superficie e la struttura superficiale (rugosità) può influenzare la risposta spettrale e la variabilità tra e dentro le classi (Herold *et al.*, 2006;. Myint, 2001; Shaban & Dikshit, 2001).

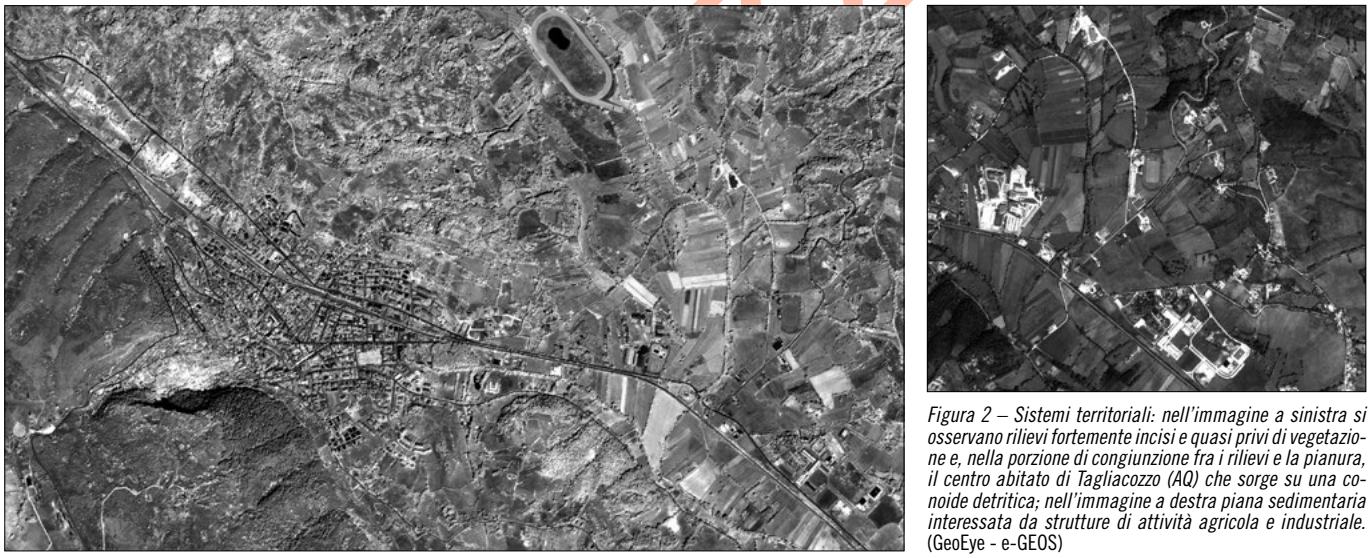


Figura 2 – Sistemi territoriali: nell'immagine a sinistra si osservano rilievi fortemente incisi e quasi privi di vegetazione e, nella porzione di congiunzione fra i rilievi e la pianura, il centro abitato di Tagliacozzo (AQ) che sorge su una conoide detritica; nell'immagine a destra piana sedimentaria interessata da strutture di attività agricola e industriale. (GeoEye - e-GEOS)

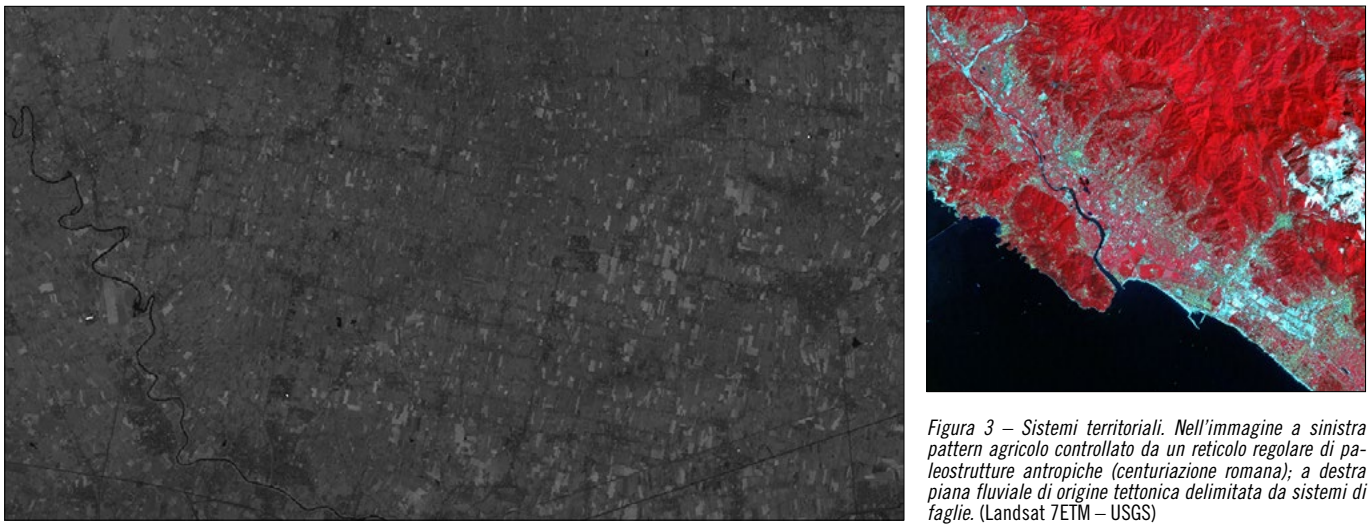


Figura 3 – Sistemi territoriali. Nell'immagine a sinistra pattern agricolo controllato da un reticolo regolare di paleostrutture antropiche (centuriazione romana); a destra piana fluviale di origine tettonica delimitata da sistemi di faglie. (Landsat 7ETM – USGS)

La superficie terrestre riflette/emette radiazioni elettromagnetiche con differenti lunghezze d'onda che dipendono dalla natura e dallo stato delle superfici; l'occhio umano registra questi segnali spettrali come colori. Nelle fasi d'interpretazione geologica, il colore e la firma spettrale sono elementi distintivi ma fortemente influenzati dalle condizioni locali climatiche e stagionali (umidità, alterazione, copertura del suolo, vegetazione).

Un campo importante di applicazione del telerilevamento è il monitoraggio, cioè il controllo di fenomeni ambientali e territoriali nel tempo (Barrett & Curtis, 1999); gli studi di rischio idrogeologico sono fortemente legati allo studio geomorfologico del territorio e dei reticoli idrografici per il controllo di piene ed esondazioni fluviali (*Fig.* 4). Nell'ambito di studio del sistema alveo-pianura alluvionale possono essere lette le variazioni che avvengono in tempi storici e che riguardano gli aspetti geomorfologici degli alvei; questi subiscono modificazioni molto veloci ed il riconoscimento di questi fenomeni permette la comprensione delle tendenze evolutive e delle loro cause.

Studi a carattere generale possono essere condotti su immagini satellitari a piccola scala (1:100.000) mentre alla scala di dettaglio, dove l'ambito di studio è la sola morfologia dell'alveo, vengono evidenziate quelle trasformazioni che avvengono in tempi molto brevi (morfologia degli argini e barre fluviali) e sono essenzialmente eseguite su dati satellitari multispettrali ad altissima definizione (Melis *et al.*, 2013).

A livello planimetrico la migrazione di un corso d'acqua può essere testimoniata dalla presenza di paleoalvei più o meno antichi. I paleoalvei rimangono zone di circolazione d'acqua sub-superficiale, ed è per questo che possono essere rilevati tramite la foto-interpretazione come linee di umidità anomala





Figura 4 – Sistemi antropici ed aree vegetate che costituiscono la copertura del suolo. (GeoEye, e-GEOS; Plèiades, AIRBUS)



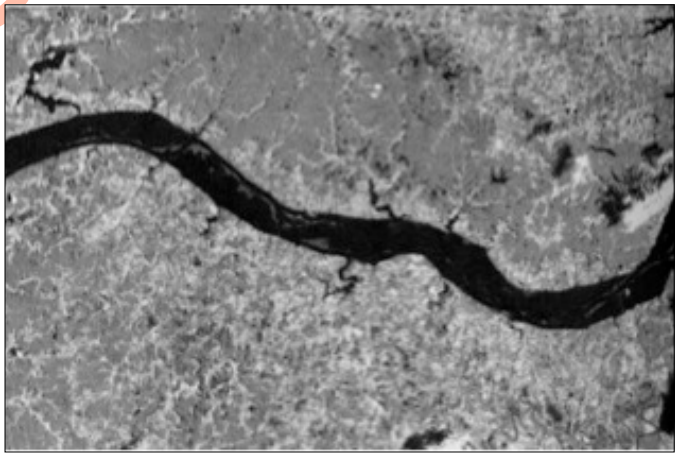
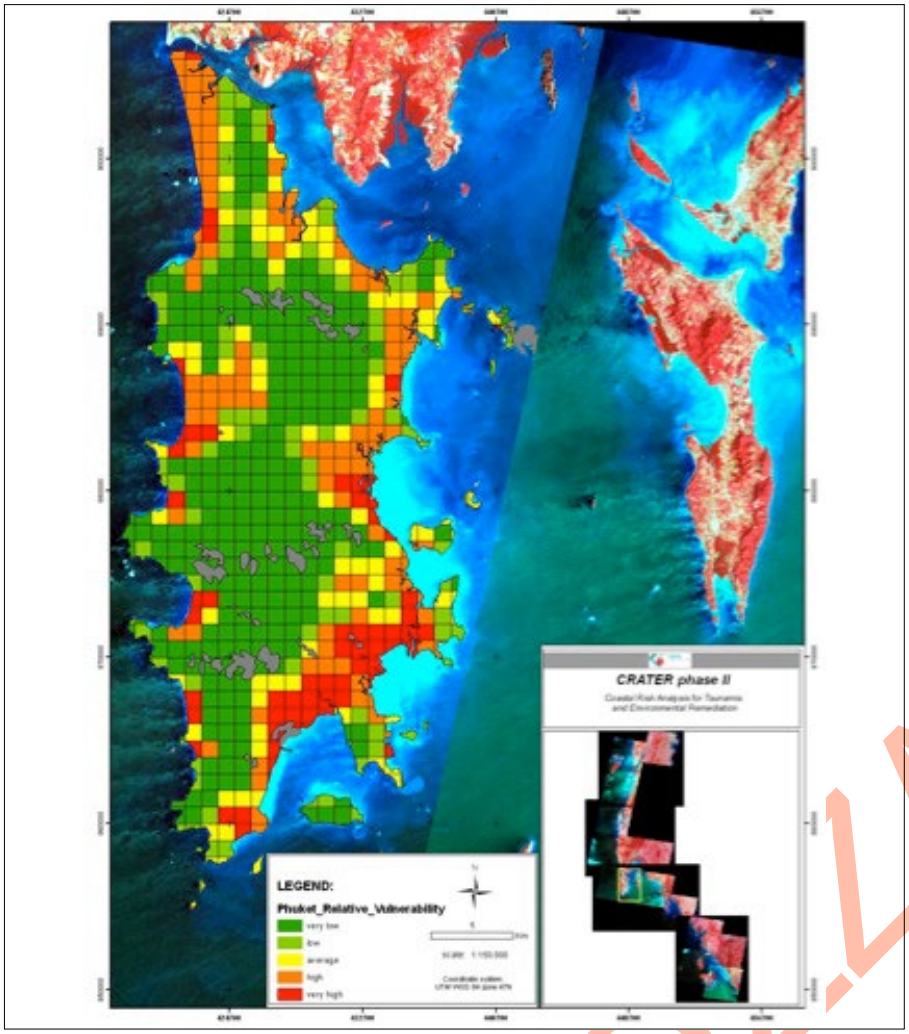


Figura 5 – Immagine satellitare multitemporale per il monitoraggio fluviale (pre-flood, post-flood)





Figura 6 – Individuazione di paleostutture fluviali (paleoalvei). (Landsat 8, USGS)



nella piana, con toni differenti rispetto all'intorno (Melis *et al.*, 2013) (*Fig.* 5). Lo studio di queste morfostrutture permette di capire la dinamica fluviale e l'eventuale rischio per l'ambiente e le coperture circostanti, in caso di fenomeni di esondazione.

Negli studi territoriali, attraverso il processamento dei dati satellitari multispettrali, l'analisi delle forme e dei processi collegati permette la produzione di cartografie tematiche a supporto di una gestione razionale del territorio; nelle cartografie tematiche è possibile rappresentare processi morfogenetici e processi di evoluzione territoriale (evoluzione del tessuto urbano, cambiamenti nell'uso del suolo, situazioni di rischio e vulnerabilità).

1.2 EOS nello studio delle calamità naturali

Un importante campo di applicazione del telerilevamento è il monitoraggio nel tempo dei fenomeni terrestri (*Fig.* 6) prima e dopo un disastro naturale (inondazioni, terremoti, ecc.) non solo per mappare e quantificare le aree colpite, ma anche per la successiva programmazione della ricostruzione di insediamenti residenziali e produttivi.

I vantaggi dei dati di rilevamento remoto possono essere riassunti in termini di tipo di rappresentazione, di precisione, di flessibilità spaziale e temporale, di copertura e di gestione delle applicazioni GIS in termini spaziali (Atkinson and Tate, 1999a).

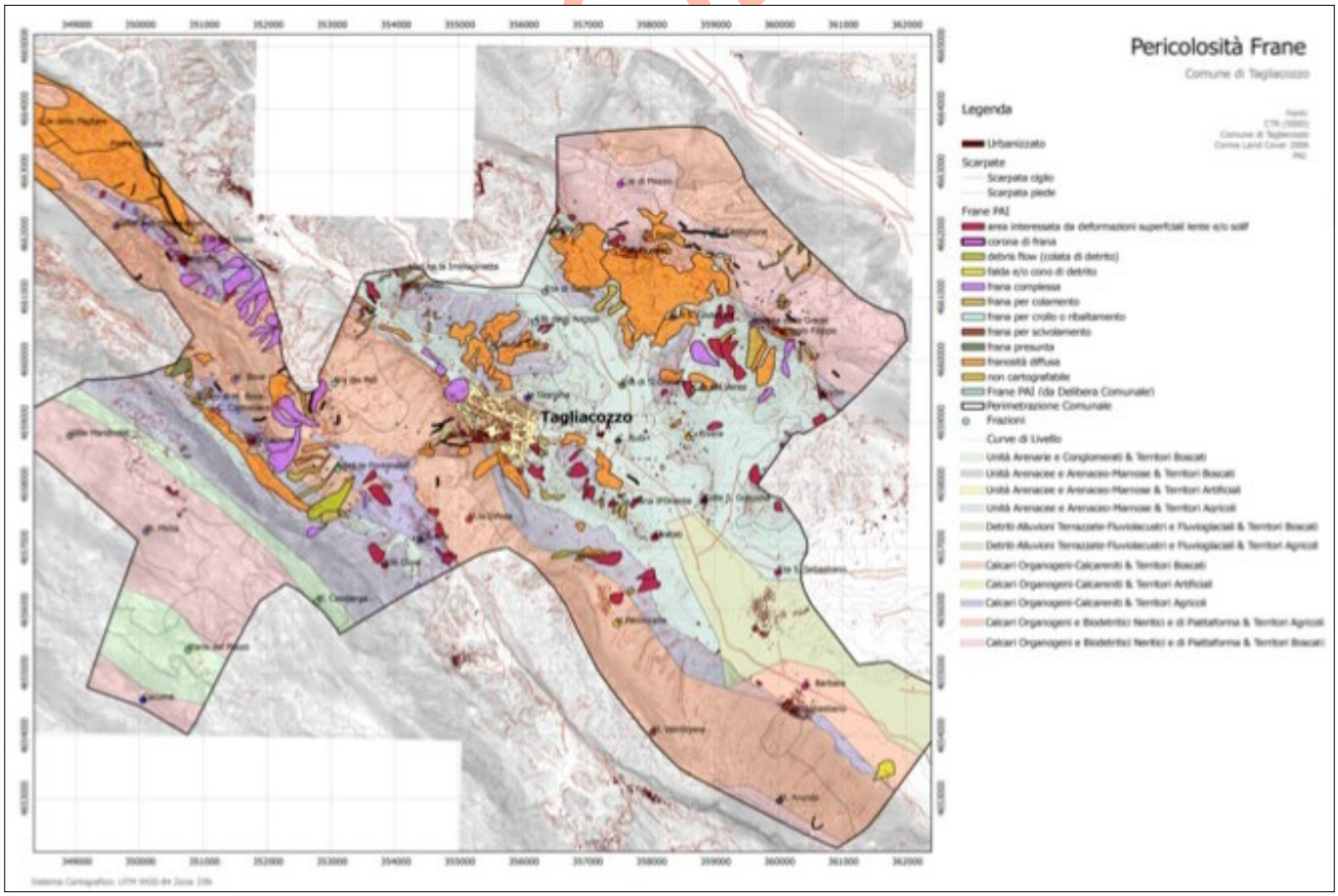


Figura 7 – Mappe tematiche con la rappresentazione di processi territoriali. Nell'immagine a sinistra mappa di vulnerabilità costiera ottenuta dalla sovrapposizione di dati geocodificati: DEM and land use (da: Dall'Osso et al.*, 2010); A destra mappa di pericolosità frane ottenuta dall'intersezione della tipologia di frana con la litologia (da: Aureli* et al.*, 2013)*

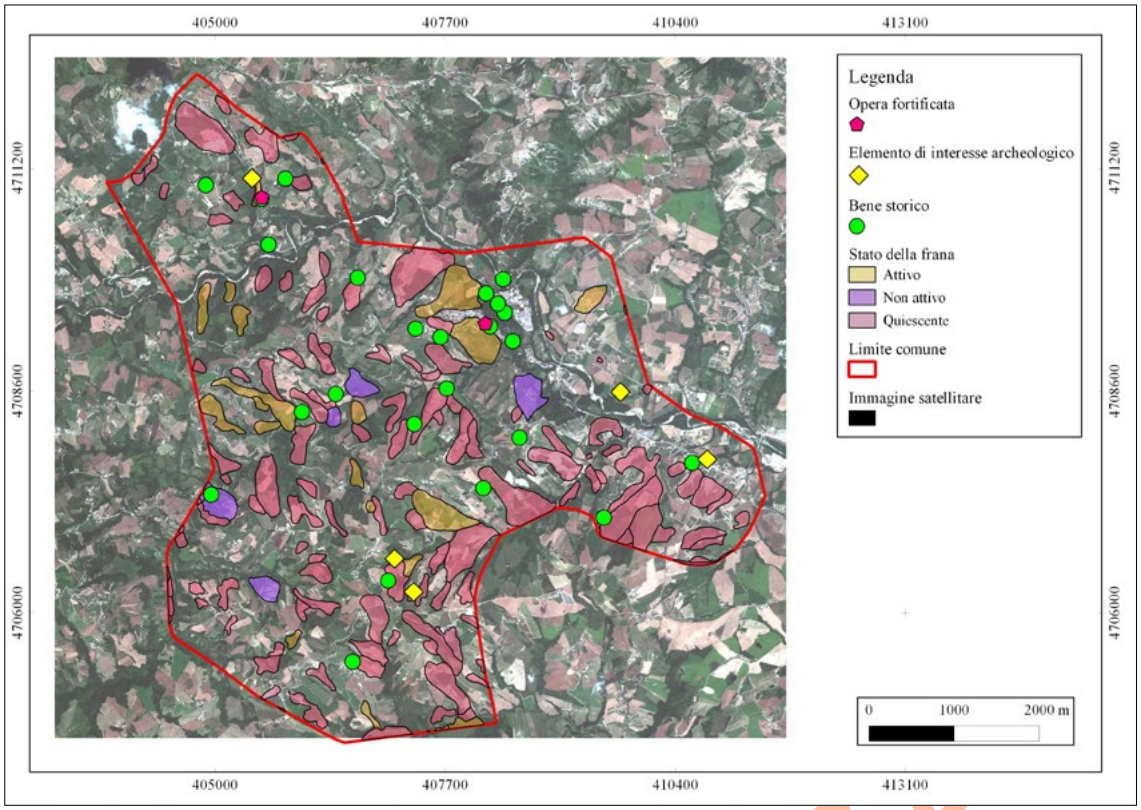


Figura 8 – Dati relativi al patrimonio archeologico, storico e monumentale (PPR) sovrapposti ai poligoni delle frane (PAI) (da: Castellani et al.*, 2013)*

Le informazioni da Earth Observation vengono sempre più utilizzate in un vero mercato applicativo; in generale l'utilizzo del telerilevamento raggiunge risultati importanti quando viene combinato con altri dati ambientali; i dati rilevati in remoto, infatti, rappresentano un'importante fonte di informazioni per le applicazioni GIS. I sistemi di informazione geografica sono usati per migliorare i metodi di screening delle immagini multispettrali (Hinton, 1999); il rilevamento remoto integrato e il GIS permettono di descrivere i dati spaziali in modalità spettrali e spaziali (Atkinson and Tate, 1999b). Negli ultimi anni c'è stata una forte integrazione tra queste due tecniche di analisi e le informazioni spaziali hanno un forte rapporto con l'analisi dei dati di telerilevamento (Star, 1991; ASPRS, 1994 Legg, 1994; Star *et al.*, 1997; Barrett & Curtis, 1999). L'overlay delle immagini satellitari con dati spaziali in un ambiente GIS e la loro interrogazione successiva consentono di acquisire informazioni non rilevate dall'analisi dei singoli database (Castellani *et al.*, 2013). La mappa tematica ha un valore strategico prioritario nei programmi di sviluppo a scala regionale e locale, in quanto fornisce gli strumenti cognitivi necessari alla gestione delle informazioni sui pericoli e la vulnerabilità (dati spaziali) per determinare gli interventi di riduzione dei fattori di rischio e di controllo dell'uso del territorio (*Figg.* 7 - 8).

1.3 EOS nell'emergenza post sisma dopo l'evento del 24 agosto 2016

A seguito del terremoto del 24 agosto, la Protezione Civile Italiana ha immediatamente richiesto i dati satellitari al servizio European Emergency Mapping di Copernicus EMS.

Il Copernicus è un programma dell'Unione Europea finalizzato allo sviluppo di servizi informativi basati su dati satellitari di osservazione terrestre e dati in situ. Il progetto è coordinato e gestito dalla Commissione Europea e viene attuato in collaborazione con gli Stati membri, l'ESA (Agenzia Spaziale Europea), l'EUMETSAT (European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites), l'ECMWF (European Center Medium Weather Forecast), Agenzie dell'UE e Mercator Ocean (http://www.copernicus.eu/). Attraverso le osservazioni satellitari e in situ, i servizi forniscono dati quasi in tempo reale a livello globale che possono essere utilizzati per le esigenze locali e regionali, per aiutarci a comprendere meglio il nostro pianeta e gestire in modo sostenibile l'ambiente in cui viviamo.

Il servizio Copernicus EMS (Emergency Mapping System) fornisce a tutti gli attori coinvolti nella gestione di catastrofi naturali, situazioni di emergenza causate dall'uomo e crisi umanitarie, informazioni tempestive e accurate geo-spaziali derivate dal telerilevamento satellitare e completate da dati disponibili in situ. La componente di mappatura del servizio (Copernicus EMS - Mapping) ha una copertura a livello mondiale e fornisce, in particolare le autorità di protezione civile e le agenzie di aiuti umanitari, mappe basate su immagini satellitari. Il servizio è stato avviato il 1° aprile 2012 ed è attuato dal Joint Research Center della Commissione europea (JRC).

Le mappe prodotte dal servizio Copernicus EMS sono state gestite, durante l'emergenza dell'Italia Centrale, dai Vigili del Fuoco nelle prime ore dopo l'evento e dal Dipartimento della Protezione Civile che aveva il suo centro di controllo per la pianificazione e la gestione dell'emergenza a Rieti (Di.Coma.C. - Direzione Comando e Controllo).

Un esempio di mappa è mostrato nella figura 9, prodotta poche ore dopo l'evento del 24 agosto. I prodotti cartografici hanno il vantaggio di fornire una visione sinottica dell'evento e del suo impatto consentendo la pianificazione delle emergenze entro poche ore.

La mappa mostra le aree colpite nel comune di Amatrice, evidenziando i danni causati agli edifici. I colori cambiano a seconda della gravità del danneggiamento, dal marrone per edifici completamente distrutti al ciano per danni di minore entità.

3. APPLICAZIONI EOS DOPO IL TERREMOTO DI AMATRICE (24 AGOSTO 2016)

3.1 Dati satellitari utilizzati

Oltre alle immagini fornite dal programma Copernicus, alcuni prodotti possono essere scaricati gratuitamente, acquistati o concessi dalle agenzie spaziali.

Lo studio della foto-interpretazione e l'elaborazione delle immagini in questo lavoro è stato eseguito su dati con risoluzione molto alta, SPOT6, SPOT7 e Pleiades; questi ultimi sono stati acquisiti e concessi da AIRBUS Defense & Space (http://www.intelligence-airbusds.com/).

La *costellazione SPOT* acquisisce immagini ottiche ad alta risoluzione ad ampio spettro dal 1986, in particolare SPOT 6 e SPOT 7 assicurano la continuità dei dati fino al 2024.

SPOT 6 e SPOT 7 sono progettati per coprire ampie aree in *real-time*, permettendo di

UBOZ

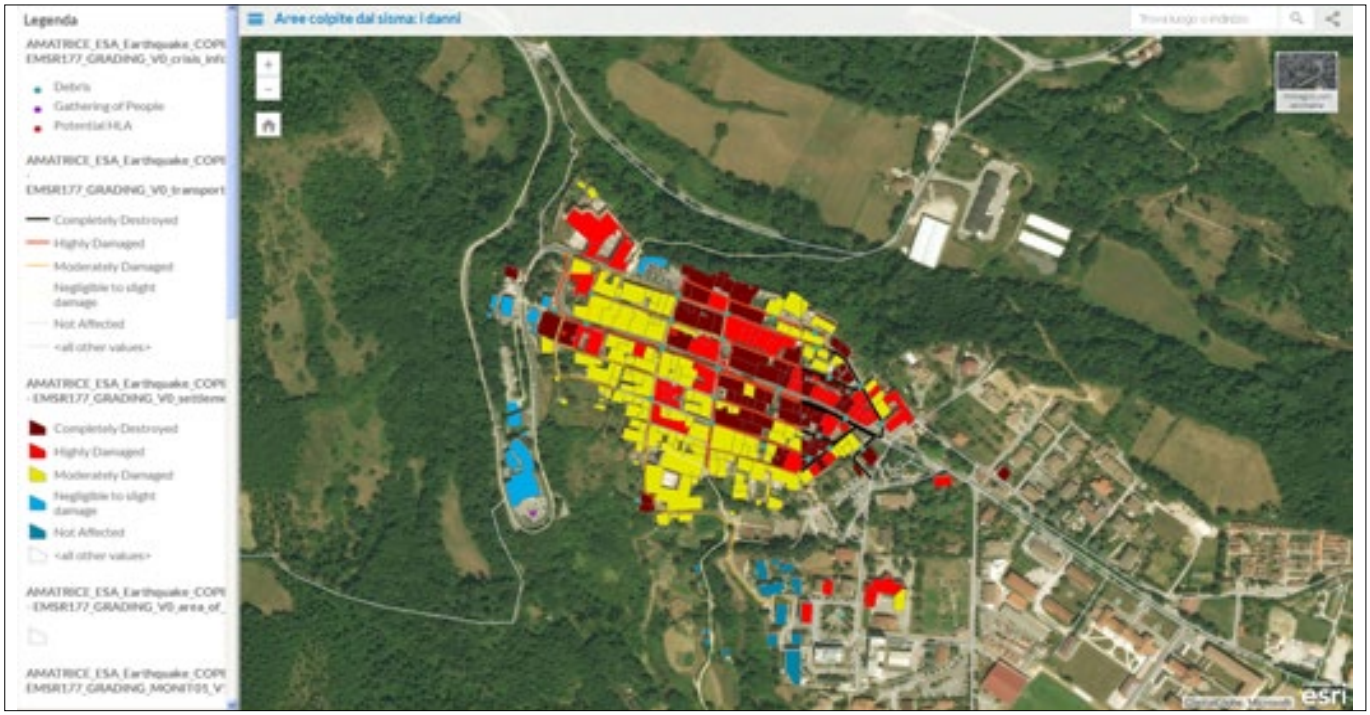


Figura 9 – Mappa prodotta dal servizio Copernicus EMS

aggiornare regolarmente i dati senza i vincoli imposti dalle condizioni stagionali. La costellazione copre fino a 6 milioni di kmq ogni giorno, un'area più grande dell'intera Unione Europea.

I satelliti Pléiades 1A e Pléiades 1B operano come una costellazione nella stessa orbita, con fasi a 180°. I satelliti identici duplicati forniscono dati ottici ad alta risoluzione in tempi record e offrono una capacità di rivisitazione quotidiana in qualsiasi punto del globo. La costellazione delle Pléiades è stata progettata per ottenere dati in tempi brevissimi, capacità di acquisire immagini in qualsiasi parte del mondo in meno di 24 ore in risposta a una crisi o un disastro naturale.

I dati satellitari utilizzati sono prodotti "Orho", dati ortorettificati per eliminare le distorsioni geometriche verificate durante l'acquisizione nelle diverse bande spettrali. Il set di dati è stato sottoposto ad un'elaborazione pansharp, la Gram-Schmidt Pan-sharpening, per aumentare la risoluzione spaziale e radiometrica da 2m a 0,5m nelle quattro bande spettrali. Gli algoritmi di pan-sharpening vengono utilizzati per affinare i dati multispettrali (risoluzione 2m) usando dati pancromatici ad alta risoluzione spaziale (risoluzione 0,5m).

Lo strumento Gram-Schmidt (GS) è un algoritmo accurato consigliato per la maggior parte delle applicazioni su immagini VHR (Very High Resolution).

3.2 Rilievo dei danni da satellite e confronto con i danni in situ

L'elevata risoluzione geometrica e spettrale di SPOT 6-7 nelle immagini di dettaglio mostra i danni causati dal terremoto, in una visione sinottica RGB 432, cioè nella sintesi cromatica delle bande 4,3,2.

Osservando le porzioni occupate dalle macerie si notano un'elevata riflettività e toni medi non omogenei (*Figg.* 10 - 11). Le *Figg.* 12 e 13 mostrano le acquisizioni Pléiades post-terremoto e l'elaborazione pansharp con una risoluzione di 0,5 m; l'elevato dettaglio permette di osservare i crolli totali e parziali, di distinguere le macerie e le tipologie di crollo (*Fig.* 13). La *Fig.* 14 mostra l'intero centro storico con evidenziato il percorso di indagine

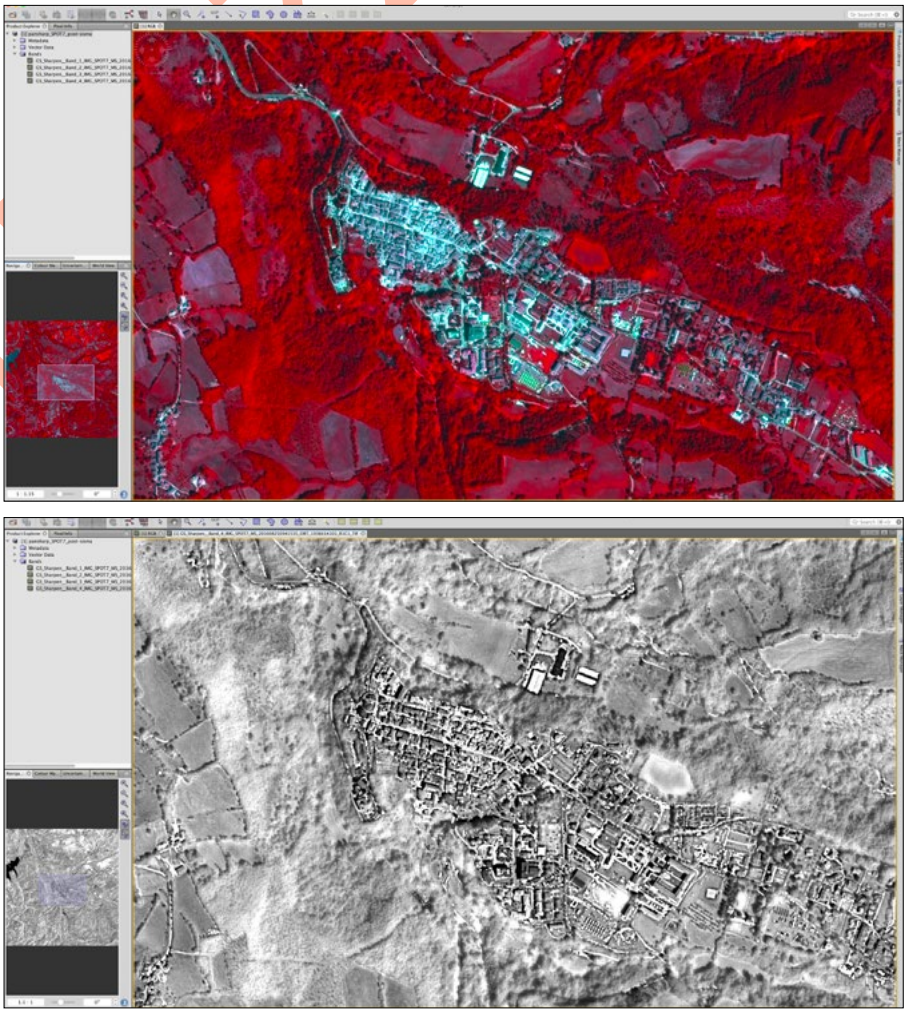


Figura 10 – SPOT 6 immagine pansharp (1.5m) (Idx: RGB 432; sx: banda IR). Centro storico di Amatrice. Si osservano le aree interessate dai crolli. (AIRBUS Defence & Space)

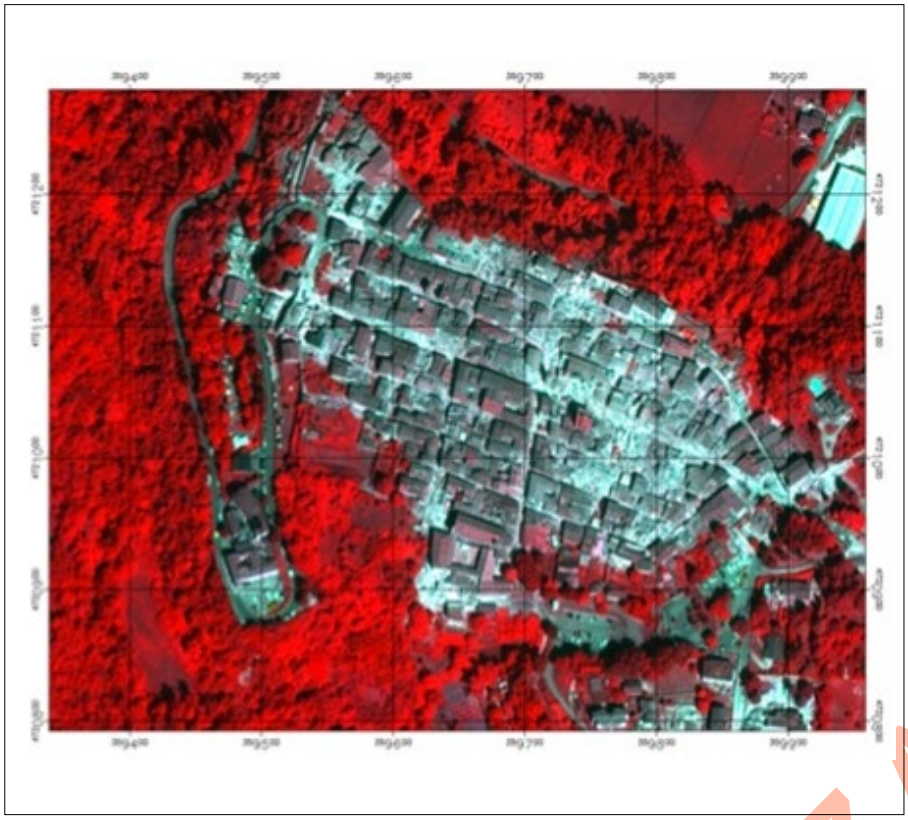


Figura 11 – Pléiades, RGB 432 falso colore pansharp (0.5 m): aree occupate dale macerie caratterizzate da toni disomogenei (medi e alti). (AIRBUS Defence & Space)

in situ, accompagnati dai Vigili del Fuoco, in data 5 ottobre 2016.

Le figure seguenti mostrano il confronto tra le immagini satellitari post e pre-terremoto e tra le foto scattate il 5 ottobre e le foto pre-evento. Le immagini in situ sono confrontate con le immagini satellitari Pleiades per individuare la corrispondenza con i dati satellitari nell'individuazione dei crolli.

Le immagini satellitari offrono un'identificazione dei danni visibili dall'alto, ma alcuni edifici che sembrano intatti, possono essere danneggiati nelle facciate o aver subito crolli interni.

Le immagini satellitari, tuttavia, hanno il vantaggio di dare immediatamente una panoramica della situazione generale, in quanto è possibile confrontare le immagini post-terremoto con quelle pre-terremoto.

Le immagini di tutto il centro storico sono state elaborate in diverse combinazioni di bande spettrali. I dati satellitari sono stati ulteriormente elaborati, lavorando sull'istogramma dell'immagine (stretching) che ha permesso di evidenziare le informazioni morfologiche (forma, associazioni) e le informazioni strutturali (pattern, tono e texture). Le figure che seguono mostrano gli stessi edifici

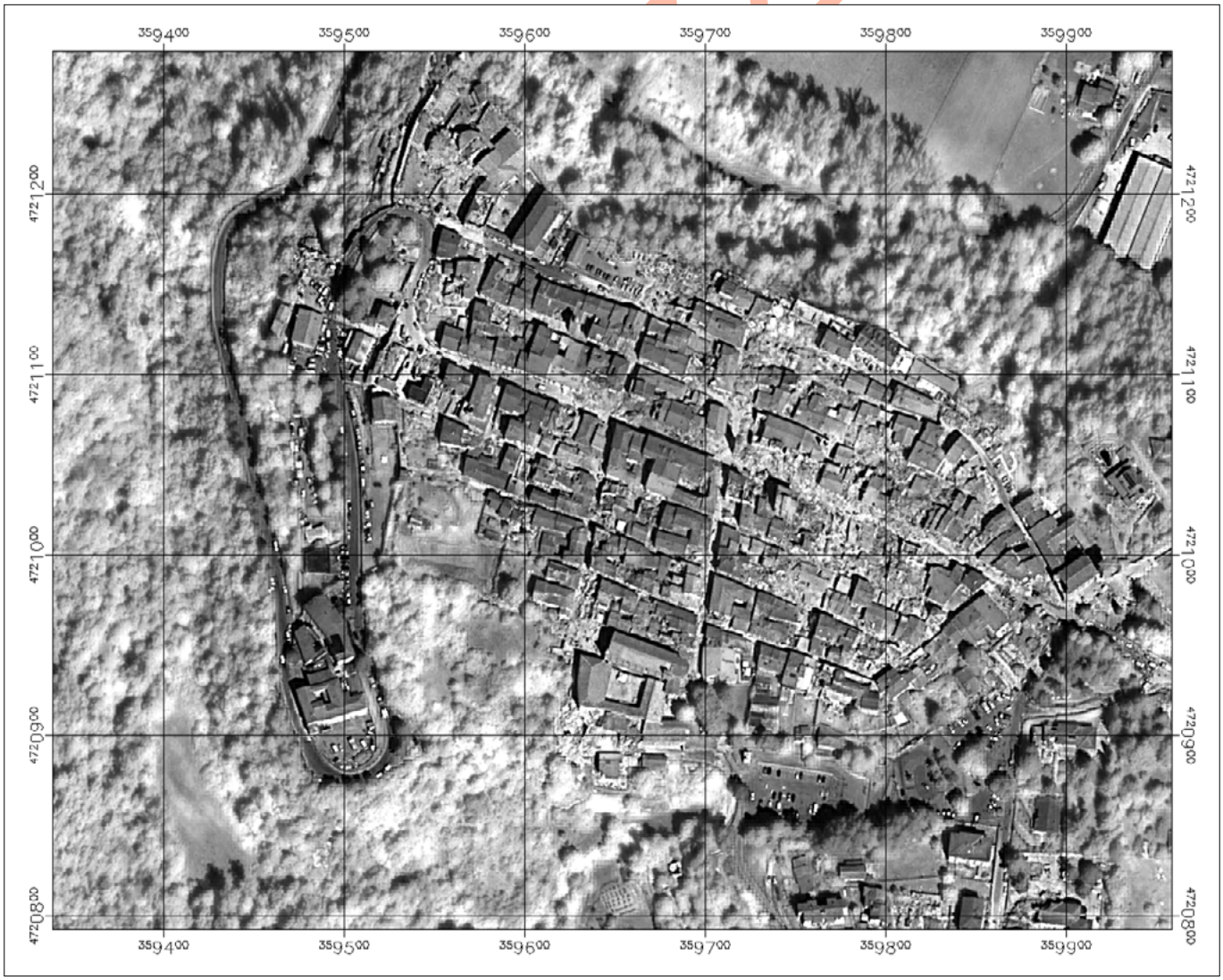


Figura 12 – Immagine Pléiades IR-pansharp (0.5 m). (AIRBUS Defence & Space)

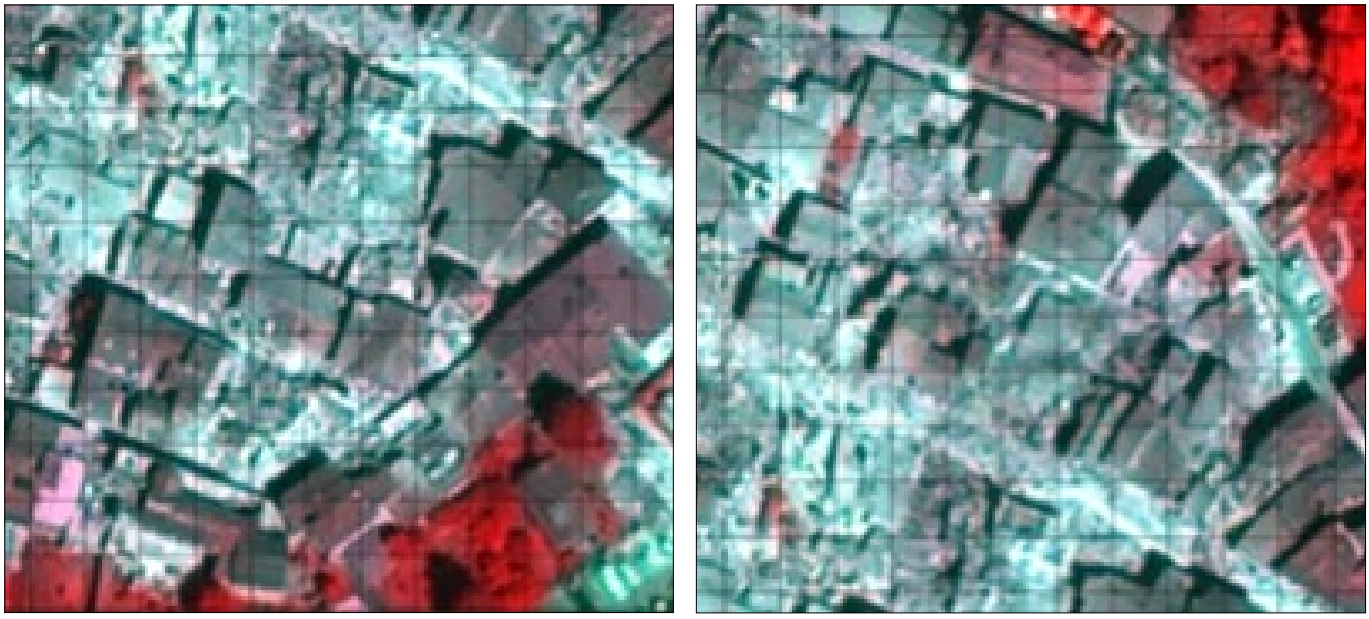


Figura 13 – Immagini Pléiades del centro storico di Amatrice (grid: 10m): dettaglio delle aree occupate dalle macerie e dai diversi tipi di edifici crollati. (AIRBUS Defence & Space)

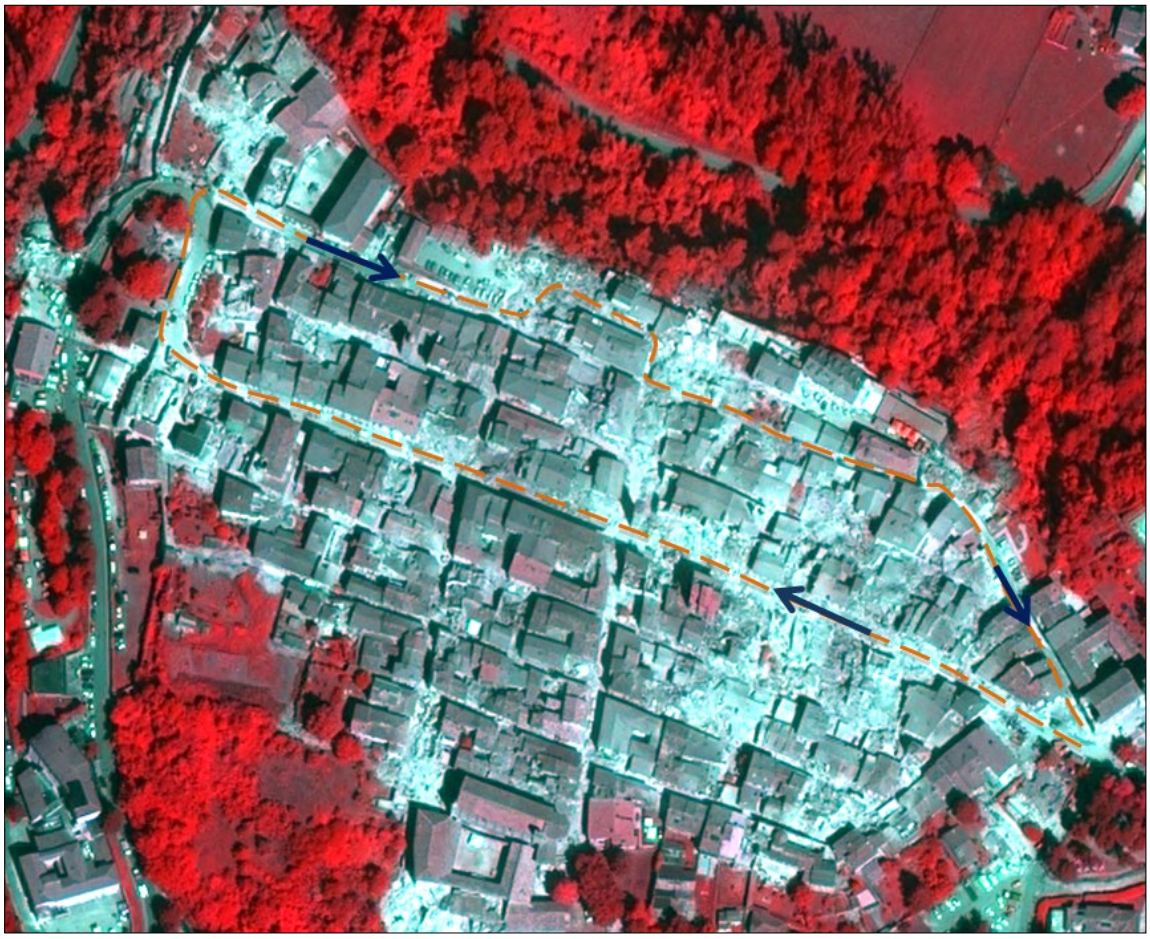


Figura 14 – Centro storico di Amatrice nell'evento post-terremoto; la linea tratteggiata arancione mostra il percorso dell'indagine e le frecce blu indicano la direzione del percorso. (AIRBUS Defence & Space)

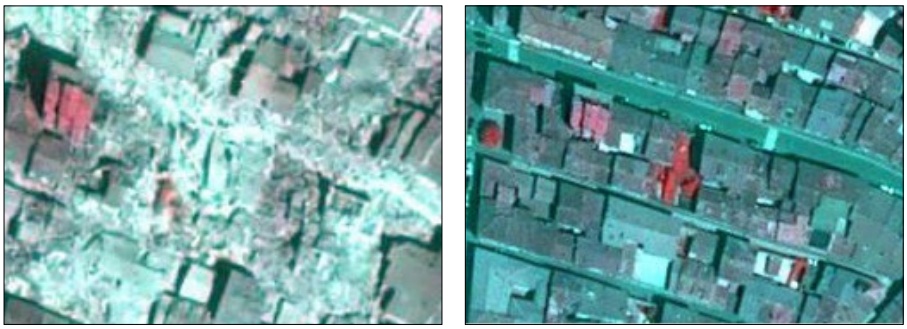
nell'immagine satellitare e nelle foto in situ (*Figg*. 15-17).

Il confronto dei danni osservati in situ con le analisi delle immagini satellitari mostra una buona corrispondenza in termini di livelli di danno. Il collasso dell'intero edificio in buono stato di conservazione è chiaramente visibile anche nell'immagine satellitare (*Fig*. 15); il giardino, con vegetazione in rosso per la sequenza RGB432 nelle immagini satellitari, è ben visibile nell'immagine prima del terremoto, mentre è completamente invaso da macerie nell'immagine dopo il terremoto. Nell'immagine satellitare è inoltre possibile notare diverse forme che corrispondono ad elementi diversi e in alcuni casi anche materiali diversi.

La *Fig*. 16 mostra il crollo dell'edificio sede del Comune con struttura portante in muratura e archi al piano terra. Nella foto post-terremoto, con estrema difficoltà, si sta cercando di recuperare i documenti presenti all'interno dell'edificio. Il crollo mostra l'incoerenza della muratura dell'edificio e la mancanza di ammorsamenti dei cantonali nonostante la muratura in pietra squadrata.

La *Fig*. 17 raffigura la Chiesa di Sant'Agostino, XV sec., che aveva subito, alla data del 5 ottobre, il crollo di parte della facciata, il crollo parziale del tetto e il crollo dell'elemento ad arco ben visibile a destra nella vista pre-sisma. Nella foto della *Fig*. 17 è possibile notare che i blocchi quadrati nella facciata sono solo un rivestimento di una parete in muratura incoerente, crollata nella parte superiore e gravemente danneggiata nella parte

inferiore. Purtroppo con le sequenze sismiche successive a quella di agosto il campanile è completamente crollato e la chiesa è stata quasi completamente distrutta.



4. PROPOSTA DI UN PROGETTO INTEGRATO

Il terremoto ha mostrato l'elevata vulnerabilità del patrimonio religioso nell'Italia Centrale e, più in generale, del patrimonio italiano, che si trova principalmente in aree di alta sismicità, troppo spesso oggetto di interventi non organici.

I fenomeni di dissesto e degrado che si possono attivare con i fenomeni sismici (come accaduto nelle aree dell'Italia Centrale) possono accentuarsi con il peggioramento delle condizioni meteorologiche (piogge, neve/ghiaccio) che possono portare ad un aumento del ruscellamento superficiale, maggiore infiltrazione nel sottosuolo e la formazione di ghiaccio nelle fratture.

Questi processi possono innescare, a medio e lungo termine, fenomeni di instabilità morfologica che è opportuno definire e monitorare anche al fine di implementare sistemi di *early warning*.

Abbiamo visto come i sistemi EO, grazie alla visione sinottica e alla multitemporalità e multispettralità delle immagini, risultino di grande aiuto nella gestione delle emergenze in particolare, in questo lavoro, nella gestione post-sisma. Si dimostrano essere un importante supporto nel caso di fenomeni climatici catastrofici anche in fase di previsione per la

Figura 15 – Immagini Plèiades post e pre-terremoto. Nel cerchio è evidenziato un edificio crollato (nella foto, sul lato destro) (AIRBUS Defence & Space, foto ENEA e foto Google street-view)

messa in sicurezza della popolazione, cosa che non è possibile in caso di terremoti. Anche se non è possibile in caso di sisma fare previsione è sicuramente possibile fare prevenzione, sicuramente attraverso interventi di adeguamento e miglioramento sismico del nostro patrimonio edilizio, ma anche attraverso la pianificazione, gestione e monitoraggio del territorio per evitare che eventi catastrofici naturali o antropici inneschino fenomeni post-evento che possano in qualche maniera creare nuove e disastrose





Figura 16 – Amatrice, Palazzo del Comune. I cerchi mostrano la posizione dell'edificio nell'immagine satellitare pre- e post terremoto (AIRBUS Defence & Space, foto ENEA e foto Google street-view)

emergenze (frane ed esondazioni) come verificatosi nel terremoto dell'Italia Centrale.

Da qui nasce la proposta di un programma di lavoro di tipo integrato che vede la partecipazione di ENEA con altri enti di ricerca con obiettivo lo studio multitemporale dei fenomeni di degrado, controllo e gestione di processi geoambientali complessi attraverso tecniche satellitari, SAR e ottiche, allo scopo di contribuire alla pianificazione territoriale pre e post evento ed al superamento di eventuali emergenze.

Si tratta di un programma di lavoro attraverso il quale sarà possibile determinare l'assetto idrogeologico e territoriale attraverso tecniche EO (radar e ottiche) multispettrali e multitemporali Very High Resolution (VHR).

L'Ambito della proposta è il Copernicus, programma europeo di monitoraggio della Terra, che, come descritto precedentemente, è costituito da un complesso insieme di siste-



Figura 17 – Chiesa Sant'Agostino: immagini satellitari post e pre-terremoto. (AIRBUS Defense & Space) foto post-terremoto di ENEA, pre-terremoto da Google Street-view

mi che raccolgono dati provenienti da satelliti di osservazione della terra e sensori *in situ*.

BIBLIOGRAFIA

Arnold C.L. Jr., & Gibbons C. J. (1996), *Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator. Journal of the American Planning Association*, 62, 243–258.

ASPRS (1994), *Remote Sensing and Geographic Information System: An Integration of Technologies for Ressource Management*, (Bethesda, MD: ASPRS).

Atkinson P.M., Tate N.J. (1999a), *Techniques for the Analysis of Spatial Data*. In: *Advances in Remote Sensing and GIS Analysis*. Edited by P.M. Atkinson and N.J. Tate.,, J. Wiley & Sons Ltd., pp. 1-5.

Atkinson P.M., Tate N.J. (1999b), *Advances in Remote Sensing and GIS Analysis*. Edited by P.M. Atkinson and N.J. Tate., J. Wiley & Sons Ltd., pp. 273.

Aureli A., Babbo F., Cardinale F., De Cinque R., Del Colombo F., Di Rito M., Di Stefano E., Marcocci E., Raglione E., Santoponte T., Toriello L., Candigliota E., Immordino F. (2013), *Sistemi urbani a rischio: un approccio conoscitivo attraverso Telerilevamento e GIS per il centro storico di Tagliacozzo*. Atti del 7° Workshop Tematico *"Il telerilevamento per il monitoraggio e la gestione del territorio: Strumenti e metodi avanzati applicati ai sistemi costieri, agricoli, forestali e agli ambienti urbani"*, (San Martino in Pensilis 2013), pp. 11-12.

Barrett E.C. & Curtis L.F. (1999), *Introduction to Environmental Remote Sensing*. 4th Edition, Stanley Thornes (Publishers) Ltd, pp. 457.

Castellani S., Candigliota E., Immordino F. (2013), *La tutela del patrimonio storico-architettonico e paesaggistico attraverso l'analisi integrata di dati territoriali: caso studio nel teramano*. Atti del 7° Workshop Tematico *"Il telerilevamento per il monitoraggio e la gestione del territorio: Strumenti e metodi avanzati applicati ai sistemi costieri, agricoli, forestali e agli ambienti urbani: Strumenti e metodi avanzati applicati ai sistemi costieri, agricoli, forestali e agli ambienti urbani"*, (San Martino in Pensilis 2013).

Dall'Osso F., Bovio L., Cavalletti A., Immordino F., Gonella M., Gabbianelli G. (2010), *A novel approch (the CRATER method) for assessing tsunami vulnerability at the region scale using ASTER imagery*. Italian Journal of Remote Sensing, Special Issue: *Geomatics technologies for coastal environment observation*, vol. 42, n. 2, pp. 55-74.

Drury S.A. (1997), *Image Interpretation in Geology*. Allen & Unwin, London, pp. 283.

Herold M., Schiefer S., Hostert P., & Roberts D. A. (2006), *Applying imaging spectrometry in urban areas*. In Q. Weng, & D. Quattrochi (Eds.), *Urban Remote Sensing* (pp. 137-161). Boca Raton, FL: CRC Press.

Legg C.A. (1994), *Remote Sensing and Geographic Information Systems: Geological Mapping, Mineral Exploration and Mining*. (Chichester Wiley).

Marini A. (2006), *La geomorfologia per immagini*. In: Dessena M.A. e Melis M.T., *Telerilevamento Applicato*, Mako edizioni, pp. 149-157.

Melis M.T., Patta E.D., Dessì F., Funedda A., Manigas L. (2013), *Geologia e Geomatica a supporto delle scelte di pianificazione: il riconoscimento degli argini naturali di un corso d'acqua*. Atti 17a Conferenza Nazionale ASITA - Riva del Garda, 5-7 novembre 2013.

Myint, S. W. (2001), *A robust texture analysis and classification approach for urban land-use and land-cover feature discrimination. Geocarto International*, 16, 27–38.

Reading H.G. (1996), *Sedimentary Environmente: Processes, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Science Ltd, 3th Edition, pp. 688.

Shaban, M.A. & Dikshit O. (2001), *Improvement of classification in urban areas by the use of textural features: The case study of Lucknow City, Uttar Pradesh. International Journal of Remote Sensing*, 22, 565–593.

Star J.L. (1991), *The Interpretation of Remote Sensing and Geographic Information Systems*. Special Issue of *Photogrammetry and Remote Sensing*, 57(b).

Star J.L., Estes J.E., McGwire K.C. (1997), *Integration of Geographic Information Systems and Remote Sensing*. Cambridge, Candbridge University Press.

Thenkabail P.S., Enclona E.A., Ashton M.S., Legg C., & de Dieu, M.J. (2004a), *Hyperion, IKONOS, ALI, and ETM+ sensors in the study of African rainforests*. Remote Sensing of Environment, 90, 23-43.

Turner B.L.I.I., Skole D., Sanderson S., Fisher G., Fresco L., Leemans R. (1995), *Landuse and land-cover change: Science and research plan*. Stockhdm and Geneva: *International Geosphere-Bioshere Program and the Human Dimensions of Global Environmental Change Programme* (IGBP Report No. 35 and HDP Report No. 7).

Il ruolo del Volontariato di protezione civile per una attività di prevenzione efficace

The role of Volunteering of civil protection for an activity effective prevention

Massimo La Pietra
Dirigente Servizio Volontariato – Presidenza del Consiglio - Dipartimento Protezione Civile – Ufficio Volontariato e Risorse del Servizio Nazionale

E-maill: massimo.lapietra@protezionecivile.it

Parole chiave (*key words*): consapevolezza e prevenzione (*awareness and prevention*)

Un territorio come quello italiano, morfologicamente vario e articolato, periodicamente scosso da emergenze di tipo ambientale, la religiosità degli abitanti, la diffusione del senso di vicinato, ha favorito la forte vocazione al volontariato del nostro paese, che si è sempre caratterizzato come valido supporto alle autorità di governo. Sia le forze spontanee che quelle facenti capo alle istituzioni pubbliche hanno avuto, fin dal passato, strutture organizzate finalizzate a prestare i soccorsi necessari a salvare vite umane, ad alleviare le sofferenze dei malati e dei feriti, a dare un letto a chi avesse perduto la propria casa, a distribuire cibo e vestiario, a ripristinare le vie e i mezzi di comunicazione; a cercare, insomma, di riportare a una situazione di vita nuovamente normale le zone colpite da eventi calamitosi. La storia del nostro paese è ricca di esempi di associazioni pronte a collaborare con le istituzioni pubbliche in occasione di qualche grave evento di ripercussione collettiva.

L'importanza e la presenza costante di un tale supporto hanno confermato la necessità di favorire la partecipazione volontaria alle attività di Protezione civile, attraverso un rapporto di coordinamento e collaborazione con le istituzioni pubbliche e mediante il riconoscimento di specifiche competenze alle associazioni stesse.

Dalle prime esperienze generose e disorganizzate di volontariato spontaneo, come gli "angeli del fango", intervenuti numerosi nell'alluvione di Firenze del 1966, ha avuto inizio un percorso, faticoso ma produttivo, che ha saputo incanalare la generosità e la solidarietà di tanti italiani in forme di associazionismo. Le immagini video e fotografiche della disastrosa alluvione di Firenze del 1966 sono fisse nella memoria non solo di chi, in quei drammatici giorni, seguiva le informazioni diffuse dai mezzi di comunicazione, ma anche di tutte le donne e gli uomini che operano, oggi che sono passati 50 anni, nella protezione civile italiana. E accanto alle crude scene del disastro, le figure più vivide sono senza dubbio le catene umane di uomini e donne, giovani e anziani, impegnati nel mettere in salvo i tesori che la città custodisce e che appartengono al mondo intero. Come accade per tutti i 'momenti fondativi' di ogni umana esperienza, ciò che più ci tocca e ci appartiene, oggi, di quelle immagini sono gli





aspetti positivi e non quelli cupi. Sono i volti stanchi ma sorridenti e le mani indaffarate di chi, allora, scelse di giocarsi in prima persona e di dedicare un pezzo della propria vita per lottare e difendere dei beni comuni di importanza essenziale.

Chi si è speso nel 1966 per aiutare i cittadini fiorentini e per mettere al sicuro quelle opere d'arte e quei preziosi volumi l'hanno fatto con la profonda convinzione di essere nel luogo giusto e nel momento giusto dove bisognava essere per difendere gli elementi costitutivi stessi del nostro vivere comune. L'ha fatto con la consapevolezza di rispondere 'presente!' alla chiamata della vita. Tanta strada è stata fatta da quel novembre 1966: una strada segnata dalla crescita costante, anche se forse, a volte, non veloce come avremmo voluto, della consapevolezza civica che il territorio in cui viviamo va curato, custodito e, quando serve, difeso con azioni operose.

Da quell'esperienza, caratterizzata da entusiasmo, ma anche da caotica disorganizzazione, nacque la consapevolezza che se i cittadini volevano essere parte attiva (e utile) dei soccorsi, dovevano essere preparati, addestrati ed equipaggiati. Il 1966 è l'anno di nascita del volontariato di protezione civile, un volontariato organizzato e formato, che opera con competenza, in piena sicurezza e con efficacia. E' però con l'istituzione del Servizio Nazionale di Protezione civile che si è diffusa una cultura di Protezione civile intesa non più soltanto come soccorso ma, principalmente, come attività di previsione e prevenzione delle calamità, e si è rafforzato e valorizzato il ruolo del volontariato, oggi organizzato su base comunale, regionale e nazionale, cresciuto sia in numero di volontari disponibili che in capacità operative, di preparazione, competenza, esperienza e dotazione di mezzi tecnici e strumenti operativi. Il dato saliente è il passaggio dalla considerazione del volontariato individuale, alla presa d'atto del ruolo, decisivo, delle Organizzazioni di volontariato, includendo con questa terminologia anche i Gruppi Comunali. L'attuale normativa di riferimento ha dato veste a una prassi largamente attuata, di utilizzo delle Organizzazioni di volontariato nelle predette attività in caso di calamità. Parallelamente al passaggio dal volontariato singolo all'associato, si è passati, in questi anni, da quello occasionale, all'altro organizzato, attrezzato, addestrato e autosufficiente.



All'interno del Servizio Nazionale della Protezione Civile, istituito nel 1992 e regolato dalla legge n. 225 di quell'anno e dalle sue molte (buone e meno buone) modifiche degli ultimi anni, il volontariato è presente nell'elenco delle strutture operative (art. 11)

a pieno titolo e con pari ruoli al fianco delle strutture professionali dello Stato.

Questa fondamentale disposizione, che caratterizza, peraltro, positivamente il nostro modello d'intervento di protezione civile rispetto a quello dei nostri partner europei e internazionali, nasce da una storia importante. E' opportuno rilevare che oggi, comunque, non si può certo dire che tutte le Organizzazioni abbiano composto gruppi d'intervento professionalmente capaci e autosufficienti, né che tutte siano giunte allo stesso grado di capacità operativa. E' indubbio, però, che, nel complesso, il volontariato di Protezione civile, organizzato dalle molte associazioni esistenti, è una grande forza sia sul piano numerico sia su quello della qualificazione professionale e della capacità d'intervento, tale da portarlo allo stesso livello delle altre componenti istituzionali esistenti nel settore che, va però sottolineato, non possono e non debbono sostituire.

I volontari di protezione civile, raccolti nelle grandi organizzazioni di rilievo nazionale e nella rete delle organizzazioni locali coordinate dalle Regioni e dai Comuni, oggi costituiscono l'ossatura che regge l'intero corpo del Servizio Nazionale della Protezione Civile, assicurando in pressoché ogni campo saperi, strumenti e, soprattutto, cuori e mani di "*uomini e donne normali che fanno cose eccezionali*". Un contributo "specialistico" proprio per contribuire a non aggiungere confusione a confusione, ovvero a saper leggere le caratteristiche che contraddistinguono i tanti volontariati e le tante forme di "attivismo solidale".

Questo volontariato che, anche in occasione del sisma del 24 agosto 2016, ha saputo rispondere con prontezza ed efficacia, mobilitando le unità cinofile e i soccorritori esperti che hanno contribuito a estrarre vive dalle macerie oltre 200 persone insieme ai Vigili del Fuoco e avviando, contestualmente l'allestimento delle strutture temporanee di accoglienza e assistenza alla popolazione è un volontariato 'libero e senza compensi'. Nessun volontario di protezione civile percepisce compensi per il proprio impegno: una norma lungimirante, voluta dall'allora Ministro Zamberletti, consente ai volontari di protezione civile appartenenti alle organizzazioni riconosciute e mobilitati nel rispetto delle regole operative del sistema (non, quindi, spontaneamente) di assentarsi dal luogo di lavoro per intervenire in emergenza e prevede che il datore di lavoro possa richiedere il rimborso dei compensi che si riferiscono al periodo di mancato servizio.

Questa totale gratuità dell'impegno delle persone è, dunque, un valore fondante del sistema e uno snodo-chiave dell'intero meccanismo. Chiaramente l'intervento in emergenza richiede formazione, addestramento, dispositivi di protezione individuale e attrezzature specializzate che le organizzazioni costruiscono, giorno dopo giorno, con il contributo dei loro aderenti, in primo luogo, unitamente a quelli dei cosiddetti 'donatori istituzionali' e a quelli messi a disposizione, compatibilmente con la generale penuria di risorse di questi anni, da tutti i livelli di governo del Servizio di protezione civile: Comuni, Regioni e Stato.

Nell'affrontare il tema del volontariato di protezione civile, anche al fine di evidenziarne ancora una volta la particolare rilevanza, non posso esimermi dall'affrontare, in questa sede, un altro tema sul quale recentemente, su diversi quotidiani, è stata richiamata l'attenzione dell'opinione pubblica, ossia sulle tante e diverse articolazioni del termine 'volontariato'. Articolazioni diverse che, su scala ancor più ampia, assumono anche il termine 'III settore'. Una varietà di forme di volontariato che rendono queste energie del Paese uniche al mondo. Ma un mondo variegato dove l'esigenza sempre più sentita è quella di fare chiarezza tra ciò che è volontariato *'libero e senza compensi'*, se può essere lecita questa rude semplificazione, e ciò che, invece, appartiene al mondo della cosiddetta "impresa sociale". A mio modesto avviso, in questa fase, distinguere questi mondi è fondamentale, per non ingenerare confusione tra i cittadini e consentire alle organizzazioni di volontariato di protezione civile di preservare la loro caratteristica fondamentale: essere libere e accessibili a chiunque, permettendo a chi vuole giocarsi in questa sfida di integrare l'attività di volontariato con la propria vita personale. Anche per quelle organizzazioni che, nella loro dimensione nazionale e storica, operano legittimamente sui due fronti, mantenere ben chiara per tutti la distinzione tra le due forme d'impegno è cruciale. Va rilevato che, in questo, l'ormai approvata legge-delega fornisce un indirizzo deciso, volto alla distinzione dei due mondi, che per il sistema di protezione civile è fondamentale sia chiarita, salvaguardando la possibilità che essi possano coesistere nell'ambito di una regola nuova e condivisa, superando la nebulosità del passato. Perché l'elemento portante di questo ragionamento sono, ancora una volta, le persone. Volontariato di protezione civile, per quanto organizzato, non è solo tema di attrezzature, procedure, dispositivi e strumenti. E', prima di tutto e sopra tutto, tema di persone. Di senso civico. Di solidarietà. Di tutte quelle virtù civili che, nonostante vada per la maggiore cercare di dipingerci come un popolo di cinici e calcolatori, anche oggi scorrono potenti nelle vene di questo difficile e bellissimo Paese. E quando l'azione pubblica interviene a regolamentare aspetti che hanno a che fare con la mente e il cuore delle per-

ANTEPRIMA







sone, bisogna esercitare massima prudenza, ma soprattutto, massimo rispetto. Un rispetto, come dimostrano le esperienze di queste giornate drammatiche, meritato al 100%.

Il segno più concreto, il frutto più fecondo di questa crescita è stato, senza dubbio, lo sviluppo e il consolidamento della partecipazione dei cittadini alle attività di protezione civile che ha trovato, nel Volontariato organizzato e preparato, la sua espressione di valore, di qualità, di capacità. Un Volontariato che, insieme alle altre componenti e strutture operative del sistema, ci permette di affrontare le sfide ancora, a volte, drammatiche, che la crescita non sempre ordinata del nostro territorio e l'evoluzione dei fenomeni climatici ci chiamano ad affrontare. Oggi il Servizio Nazionale della protezione civile italiano è un modello ammirato e copiato nel mondo e il Volontariato organizzato di protezione civile porta, in questo modello, l'eredità e il testimone di quegli 'angeli' che nel 1966 si materializzarono nella città allagata e aiutarono a soffiare via i venti di tempesta e riportare il sereno. Agli angeli del 1966 e ai Volontari di protezione civile del 2017 va riconosciuto di essere, nelle occasioni più critiche, i portatori fieri e gentili delle migliori qualità dell'Italia.

E' con questo spirito e con queste qualità che i Volontari di protezione civile hanno aderito con entusiasmo e grande partecipazione alla campagna nazionale "Io Non Rischio".

Io non rischio è una campagna di comunicazione nazionale sulle buone pratiche di protezione civile. Ma ancora prima di questo, lo non rischio è un proposito, un'esortazione che va presa alla lettera. L'Italia, abbiamo più volte ripetuto, è un paese esposto a molti rischi naturali, e questo è un fatto. Ma è altrettanto vero che l'esposizione individuale a questi rischi può essere sensibilmente ridotta attraverso la conoscenza del problema, la consapevolezza delle possibili conseguenze e l'adozione di alcuni semplici accorgimenti. E attraverso conoscenza, consapevolezza e buone pratiche poter dire, appunto: "io non rischio".

Concorderete con chi scrive che, il sistema più efficace per difendersi da un rischio è conoscerlo. Questo tipo di conoscenza, per essere realmente utile, di solito comporta un livello di approfondimento che difficilmente può essere comunicato con un semplice spot radiofonico o televisivo. L'ideale, per un cittadino, sarebbe poter parlare con qualcuno capace di raccontargli tutto quello che occorre sapere sul terremoto, sul maremoto o su qualsiasi altro rischio, magari incontrandolo direttamente nella sua città, in piazza, un sabato o una domenica mattina. Ed è qui che si è accesa la lampadina: i volontari di protezione civile! La diffusione capillare delle associazioni di volontariato di protezione civile sul territorio nazionale è un elemento indiscutibile. I volontari vivono e operano sul proprio territorio, lo conoscono e a loro volta sono conosciuti dalle istituzioni locali e dai cittadini. Chi meglio di loro per fare informazione sui rischi che su quel territorio insistono? Da questi presupposti è nata l'idea originaria di **Io non rischio**. Formare i volontari di protezione civile sulla conoscenza e la comunicazione del rischio per poi farli andare in piazza, nella loro città, a **incontrare** i cittadini e informarli. Un'idea concepita e proposta da Anpas (Associazione Nazionale Pubbliche Assistenze) e subito sposata dal Dipartimento della Protezione Civile, dall'Ingv e da ReLuis, e poi progressivamente allargata ad altre associazioni di protezione civile.

Perché se è vero che le idee camminano con le gambe delle persone, per un'idea come questa di gambe ce ne vogliono davvero tante. Ho sottolineato *incontrare,* e non *informare,* per porre l'accento sulla filosofia su cui si fonda la campagna. I volontari non fanno volantinaggio. Non si limitano a lasciare il materiale informativo alle persone, ma si fermano a parlare con loro, illustrano il problema, in qualche modo lo *raccontano* e rimangono a disposizione per eventuali domande e chiarimenti. Anche dopo le giornate della campagna, visto che, come è stato evidenziato, i volontari operano e vivono sul territorio in cui comunicano. Questo è quello che è successo e che succederà ancora quest'anno il 14 ottobre 2017 nei 107 capoluoghi di provincia del nostro Paese. Il domani lo costruiremo giorno per giorno con i volontari, nella consapevolezza che il volontariato organizzato di protezione civile è un tema di mani e braccia abili connesso con un cervello intelligente e un cuore robusto.

I terremoti dell'estate-autunno 2016 in Italia centrale: nuove prospettive per la valutazione della pericolosità sismica

The 2016 earthquakes in central Italy: new perspectives for the evaluation of the seismic hazard

EMANUELE TONDI
E-mail: emanuele.tondi@unicam.it

TIZIANO VOLATILI
E-mail: tiziano.volatili@unicam.it

PIETRO PAOLO PIERANTONI
E-mail: pietropaolo.pierantoni@unicam.it

Sezione di Geologia, Scuola di Scienze e Tecnologie, Università di Camerino

Parole chiave (*key words*): Appennino (*Apennine*), sequenza sismica (*seismic sequence*), faglie attive (*active faults*), ciclo sismico (*seismic cycle*), pericolosità sismica (*seismic hazard*)

RIASSUNTO

Gli eventi sismici dell'estate-autunno 2016 in Italia centrale hanno causato numerose vittime e danni mostrando ancora una volta l'incapacità di ridurre efficacemente il rischio sismico nel nostro Paese.

Le ragioni per cui non si riesce a ridurre il rischio sismico in Italia vengono generalmente e diffusamente associate a problematiche relative alla consapevolezza del rischio da parte di amministratori e cittadini, alla disponibilità di fondi e a tecniche ingegneristiche idonee a seconda del contesto in cui vengono applicate. In questo lavoro, invece, proponiamo una riflessione sugli strumenti attualmente in uso per fare prevenzione in ambito di terremoti, in particolare sull'informazione di base necessaria e relativa alla pericolosità sismica.

La carta di pericolosità sismica attuale, costruita su base probabilistica ed indipendente dal tempo, non permette di individuare quelle aree in cui predisporre in maniera prioritaria piani di emergenza ed una efficace riduzione della vulnerabilità delle opere antropiche.

Se si vuole evitare, nel prossimo futuro, che si ripeta di nuovo lo stesso scenario post-sisma del 2016 occorre sviluppare a livello nazionale un discorso avanzato di valutazione della pericolosità sismica, dove i risultati della ricerca scientifica relativi alla Geologia dei Terremoti e alla Sismologia degli ultimi venti anni vengano estratti dai lavori scientifici e messi a disposizione per la gestione e sicurezza del territorio.

1. INTRODUZIONE

A partire da fine Agosto 2016, una serie di terremoti da moderati a forti ha colpito l'Appennino centrale causando quasi 300 vittime e gravi danni in una vasta area dell'Italia centrale, da Campotosto a sud, in Abruzzo, fino a Camerino a nord, nelle Marche (*Fig.* 1). Il

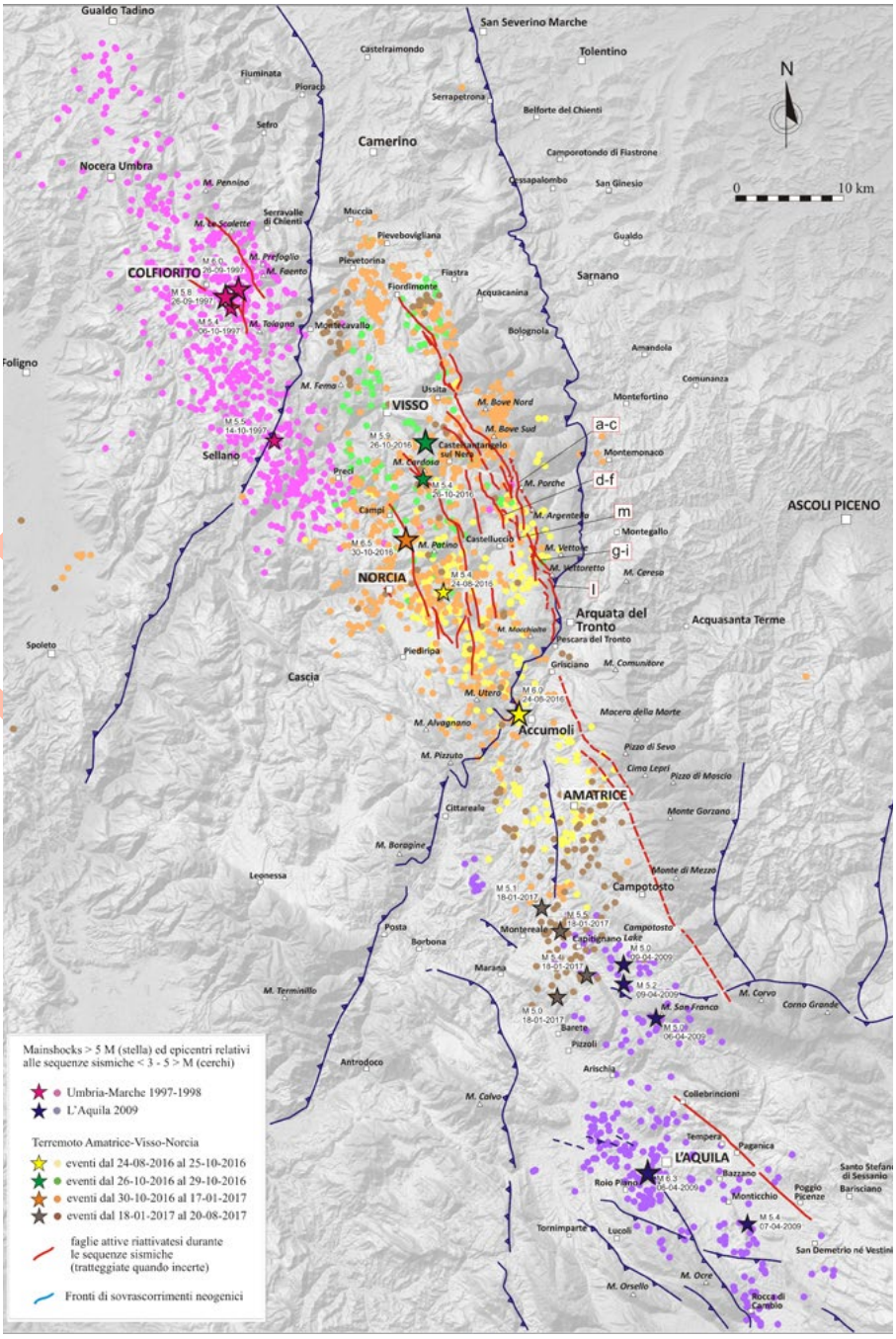


Figura 1 – Mappa degli epicentri (fonte www.ingv.it) e delle faglie attive relativi alle sequenze sismiche che hanno colpito l'Italia centrale dal 1997 ad oggi.



Figura 2 – Esempi di fagliazione cosismica lungo il sistema di faglie Monte Vettore-Monte Bove (si veda ubicazione in Fig.1). Vista panoramica della fagliazione cosismica a Monte Porche (a) e relativi dettagli (b-c); vista panoramica della fagliazione cosismica lungo le faglie antitetiche a Pian Perduto (d) e relativi dettagli (e-f); vista panoramica della faglia del Cordone del Vettore (g-h) e relativi dettagli (i, l), fagliazione cosismica a Valle delle Fonti (m).

24 Agosto si è verificato il primo terremoto di Mw = 6.0 con epicentro ad Accumoli, vicino ad Amatrice, dopo circa due mesi (26 Ottobre) ne è seguito un altro di Mw = 5.9, tra Castel Sant'Angelo e Visso, tre giorni dopo (30 ottobre) si è verificato il terremoto più forte della sequenza sismica di Mw = 6.5, poco a NE di Norcia (*Fig.* 1; Chiaraluce *et al.*, 2017). Altri eventi si sono verificati nel settore meridionale della sequenza il 18 gennaio 2017, con Mw massima = 5,5. Le scosse di assestamento della sequenza sismica dell'Italia centrale 2016-2017 sono confinate alla crosta superiore (10-12 km di profondità massima) e sono distribuiti in direzione NO-SE per ca. 80 km tra le città di Camerino a nord e Pizzoli a sud (Chiaraluce *et al.*, 2017).

I dati geologici relativi agli effetti di superficie rilevati subito dopo gli eventi sismici (Civico *et al.* et Open Emergeo Working Group, 2017; *Fig.* 2), così come i numerosi dati geofisici disponibili (dati accelerometrici, interferometria radar e GPS; Chiaraluce *et al.*, 2017 e bibliografia citata, Wilkinson *et al.*, 2017) sono tutti concordi nell'attribuire la genesi degli eventi sismici del 2016 al sistema di faglie del Monte Vettore-Monte Bove (Calamita and Pizzi, 1994), costituito da diversi segmenti di faglie normali e/o transtensive, che si estende per circa 30 chilometri in direzione NO-SE (*Fig.* 1). Per quanto riguarda il primo evento (24 Agosto 2016, Mw = 6,0), dovrebbe aver contribuito anche la porzione settentrionale della Faglia dei Monti della Laga (Galadini and Galli, 2003). Tuttavia, in corrispondenza della faglia, affiorante immediatamente a NE di Amatrice, non sono stati rilevati evidenti e certi fenomeni di riattivazione superficiale (Anzidei and Pondrelli, Eds. 2016).

Negli anni precedenti la crisi sismica, erano stati effettuati numerosi studi e ricerche di carattere geologico e finalizzati alla individuazione e caratterizzazione delle faglie attive (*Fig.* 3). In particolare, il sistema di faglie del Monte Vettore-Monte Bove era stato mappato e riconosciuto come attivo già dal 1994 (Calamita e Pizzi, 1994). In termini sismogenici, il sistema di faglie suddetto veniva interpretato come espressione superficiale di una faglia sismogenica (si veda il metodo della segmentazione areale in Tondi, 2000) che, sulla base di considerazioni relative alla sua dimensione, era in grado di generare terremoti di magnitudo massima pari a 6,5-6,7 (Barchi *et al.*, 2000). Successivi studi paleosismologici condotti attraverso la Faglia del Monte Vettore confermavano la stima della magnitudo massima attesa (Galadini and Galli, 2003). Cello *et al.*, (1997) inserivano il sistema di faglie attive del Monte Vettore – Monte Bove nel contesto del ben più ampio sistema di faglie attive dell'Italia centrale e Tondi and Cello (2003) ne ricostruivano il ciclo sismico, che interpretato come "slip and time predictable" indicava un periodo di ritorno degli eventi più forti (M>6,5) di circa 350 anni. L'ultimo evento con una magnitudo stimata di 6,9 era avvenuto il 14 Gennaio 1703 (Rovida *et al.*, 2016), più di 300 anni fa. Considerando il margine di incertezza insito nel modello, possiamo affermare che la previsione è stata verificata e gli eventi de L'Aquila del 2009 di Mw = 6,3 e i tre eventi principali della sequenza sismica del 2016 lo hanno completato (*Fig.* 3).

Sulla base degli studi geologici pregressi, nell'area interessata dalla crisi sismica del 2016 erano disponibili tutte le informazioni necessarie per una corretta valutazione della pericolosità sismica:

1) la mappa delle faglie attive in superficie, che per quanto riguarda il sistema di faglie del Monte Vettore – Monte Bove erano anche cartografate in dettaglio (Pierantoni *et al.*, 2013);
2) l'interpretazione delle faglie attive superficiali in chiave sismogenica, con una magnitudo massima attesa per il sistema di faglie del Monte Vettore - Monte Bove compresa tra 6,5 e 6,7;
3) il periodo di ritorno di circa 350 anni per gli eventi sismici più forti generati dall'intero sistema di faglie attive dell'Italia centrale.

UFOZ

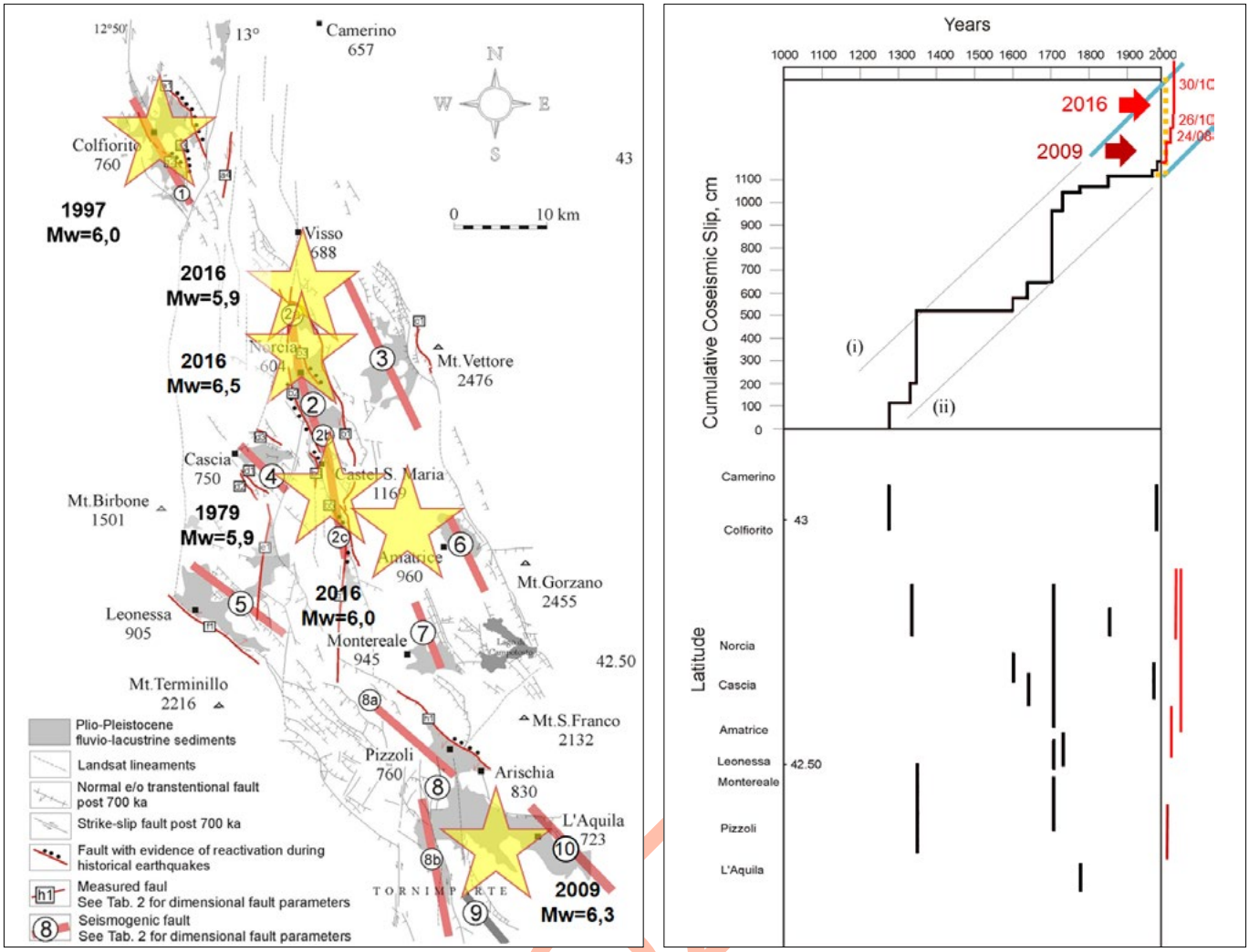


Figura 3 – Il sistema di faglie attive dell'Italia centrale, con l'integrazione della faglia di Paganica, n.10 (modificato da Tondi and Cello, 2003). Il ciclo sismico del sistema di faglie attive dell'Italia centrale (in nero) ricostruito in Tondi and Cello (2003) è stato integrato con gli eventi del 2009 de L'Aquila e del 2016 di Amatrice-Visso-Norcia (in rosso).

Con l'ultimo verificatosi più di 300 anni fa (Terremoto di Norcia del 14 Gennaio 1703, Mw=6,9; Rovida *et al.*, 2016).

Nonostante le conoscenze disponibili, si è potuto verificare come non fosse stata pianificata l'emergenza, né tantomeno era stata ridotta la vulnerabilità sismica di edifici ed infrastrutture pubbliche e private. Questo ha determinato la morte di quasi 300 persone, la devastazione di numerosi centri abitati con più di 11.000 sfollati, la perdita di edifici e opere di grande valore storico/culturale, la chiusura e/o la forte crisi di innumerevoli attività economiche, generando un "cratere sismico" imponente attraverso 4 regioni dell'Italia centrale (Marche, Umbria, Lazio e Abruzzo).

Viene quindi da chiedersi: come mai non riusciamo a difenderci in maniera adeguata dai terremoti anche quando questi avvengono in aree in cui si hanno le conoscenze per farlo? Le risposte possono essere principalmente tre: *i*) non facciamo prevenzione, *ii*) la facciamo in maniera non adeguata, *iii*) gli strumenti che utilizziamo per fare prevenzione non ci permettono una efficace riduzione del rischio sismico. I primi due aspetti sono quelli generalmente indicati come responsabili della mancata riduzione del rischio sismico in Italia. Ampiamente discussi, coinvolgono problematiche relative alla consapevolezza del rischio da parte di amministratori e cittadini, alla disponibilità di fondi e a tecniche ingegneristiche idonee a seconda del contesto in cui vengono applicate. In questo lavoro, invece, vorremmo discutere del terzo aspetto, relativo ad uno degli strumenti necessari per la riduzione del rischio sismico, ovvero la valutazione della pericolosità sismica.

2. LA PERICOLOSITÀ SISMICA

Valutare la pericolosità sismica in maniera corretta è la condizione necessaria alla base delle azioni mirate alla riduzione del rischio sismico, in particolare: i) pianificazione dell'emergenza e ii) riduzione della vulnerabilità di edifici ed infrastrutture.

La carta di Pericolosità Sismica Nazionale (*Fig.* 4) è l'unico documento che fornisce in maniera ufficiale informazioni sui terremoti riguardanti il dove, il come (in termini di intensità) e il quando. Le intensità sono espresse in termini di accelerazione orizzontale su suolo rigido (Vs_{30}>800m/s) che hanno la probabilità del 10% di essere superate in un arco temporale di 50 anni e sono quelle che vengono contemplate dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 (NTC-2008), sia per le nuove costruzioni che per valutare la vulnerabilità sismica degli edifici preesistenti.

Questi due aspetti rappresentano di fatto delle limitazioni nella valutazione corretta delle intensità dei terremoti che vanno necessariamente considerati. Il primo è che la maggior parte dell'edificato non insiste su suoli rigidi, ma su terreni caratterizzati da valori minori di 800 m/s della velocità delle onde sismiche (Vs_{30}). Questo fa sì che le accelerazioni indicate siano soggette a significative amplificazioni locali che, se non valutate, possono determinare una grave vulnerabilità sismica delle nuove costruzioni e/o rendere errate le valutazioni di vulnerabilità degli edifici esistenti.

Il secondo è che le intensità riportate nella carta sono calcolate su base probabilistica e non rappresentano i valori di accelerazione massimi che si possono raggiungere. In tale documento, infatti, viene considerato un tempo di ritorno dei terremoti più forti che possono verificarsi nelle varie zone (valutati sui dati storici) di 475 anni. Le intensità massime relative a tali eventi vengono quindi scalate su un tempo minore (50 anni, appunto) utilizzando note relazioni esistenti tra frequenza dei terremoti e magnitudo (si veda per

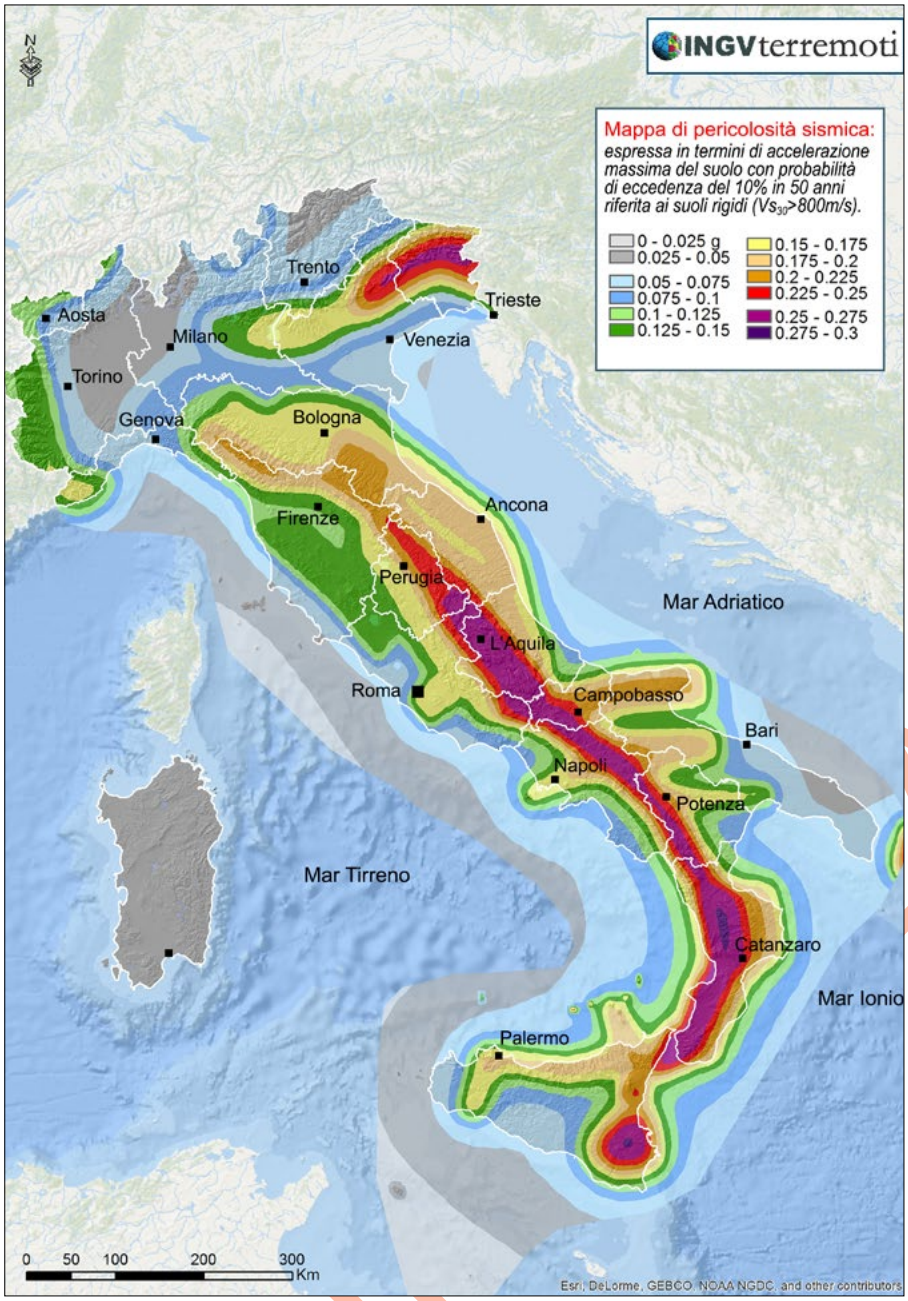


Figura 4 – Carta di pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilià di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi (Vs30>800 m/s), fonte http://zonesismiche.mi.ingv.it/.

esempio la relazione di Gutenberg-Richter) e conseguentemente ridotte (generalmente da 1/2 a 1/3 di quelle massime possibili).

Questo fa sì che nel momento che si verifica il terremoto massimo di riferimento per quella specifica zona, le accelerazioni orizzontali (anche su suolo rigido) saranno inevitabilmente maggiori di quelle previste dalla carta. Questo fenomeno è stato ampiamente documentato negli ultimi terremoti che si sono verificati in Italia centrale e in Emilia-Romagna. Nelle aree epicentrali dei terremoti de L'Aquila (2009) e di Amatrice-Visso-Norcia (2016), le accelerazioni orizzontali raggiunte hanno avuto valori compresi tra 0,5 e 0,7g (fonte www.ingv.it), a fronte di un valore previsto dalla carta di pericolosità sismica di 0,275g. Lo stesso fenomeno si è verificato in Emilia nel 2012, durante il terremoto di magnitudo 5,8 le accelerazioni hanno raggiunto un valore di 0,35g, rispetto a 0,10-0,15g previsto (*Fig.* 5).

Per quanto riguarda le possibili amplificazioni locali, queste vengono valutate con gli studi di microzonazione sismica in riferimento alle caratteristiche geologiche locali. Tuttavia, tali studi impegnativi e costosi vengono vanificati nel momento che si verifica il terremoto massimo previsto. Per fare un esempio, un fattore di amplificazione locale pari a 2 in una zona vicina all'epicentro del terremoto emiliano del 2012 avrebbe portato il valore di pericolosità sismica di progetto da 0,1g (quello presente nella carta) a 0,2g (0,15g x 2 = 0,3g). Durante il terremoto del 2012, in quella stessa zona avremmo invece registrato un'accelerazione pari a 0,7g (0,35g x 2 = 0,7g), più del doppio rispetto a quello previsto, anche a seguito degli studi di microzonazione sismica.

Scalare le intensità massime ad un intervallo temporale di interesse per le attività antropiche (50 anni, appunto) è una scelta corretta. Non è conveniente costruire edifici ed infrastrutture che resistano ad eventi sismici che hanno periodi di ritorno molto lunghi, anche di centinaia o migliaia di anni. Tuttavia, nel calcolo probabilistico sarebbe opportuno tenere in considerazione quando si è verificato l'ultimo evento in una determinata zona. Questo purtroppo la carta di pericolosità sismica non lo fa. È una carta "statica", indipendente dal tempo che non viene aggiornata con il verificarsi dei terremoti.

Sappiamo che ad oggi non è ancora possibile prevedere i terremoti, in quanto le variabili che entrano in gioco sono molteplici e difficilmente valutabili. Tuttavia, i terremoti non sono indipendenti dal tempo, non sono come gli eventi metereologici, che il giorno dopo hanno la stessa probabilità di verificarsi di nuovo. Questo perché, anche se irregolare e non prevedibile (Wedmore *et al.*, 2017), la faglia ha un ciclo sismico e considerare la sua attività indipendente dal tempo determina un problema più grande di quello che si vorrebbe risolvere. Per esempio, in questo momento la pericolosità sismica prevista a Norcia, dove il terremoto massimo possibile si è verificato pochi mesi fa, è uguale a quella prevista per Sulmona, dove il terremoto di riferimento, sempre di magnitudo compresa tra 6,5 e 7,0, è avvenuto nel 1706, quindi più di 300 anni fa (Rovida *et al.*, 2016; *Fig.* 6).

A prescindere dai complessi studi che riguardano il fenomeno del terremoto, è facilmente intuibile che nei prossimi 50 anni la probabilità che a Sulmona si verifichi il terremoto massimo possibile è di gran lunga maggiore che a Norcia. Di fatto, quindi, la pericolosità sismica a Sulmona è maggiore che a Norcia e quanto riportato dalla carta di pericolosità sismica è errato.

Un altro aspetto da considerare e che rende le intensità previste dall'attuale carta di pericolosità non attendibili, riguardano gli effetti di amplificazione dovuti alla direzione di propagazione della rottura lungo la faglia (*Fig.* 7a). Questo fenomeno è stato particolarmente evidente con gli eventi sismici del 2016 (*Fig.* 7b), dove sia il terremoto del 24 Agosto che quello del 26 Ottobre hanno determinato una maggiore accelerazione al suolo a NE dell'epicentro. In alcune zone, come a Camerino, le accelerazioni associate all'evento di Mw=5,9 del 26 Ottobre sono state maggiori delle accelerazioni associate all'evento del 30 Ottobre di Mw=6,5, nonostante la minima differenza di distanza dall'epicentro.

2.1. Prospettive future

La Carta di Pericolosità Sismica Nazionale è stata pubblicata quindici anni fa, nel 2003. Sulla base delle informazioni disponibili negli

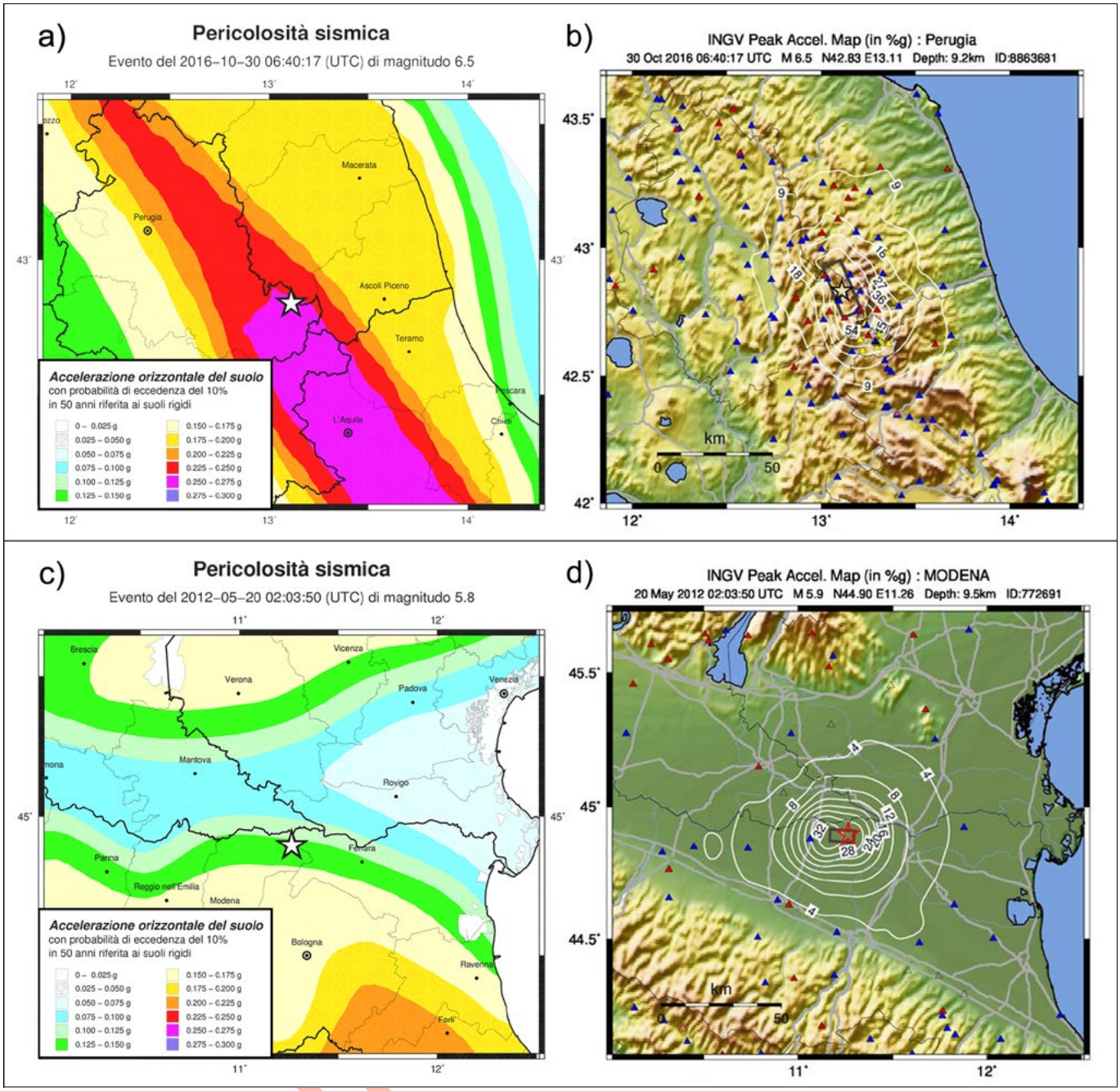


Figura 5 – Accelerazioni previste dalla carta di pericolosità sismica a sinistra e quelle realmente verificatesi nella zona epicentrale del terremoto del 2016 a Norcia (a, b), e nel 2012 in Emilia (c, d) (fonte www.ingv.it).

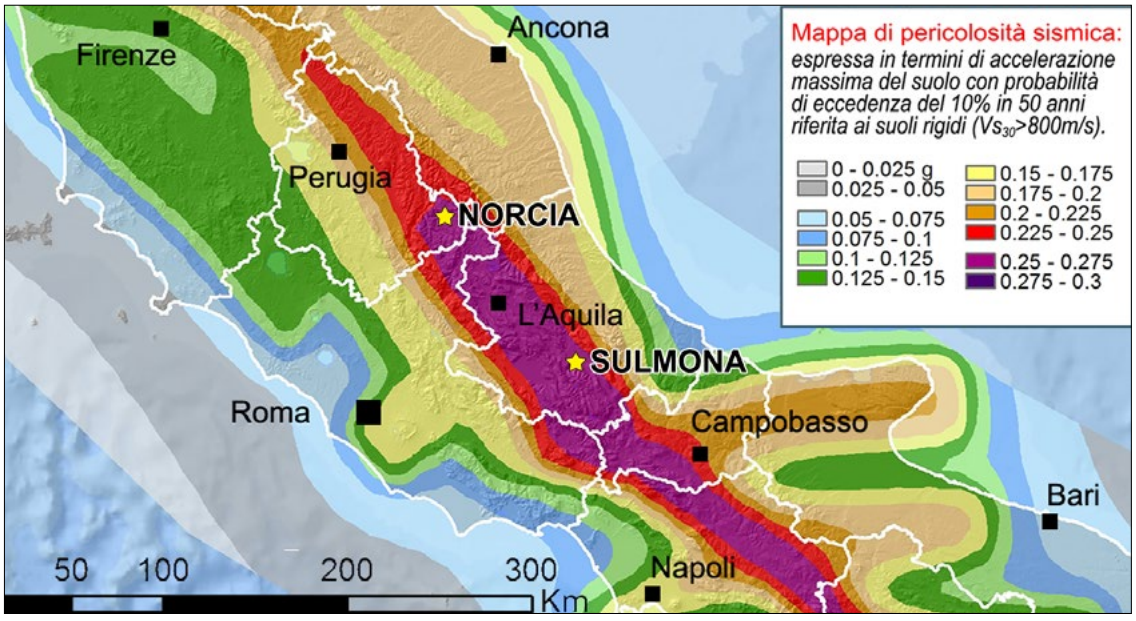


Figura 6 – Ingrandimento della mappa della pericolosità sismica in cui sono evidenziate le città di Norcia e Sulmona, fonte http://zonesismiche.mi.ingv.it/.

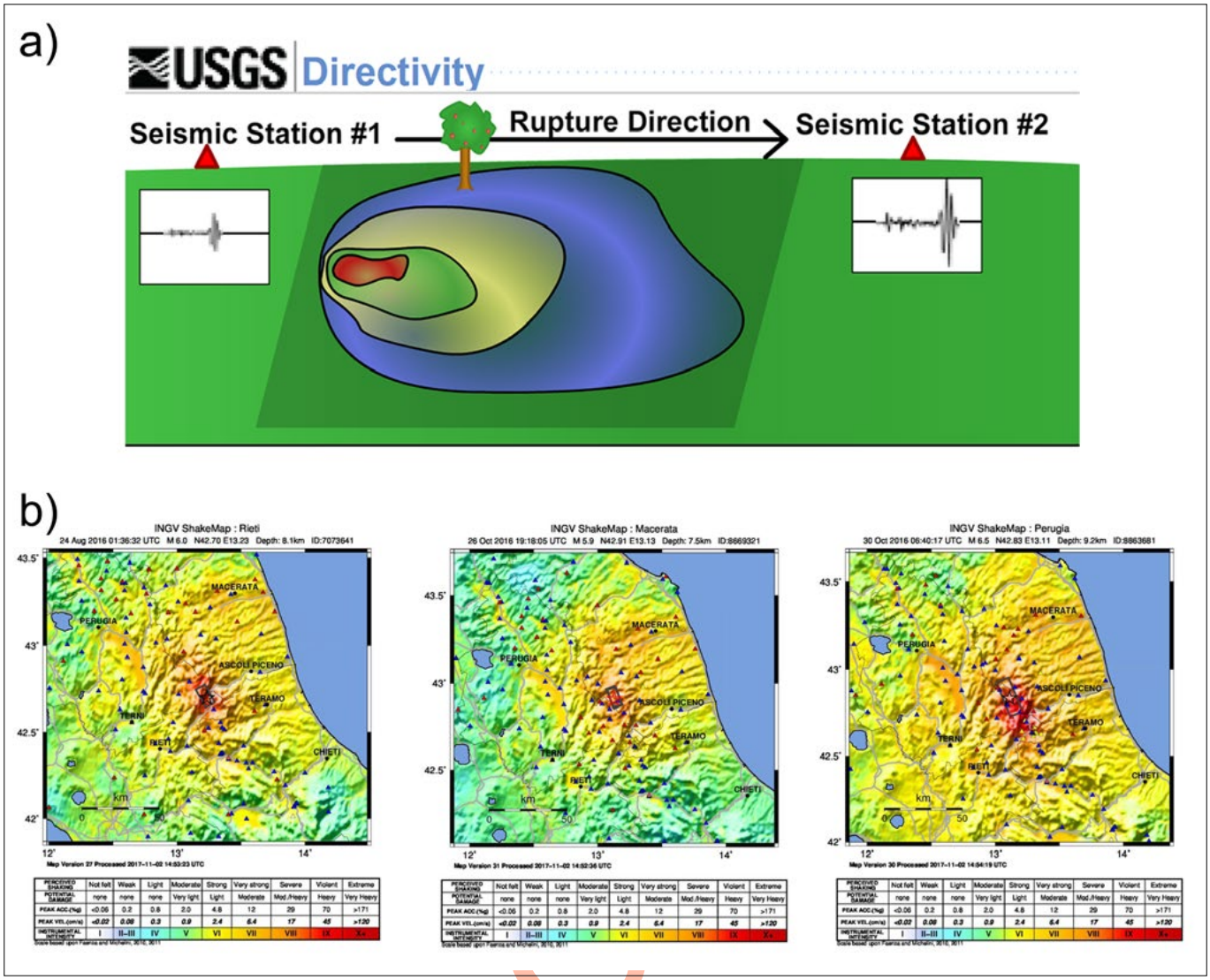


Figura 7 – Fenomeno di amplificazione dell'intensità di un sisma dovuto alla direttività di rottura della faglia; la stazione 2 seppur più distante dall'ipocentro rispetto alla stazione 1 registra un'intensità maggiore del sisma (a); Accelerazioni orizzontali al suolo (shake maps) relative agli eventi maggiori della sequenza sismica del 2016 (b) (fonte www.ingv.it).

anni '90 rappresentava sicuramente quanto di meglio era possibile produrre. Non erano state individuate e caratterizzate le principali faglie attive presenti in Italia, non si conoscevano o comunque erano ancora oggetto di ricerca scientifica diversi temi basilari riguardanti la meccanica delle faglie e dei terremoti. Ora non è così, le conoscenze scientifiche nell'ambito della Geologia dei Terremoti e della Sismologia, così come quelle riguardanti l'assetto sismotettonico del territorio italiano, sono di gran lunga migliorate. Grazie anche all'esperienza maturata dalla comunità scientifica a seguito delle sequenze sismiche recenti a partire dall'Umbria-Marche del 1997-1998, L'Aquila del 2009, L'Emilia-Romagna del 2012 e Amatrice-Visso-Norcia del 2016 (Amato and Cocco Eds. 2000; Cello and Tondi Eds., 2000; Tondi *et al.* Eds., 2009; Pantosti and Boncio Eds., 2012; Anzidei and Pondrelli, Eds., 2016).

Sulla base delle conoscenze attuali, per quanto riguarda i terremoti più forti che si possono verificare in Italia, è possibile integrare utilmente i dati sui terremoti storici con quelli geologici e geofisici disponibili relativi alle faglie attive. Nota la posizione e le caratteristiche geometriche e cinematiche delle faglie attive, è possibile procedere a valutazioni della pericolosità sismica mediante simulazioni del moto del suolo e conseguente valutazione delle relative accelerazioni (*Fig.* 8).

La simulazione del moto del suolo permette altresì di verificare gli effetti di direttività legati alla propagazione della rottura cosismica e tenere in considerazione le caratteristiche geologiche locali e quindi le informazioni provenienti dagli studi di microzonazione sismica. Queste informazioni sono necessarie per effettuare simulazioni corrette degli scenari di danno e, quindi, pianificare in maniera consapevole l'eventuale emergenza.

L'integrazione del dato geologico sulle faglie attive con quello proveniente dai cataloghi storici permetterebbe inoltre di valutare l'ultimo terremoto massimo associato alla faglia oggetto di studio e quindi alla zona sismogenica di riferimento. Di conseguenza, sarebbe possibile inserire il fattore tempo e quindi valutare la pericolosità sismica in maniera più realistica. Nelle aree dove la probabilità che si verifichi un terremoto distruttivo in tempi brevi risulti molto alta, occorrerebbe agire in maniera prioritaria nella riduzione del rischio sismico, prevedendo disposizioni e normative simili a quelle che vengono applicate nella ricostruzione di aree terremotate, ma prima che si verifichi il sisma.

3. CONCLUSIONI

I terremoti dell'estate-autunno 2016 in Italia centrale hanno evidenziato ancora una volta l'impreparazione delle istituzioni e dei cittadini ad affrontare una crisi sismica importante.

Per poter sviluppare a livello nazionale un discorso avanzato di valutazione della pericolosità sismica, è necessario che i risultati della ricerca scientifica relativi alla Geologia dei Terremoti e alla Sismologia degli ultimi venti anni vengano estratti dai lavori scientifici e messi a disposizione per la gestione e sicurezza del territorio. Questo, oltre a consentire una valutazione più attendibile delle accelerazioni previste in 50 anni, sulla base delle informazioni relative alla ciclicità del processo deformativo delle faglie e della loro interazione meccanica, permetterebbe l'individuazione di aree in cui la probabilità che si verifichi il terremoto massimo previsto

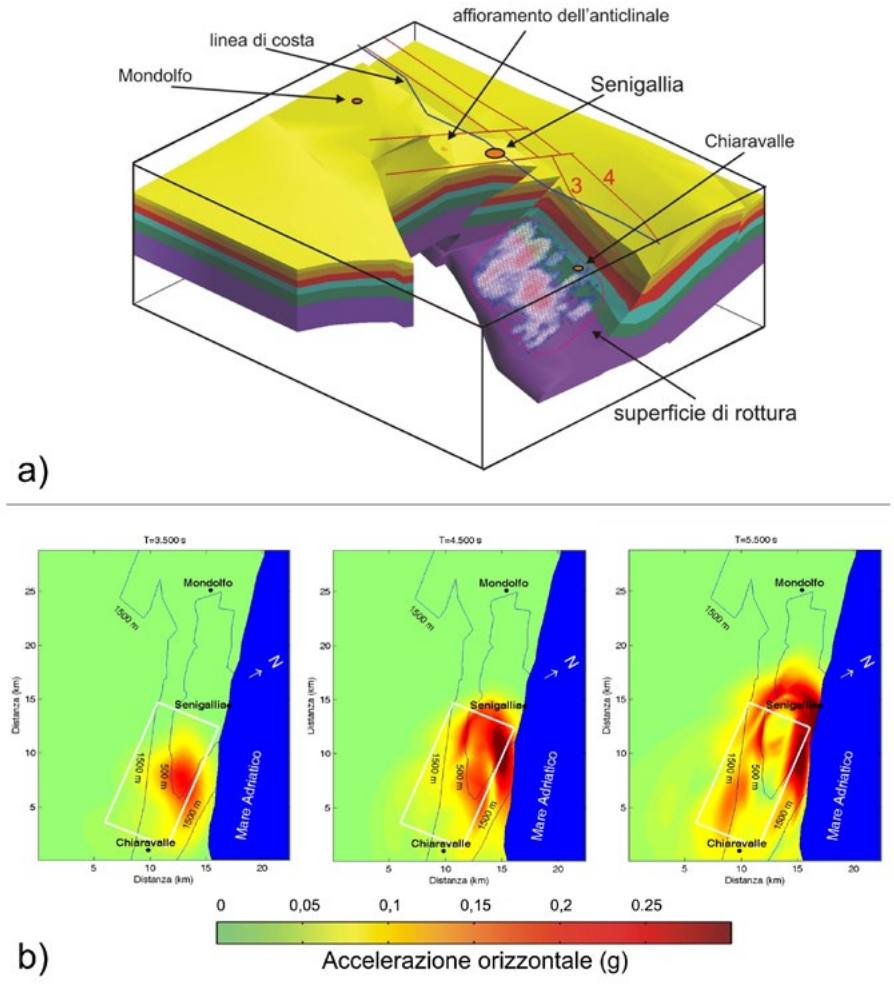


Figura 8 – Modello 3D geologico-strutturale, della zona di Senigallia (AN) (a); simulazione del moto del suolo visualizzata in pianta nei seguenti time-steps: 3,5; 4,5; 5,5 secondi dalla sorgente (b). Il rettangolo bianco mette in evidenza la faglia sismogenica e la variazione di colori da verde a rosso indica l'accelerazione orizzontale (frazione di g) crescente (Klin e Priolo, 2007, Laurenzano et al.*, 2008).*

sia più alta di altre (la ricostruzione del ciclo sismico per l'Italia centrale indicava nel 2003 che quest'area sarebbe stata interessata a breve da un'importante crisi sismica, si veda *Fig.* 3). Solo in questo modo è possibile indicare le aree prioritarie dove sviluppare azioni urgenti di riduzione del rischio sismico.

A seguito degli eventi sismici che hanno colpito tragicamente il centro Italia, numerosi ricercatori appartenenti ad Enti di Ricerca, Università e Istituzioni italiane ed europee hanno sentito la necessità di un confronto aperto, anche sul campo, sui temi riguardanti l'analisi geologica finalizzata alla riduzione del rischio sismico. E' stata quindi organizzata una conferenza internazionale itinerante "*From 1997 to 2016: Three destructive earthquakes along the central Apennine fault system, Italy – International field trip*", che si è svolta dal 19 al 22 luglio 2017 fra Camerino, Colfiorito, Norcia-Castelluccio e L'Aquila (http://convegni.unicam.it/TDEq_centralItaly). A conclusione della conferenza è stata condivisa la necessità di dotarsi in Italia di una carta ufficiale a livello nazionale delle faglie attive e capaci e successiva interpretazione in chiave sismogenica, un elaborato più completo e omogeneo rispetto a quanto già disponibile e che veda la partecipazione e quindi la condivisione della comunità scientifica che opera nel campo della Geologia dei Terremoti. Tale documento, conterrebbe le informazioni necessarie per una valutazione più realistica della pericolosità sismica del territorio nazionale, permettendo quindi una più efficace riduzione del rischio sismico.

BIBLIOGRAFIA

Amato, A., Cocco, M. (Eds.) (2000), *The Umbria-Marche, Central Italy, Seismic Sequence of 1997-1998,* Journal of Seismology, Special Issue, 4.

Anzidei, M., Pondrelli, S. (Eds) (2016), *The Amatrice seismic sequence: preliminary data and results,* Annals of Geophysics, 59, Fast Track 5.

Barchi, M., Galadini, F., Lavecchia, G., Messina, P., Michetti, A.M., Peruzza, L., Pizzi, A., Tondi, E., Vittori, E. (2000), *Sintesi delle conoscenze sulle faglie attive in Italia Centrale: parametrizzazione ai fini della caratterizzazione della pericolosità sismica,* CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti, Roma, 62 pp.

Calamita F., Pizzi A. (1994), *Recent and active extensional tectonics in the southern Umbro-Marchean Apennines (central Italy),* Mem. Soc, Geol. It., 48, 541-548. A.

Cello G., Tondi E. (Eds.) (2000), *The resolution of geological analysis and models for earthquake faulting studies".* Journal of Geodynamics, Special Issue, 29 (3-5).

Chiaraluce, L., Di Stefano, R., Tinti, E., 261 Scognamiglio, L., Michele, M., Casarotti, E., Cattaneo, M., De Gori, P., Chiarabba, C., Monachesi, G., Lombardi, A. M., Valoroso, L., Latorre, D., Marzorati, S. (2017), *The 2016 Central Italy seismic sequence: a first look at the mainshocks, aftershocks and source models.* Seism. Res. Lett., 88 (3), 1-15, doi:10.1785/0220160221.

Civico *et al.* et Open EMERGEO Working Group (2017), *Surface ruptures following the 30 October 2016 Mw 6.5 Norcia earthquake, central Italy.* Journal of Maps.

Galadini F., Galli P. (2003), *Paleoseismology of silent faults in the Central Apennines (Italy): the Mt. Vettore and Laga Mts. faults.* Annals of Geophysics.

Galli P., Galadini F., Calzoni F. (2005), *Surface faulting in Norcia (central Italy): a "paleoseismological perspective",* Tectonophysics, 403, 117-130.

Klin P., Priolo E. (2007), *Studio delle sorgenti sismogenetiche lungo la fascia costiera marchigiana - Simulazioni numeriche 3D del moto forte del suolo nell'area di Senigallia.* In: M. Mucciarelli, P.P. Tiberi (a cura di), *Scenari di pericolosità sismica della fascia costiera marchigiana – La microzonazione sismica di Senigallia*, Regione Marche e Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 215-225.

Laurenzano G., Priolo E., Tondi E. (2008), 2D numerical simulations of earthquake ground motion: examples from the Marche Region, Italy. J Seismol. 12:395–412 DOI 10.1007/s10950-008-9095-1

Pantosti, D., Boncio, P. (Eds.) (2012), *Understanding the April 6th* L'Aquila earthquake*: the geological contribution.* Italian Journal of Geosciences, Special Issue, 131 (3).

Pierantoni, P.P., Deiana, G., Galdenzi, S. (2013), *Stratigraphic and structural features of the Sibillini Mountains (Umbria-Marche Apennines, Italy).* Italian Journal of Geosciences 132 (3), 497-520.

Rovida, A., Locati, M., Camassi, R., Lolli, B., Gasperini P. (2016), CPTI15, *the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earth-quakes.* Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15

Tondi, E., (2000), *Geological analysis and seismic hazard in the Central Apennines.* Journal of Geodynamics, 29, 517-534.

Tondi, E., Cello, G. (2003), *Spatiotemporal Evolution of the Central Apennines Fault System (Italy).* Journal of Geodynamics, 36, 113-128.

Tondi E., Chiaraluce L., Roberts G. (Eds.) (2009), *Ten years after the Umbria-Marche earthquake.* Tectonophysics, Vol. 476, Special Issue 1-2.

Wedmore, L. N. J., Faure Walker J. P., Roberts G. P., Sammonds P. R., McCaffrey K. J. W., Cowie P. A. (2017), *A 667 year record of coseismic and interseismic Coulomb stress changes in central Italy reveals the role of fault interaction in controlling irregular earthquake recurrence intervals*, J. Geophys. Res. Solid Earth, 122, doi:10.1002/2017JB014054

Wilkinson M., Mccaffrey K. J. W., Jones R. R., Gerald P. R., Holdsworth R. E., Gregory L. C., Walters R. J., Wedmore L., Goodall H. And Iezzi F. (2017), *Near-field fault slip of the 2016 Vettore Mw 6.6 earthquake (Central Italy) measured using low-cost GNSS.* Scientific Reports, doi:10.1038/s41598-017-04917-w

Emergenza e ricostruzione

Emergency and reconstruction

Alfiero Moretti
Architetto. Dirigente Servizio Protezione Civile Regione Umbria, Coordinatore Ufficio Speciale Ricostruzione Umbria sisma 2016, Vice Presidente Osservatorio Nazionale Ricostruzione sisma 2016, già Direttore della Struttura tecnica del Commissario Delegato alla ricostruzione – Emilia Romagna 2012-2016. Fino al 2012 ha coperto il ruolo di Direttore Generale del Comune di Foligno, lavorando attivamente all'emergenza sismica umbro-marchigiana del 1997 ed alla successiva ricostruzione.

Parole chiave (*key words*): emergenza (*emergency*), disastro (*disaster*), terremoto (*earthquake*), ricostruzione (*rebuilding*)

I terremoti tornano. Non sappiamo dove, con quale intensità, né quando. Ma abbiamo una certezza: torneranno.

L'Italia è uno dei paesi a maggiore rischio sismico del Mediterraneo, sia per la frequenza dei terremoti che hanno interessato il territorio, sia per l'intensità che alcuni di essi hanno raggiunto provocando anche notevoli impatti sociali ed economici nel nostro paese. Dalle statistiche risulta che negli ultimi due secoli, a partire dal 1805, ci sono stati in Italia almeno sessantatre terremoti che hanno causato la perdita di quasi 150 mila morti, l'80% dei quali concentrati nei terremoti di Messina-Reggio Calabria del 1908 e di quello abruzzese del 1915. Dal 1968, terremoto del Belice, ad oggi la perdita di vite umane è stata di circa 5.000 persone, cento ogni anno. Negli ultimi otto anni, a partire dal terremoto dell'Aquila del 2009, abbiamo registrato circa 700 morti. Oltre al numero ingente delle vittime, si deve tener conto del grande impatto economico che questi eventi sismici hanno avuto nel nostro paese: sia per gli elevati costi diretti riguardanti la gestione delle emergenze e successive ricostruzioni, sia per quelli indiretti derivanti dal calo di produzioni agricole ed industriali. Basti pensare che solo nel periodo 1968-998 tale costo è stato stimato in oltre cento miliardi di euro, drenando ingenti risorse alle politiche di prevenzione di cui l'Italia avrebbe particolare bisogno.

Nell'agosto del 2016 il terremoto è tornato nell'Italia Centrale. *"Ventiquattro agosto, 26 e 30 ottobre 2016, 18 gennaio 2017: nell'arco di cinque mesi il territorio del Centro Italia e la sua gente hanno sofferto i lutti e le rovine del più grave e complesso evento sismico ed anche meteorologico che abbia colpito il nostro paese da molti decenni a questa parte. Si è risposto con una grande prova di solidarietà umana nazionale ed internazionale, con una grande prova di professionalità e dedizione del sistema di Protezione Civile. Con una grande prova di dignità delle comunità colpite e di unità delle istituzioni democratiche. Salvare le vite, assistere la popolazione, non lasciare solo nessuno, rispondere con equità ai mille bisogni. E poi, da subito, impostare la rinascita di questi territori, di questa parte dell'Appennino, straordinariamente bella ma anche tanto fragile per ragioni ambientali, sociali ed economiche".* Queste sono le parole del Commissario Vasco Errani e dei Vice-Commissari, Presidenti delle quattro regioni colpite, nella prefazione al rapporto sull'attività del Commissario Straordinario, ad un anno dall'inizio della crisi sismica del 24 agosto 2016, che descrivono anche una strategia sostenibile per il futuro della ricostruzione del Centro Italia.

Per narrare l'entità delle devastazioni del sisma che ha colpito l'Italia Centrale alcuni dati. Sono stati effettuati oltre 250.000 controlli sulla stabilità degli edifici: 4.600 agli edifici pubblici; 5.800 alle chiese e beni culturali; la restante parte al patrimonio edilizio privato, residenziale e produttivo. Sono stati accreditati per il censimento dei danni oltre 6.500 tecnici rilevatori sia liberi professionisti che pubblici dipendenti, con il coinvolgimento anche di qualificati centri di ricerca. Risultano complessivamente danneggiati oltre 70.000 edifici dei quali, da una proiezione statistica - in quanto mancano ancora molte schede AeDES che devono essere redatte (entro il 31 marzo 2018), dai professionisti incaricati dai privati dopo le FAST - risulterebbe che il 45% presenta danni lievi (scheda con esito B e C) ed il 55% con danni gravi (scheda con esito E). Complessivamente, dopo il 26 e 30 ottobre 2016 la popolazione assistita nelle quattro regioni supera le 40.000 unità.

Con questo contributo non verranno affrontati tutti i temi relativi all'emergenza ed al

ANTEPRIMA



Figura 1



Figura 2

processo di ricostruzione post-sisma, ma solo alcuni aspetti specifici per dimostrare come ormai sia acquisito in Italia il fatto che la loro gestione viaggia in parallelo e non hanno una successione temporale. Da tempo, dopo le esperienze precedenti in cui i due momenti (emergenza e ricostruzione) erano nettamente separati e si svolgevano in tempi successivi, basti pensare a quanto avvenuto sia in Friuli nel 1976 che in Irpinia nel 1980, si è sperimentato nel nostro paese un modello operativo che vede contestualmente presenti: da una parte il sistema della Protezione Civile impegnato nella gestione dell'emergenza e dall'altra la definizione del modello di ricostruzione con le rispettive regole e risorse finanziarie, con la nomina del Commissario Governativo.

Anche nella nostra realtà, trascorso poco tempo dopo dall'inizio della crisi sismica, sono stati emessi una serie di provvedimenti per avviare nel concreto sia la gestione dell'emergenza, in soccorso delle popolazioni colpite dai ripetuti eventi sismici ed atmosferici, sia per porre le solide basi di un avvio del processo di ricostruzione. Con deliberazione del Consiglio dei Ministri del 25 agosto 2016 è stato dichiarato lo stato di emergenza in conseguenza degli eccezionali eventi sismici che il giorno 24 agosto 2016 hanno colpito il territorio delle Regioni Abruzzo, Lazio, Marche ed Umbria. Con successive deliberazioni del Consiglio dei Ministri del 27 ottobre 2016 e del 31 ottobre 2017 si è preso atto dell'estensione degli effetti della dichiarazione dello stato di emergenza adottata con la delibera del 25 agosto 2016 in conseguenza degli ulteriori eventi sismici che il giorno 26 ottobre e 30 ottobre 2016 hanno colpito il territorio delle Regioni Lazio, Marche, Umbria e Abruzzo. Dopo la dichiarazione dell'emergenza il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile ha insediato la DICOMAC e messo in atto tutte le disposizioni normative e regolamentari previste dalla vigente legislazione in materia. Lo stato di emergenza, inizialmente fissato in sei mesi, è stato poi esteso con successive proroghe fino al 28 febbraio 2018 e quasi sicuramente verrà prorogato fino al 24 agosto 2018, a due anni dall'avvio della crisi sismica. Parallelamente, a distanza di pochi giorni dall'avvio della crisi sismica con Decreto del Presidente della Repubblica del 9 settembre 2016, su proposta del Consiglio dei Ministri, Vasco Errani fu nominato Commissario Straordinario del Governo, ai sensi dell'art. 11 della legge 23 agosto 1988, n. 400 e successive modificazioni, ai fini della ricostruzione nei territori dei Comuni delle Regioni di Abruzzo, Lazio, Marche ed Umbria interessati dall'evento sismico del 24 agosto 2016. Successivamente, con Decreto del Presidente della Repubblica dell'11 settembre 2017, l'On. Paola De Micheli è stata nominata Commissario straordinario del Governo in sostituzione di Vasco Errani.

Il Commissario Straordinario ha immediatamente attivato la collaborazione con il Capo Dipartimento della Protezione Civile, al fine di assicurare il necessario coordinamento delle rispettive azioni e competenze, e si è fatto parte attiva stimolando il Governo alla presentazione delle regole per la ricostruzione dei beni danneggiati dagli eventi sismici iniziati il 24 agosto. Il decreto legge 17 ottobre 2016, n. 189, pubblicato in Gazzetta Ufficiale 18 ottobre 2016, n. 244, recante *"Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dal sisma del 24 agosto 2016"* è stato adottato dal Consiglio dei Ministri a meno di due mesi dall'inizio della crisi sismica e convertito con modificazioni dalla legge 15 dicembre 2016, n. 229, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 294 del 17 dicembre 2016, mentre nel frattempo gli eventi sismici del 26 e 30 ottobre 2016 avevano aumentato notevolmente i danni, cambiando sostanzialmente il quadro di riferimento. Sono poi seguite altre disposizioni legislative che hanno implementato il testo originale.

La successione degli eventi sismici, la contemporanea emissione dei provvedimenti riguardanti la disciplina sia della gestione dell'emergenza che della ricostruzione attestano che le due attività, seppur distinte ed



Figura 3

attuate da soggetti diversi, procedono parallelamente e si influenzano reciprocamente. A testimoniare questo rapporto tra gestione dell'emergenza e ricostruzione si descrivono due attività che richiedono coordinamento, integrazione e contestualizzazione delle azioni svolte da soggetti diversi. La prima riguarda il modello di ricostruzione dopo un evento sismico, la seconda l'apprestamento delle soluzioni abitative emergenziali per l'assistenza alla popolazione che ha perso il proprio alloggio.

Dopo l'evento sismico di Marche ed Umbria del 1997, gli obiettivi della ricostruzione furono chiaramente delineati dalla legge n. 61 del 30 marzo 1998, approvata a sei mesi dall'inizio della crisi sismica, costituendo il riferimento normativo per quel processo di ricostruzione. Quella legge costituì una svolta nell'approccio metodologico fino ad allora utilizzato in quanto prevedeva, per la ricostruzione privata una doppia articolazione: ricostruzione leggera e ricostruzione pesante. Quest'ultima a sua volta era suddivisa in interventi su edifici isolati e edifici ricompresi nei Programmi Integrati di Recupero (ricostruzione integrata).

Per la ricostruzione leggera venne emanato, a pochi giorni dall'inizio della crisi sismica l'ordinanza n. 61/97 che prevedeva la possibilità di intervenire immediatamente su edifici danneggiati in modo lieve, a bassa vulnerabilità e privi di carenze strutturali. L'obiettivo primario alla base dell'introduzione della ricostruzione leggera era quello di ottenere il maggior numero possibile di edifici agibili nel minor tempo possibile. Per raggiungere questo scopo si era previsto che potessero accedere a questo modello di ricostruzione edifici che presentavano contemporaneamente due condizioni tecniche: 1) riparabilità dei danni con interventi minimi e rafforzamento globale dell'edificio attraverso un insieme sistematico di interventi prevalentemente indirizzati verso l'aumento della qualità dei collegamenti strutturali tra murature confluenti e tra le stesse e gli orizzontamenti e 2) basso livello di vulnerabilità, calcolata in termini semplificati e convenzionali. Il contributo era previsto per le unità immobiliari comprese in edifici dichiarati totalmente o parzialmente inagibili, in cui era presente almeno un'abitazione principale al momento del sisma.

La ricostruzione pesante prevedeva invece interventi di miglioramento sismico secondo quanto disposto al punto 9.1.2. del D.M. 16/01/1996 introducendo, per la prima volta, che tale miglioramento conseguisse almeno il 65% dell'adeguamento sismico di un edificio esistente "calcolato" in quanto il decreto del 16/01/1996 non prevedeva verifiche globali per tale categoria d'intervento ma solo la verifica del conseguimento della soglia minima prefissata.

Sia per la ricostruzione leggera che per quella pesante il progetto dell'intervento doveva essere esteso per l'intero edificio (unità strutturale). Anche questa è stata una novità molto significativa rispetto a precedenti ricostruzioni post-sisma in quanto veniva assicurato un aumento della sicurezza in quanto veniva estesa a tutto l'edificio e non alla singola unità immobiliare.

Il modello della ricostruzione leggera introdotto nel 1997, ossia consentire il ritorno immediato nelle proprie abitazioni del maggior numero possibile di nuclei familiari sgomberati, o in edifici parzialmente inagibili o agibili con provvedimenti, mediante l'esecuzione di interventi caratterizzati da tempi di esecuzione molto contenuti (entro 8-10 mesi dall'inizio dei lavori) e costi limitati entro un tetto massimo di contributo, è stato poi utilizzato anche nelle ricostruzioni successive: Abruzzo nel 2009, Emilia Romagna nel 2012 ed infine nel Centro Italia nel 2016. Questo modello è risultato vincente, ha consentito ai terremotati di ottenere tempi ridotti per riutilizzare gli alloggi danneggiati e contestualmente ha contribuito a contenere il numero delle soluzioni abitative temporanee,

utilizzate per lunghi periodi che il sistema della Protezione Civile avrebbe dovuto realizzare.

Le NTC del 2008, nel frattempo entrate in vigore nel 2009, hanno pienamente confermato questo approccio strutturale, prevedendo espressamente per il patrimonio storico costruito differenziate tipologie di interventi: dalla riparazione con rafforzamento locale per gli edifici con danni lievi (ricostruzione leggera) al ripristino con miglioramento sismico, potremmo dire "un parente stretto" del miglioramento calcolato del sisma '97, e l'adeguamento o la demolizione e successiva ricostruzione (ricostruzione pesante). Anche



Figura 4

il censimento dei danni degli edifici lesionati dagli eventi sismici nel frattempo è stato migliorato, con l'introduzione della scheda AeDES, provvedendo ad una immediata classificazione del livello di danneggiamento individuando con le sigle "B-C", edifici che presentano danni lievi e con la sigla "E" gli edifici con danni gravi e fornendo una prima indicazione sul percorso della ricostruzione. Questo percorso deve però tener conto sia del livello di danneggiamento che delle vulnerabilità degli edifici e pertanto, con le disposizioni regolamentari dei vari commissari di governo che si sono succeduti, sono stati introdotti *i livelli operativi* per individuare esattamente se ricorrere alla ricostruzione leggera o a quella pesante.

La ricostruzione leggera ha un diretto riflesso sull'assistenza alla popolazione nel processo emergenziale: a favore degli occupanti degli edifici che presentano danni lievi si è fatto ricorso alle strutture alberghiere, nel primo periodo, e poi al Contributo di Autonoma Sistemazione (CAS) senza prevedere soluzioni abitative temporanee. Da quanto osservato in Umbria, nelle Marche, in Abruzzo e poi in Emilia, possiamo dire che per la riparazione degli edifici che presentano danni lievi occorrono circa tre anni dall'inizio della crisi sismica. Nell'esperienza in corso riguardante il sisma dell'Italia Centrale questa tempistica si sta confermando in quanto a 16 mesi dall'inizio della crisi sismica sono stati già presentati duemila progetti per la riparazione con rafforzamento locale degli edifici lievemente danneggiati ed entro il 31 luglio 2018, termine ultimo previsto dalle vigenti disposizioni legislative, tutti i progetti dovranno essere presentati, pena la perdita del contributo. Dopo il rilascio delle autorizzazioni seguirà l'esecuzione degli interventi che obbligatoriamente dovrà essere, al massimo, contenuta entro 8 mesi e pertanto entro tre anni la popolazione sgomberata potrà, progressivamente, rientrare nelle proprie abitazioni.

Dalle esperienze avute sul campo in Umbria, in Emilia Romagna e da ultimo nell'attuale gestione del sisma dell'Italia Centrale, ho potuto constatare l'importanza di ridurre al minimo la realizzazione delle soluzioni abitative per l'emergenza, andando a diversificare e potenziare, per quanto possibile, l'offerta di soluzioni abitative alternative. L'introduzione dal 1997 del contributo per l'autonoma sistemazione (CAS) ha rappresentato una strategia risolutiva in questi anni, permettendo al cittadino, con la corresponsione di un contributo, di trovare una sua sistemazione senza gravare sul sistema della Protezione Civile, riducendo drasticamente il numero delle soluzioni abitative temporanee da realizzare. La scelta del CAS aveva già ottenuto una risposta di grandissima quantità e qualità in Umbria e nelle Marche, si è confermata anche in Emilia e nell'Italia Centrale nelle zone lontane esterne all'epicentro. Le soluzioni abitative temporanee realizzate in Emilia Romagna sono state inferiori alle mille unità, di cui 757 nei villaggi costruiti nei sette comuni maggiormente colpiti (PMAR), e 220 in ambito rurale (PMRR). Sono state installate meno di mille soluzioni abitative per altrettante famiglie ospitate, a fronte di un numero complessivo delle famiglie sgomberate al giugno 2012 superiore alle16.000, e cioè meno del 5% del potenziale fabbisogno. Nell'Italia Centrale nel 2016 si prevede, nei comuni maggiormente colpiti dagli eventi, la realizzazione di circa 3.800 soluzioni abitative emergenziali (SAE) e circa 300 moduli agricoli prefabbricati in ambito rurale per gli allevatori (MAPRE). Complessivamente poco più di 4.000 soluzioni, a fronte di un numero di famiglie sgomberate al dicembre 2017 superiore a 16.000, con una percentuale di soddisfazione del fabbisogno pari al 25%.

L'assistenza alla popolazione dopo un evento sismico, finalizzata a risolvere temporaneamente il problema abitativo, non si presenta uguale in quanto i territori colpiti sono diversi ed hanno le proprie specificità. Nel 2009 a L'Aquila si è dovuti intervenire con il progetto CASE e con i MAP, in quanto il livello di danneggiamento del patrimonio edilizio era molto elevato e concentrato nella città, in particolare nell'area del centro storico. Questo non ha di fatto consentito di ricorrere in larga misura all'autonoma sistemazione, essendo venuta a mancare la disponibilità di alloggi liberi per l'affitto. Anche nella gestione post-sisma dell'Italia Centrale si è dovuti ricorrere in modo consistente all'utilizzo di soluzioni abitative emergenziali nelle zone epicentrali dell'Appennino in quanto l'elevatissimo livello di danneggiamento e la distruzione di interi centri non consentiva di ricorrere all'autonoma sistemazione, tanto che il ricorso a soluzioni abitative temporanee risulta essere notevolmente superiore a quello dell'Emilia.

A partire dal caso abruzzese, dopo la gestione dell'emergenza umbro-marchigiana e quella emiliana, anche nell'Italia Centrale si è passati dai campi di prima accoglienza (tendopoli) o dalle sistemazioni alberghiere direttamente alla soluzione abitativa temporanea, senza più ricorrere a soluzioni molto precarie e provvisorie come sono stati i *container* in Umbria e nelle Marche nel 1997.

Elementi non indifferenti, cui tener conto nella predisposizione delle soluzioni abitative sono, da un lato, la stagione in cui avviene l'evento e, dall'altro, il contesto geografico, ovvero l'altitudine e la latitudine dei territori colpiti, quali fattori atti a quantificare il tempo disponibile per poter allestire una possibile soluzione. Per approntare le soluzioni abitative temporanee un altro tema importante è la loro durata tenendo conto del tempo necessario per la riparazione, il ripristino o la ricostruzione degli edifici danneggiati.

Da quanto osservato in Friuli, Umbria-Marche, in parte in Abruzzo e poi in Emilia, si può ipotizzare che per il ripristino con miglioramento sismico o la ricostruzione degli edifici con danni gravi e gravissimi occorrono da due a sei anni; per la ricostruzione integrata dei centri urbani e/o storici occorrono mediamente da quattro/cinque a otto/dieci

anni. Di fatto, alcuni di questi tempi sono indubbiamente irriducibili, ma migliorando le procedure, mettendo a punto gli strumenti attuativi del progetto di ricostruzione integrata, si potrebbe prevedere una forte riduzione dei tempi fino ad arrivare ad ipotizzare una media complessiva di circa 5/6 anni che può rappresentare un obiettivo raggiungibile per future ricostruzioni post-terremoto. In Emilia Romagna, a cinque anni dagli eventi sismici del 2012, tutti i contributi per la ricostruzione privata sono stati rilasciati; quella leggera è ormai conclusa da tempo e quella pesante registra un significativo stato di avanzamento. Chiaramente per la riduzione dei tempi molto dipende dall'entità del danno, dalla natura del bene colpito, dalla presenza dei necessari finanziamenti e dall'organizzazione e capacità dei soggetti pubblici e privati di assicurare una adeguata governance.

Le realizzazioni poste in campo in questi ultimi venti anni per trovare una soluzione ottimale in grado di fornire una dignitosa soluzione abitativa senza forti alterazioni dell'assetto urbanistico o del mercato immobiliare sono state diverse ed è indispensabile continuare la ricerca ed il confronto partendo dalle esperienze che in diverse parti di questo paese sono state fatte in questi anni dopo eventi sismici significativi. Si tratta di conciliare il confort abitativo con i fattori della *temporaneità* e *reversibilità.* Perché è indubbio che queste debbano essere residenze del tutto temporanee per gestire l'emergenza, e che l'obiettivo deve essere il ritorno alla situazione preesistente al sisma, sebbene con maggiore sicurezza e con una sostanziale riduzione del grado di vulnerabilità del territorio. L'obiettivo non può e non deve essere quello di edificare *new towns*, né nuovi quartieri: l'intervento deve porsi l'obiettivo a) della temporaneità, andando ad agire sulla gestione dell'emergenza, attuando una razionalizzazione degli standard abitativi per ridurre i costi e facilitare il rientro nelle case definitive; e b) della reversibilità, il che vuol dire che alla fine dell'emergenza queste strutture o vengono smontate o utilizzate per altre finalità. Il villaggio/quartiere temporaneo nella sua localizzazione urbanistica, nelle sue tipologie edilizie, nella scelta dei materiali impiegati deve essere un buon compromesso tra un comfort sufficiente ed una provvisorietà che non induca gli occupanti a pensare che quella sia la soluzione abitativa di lungo periodo. La localizzazione di tali insediamenti emergenziali è un atto fondamentale di pianificazione e deve trovare la comunità interessata pronta a riflettere non solo sugli aspetti contingenti ma anche per le conseguenze future. Pianificazione, gestione dell'emergenza e ricostruzione trovano in queste localizzazioni delle soluzioni abitative temporanee un punto di contatto particolarmente sensibile e da guardare con grande attenzione.

Nell'Italia Centrale, dopo il sisma del 2016, è in corso la sperimentazione di un nuovo approccio. Il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile aveva già nel 2015-2016 in tempo di pace, sulla scorta delle precedenti esperienze, messo a punto una strategia per mettere a disposizione del sistema che è chiamato a gestire emergenze soluzioni abitative temporanee innovative. E' stato predisposto un progetto ed un capitolato tecnico che prevede una soluzione abitativa con elevato confort prestazionale ed ambientale, parzialmente prefabbricata in stabilimento e facilmente trasportabile. Tutto questo per avere uno stock di soluzioni abitative immediatamente impiegabili. E' stata esperita una gara CONSIP, articolata in diversi lotti per diverse parti d'Italia, per l'individuazione di soggetti qualificati in grado di far fronte alle necessità abitative derivanti da un nuovo evento naturale. Il contratto con gli aggiudicatari delle forniture era stato stipulato solo nel mese di giugno 2016, due mesi prima dell'inizio della crisi sismica del 24 agosto 2016 e ciò non ha consentito alle imprese aggiudicatrici di poter attrezzare preventivamente le soluzioni abitative, come auspicato dalle volontà del DPC. Le SAE (soluzioni abitative emergenziali) sono parzialmente prefabbricate in stabilimento ed il loro montaggio viene completato in cantiere su piattaforme in calcestruzzo all'interno di villaggi adeguatamente attrezzati ed urbanizzati.

La progettazione esecutiva delle opere di urbanizzazione viene assicurata dal soggetto fornitore delle SAE, come previsto dal capitolato mentre la loro realizzazione è separatamente appaltata. I soggetti attuatori, sia della fornitura delle SAE che delle urbanizzazioni, sono le regioni mentre i comuni assicurano la messa a disposizione delle aree. Il ripetersi di cinque eventi sismici di fortissima intensità a distanza di cinque mesi, la difficoltà dei comuni a dimensionare la domanda delle SAE, per ogni localizzazione, tenendo conto del solo esito "E" delle schede AeDES con le problematiche registrate nel censimento dei danni ha portato al dilazionamento dell'avvio della procedura, l'elevato confort abitativo prestazione ed ambientale delle soluzioni abitative, lo sdoppiamento tra fornitura ed urbanizzazioni con la contestuale presenza in cantiere di due imprese da coordinare, l'obbligo della progettazione esecutiva per le opere di urbanizzazione, il rispetto del codice degli appalti, ha comportato tempi medi di realizzazione per ogni villaggio compresi tra 210 e 280 giorni, dall'occupazione delle aree da parte dei comuni, per la consegna delle soluzioni abitative. Si prevede di completare l'installazione e la consegna agli assegnatari delle SAE nelle quattro regioni nel mese di aprile 2018, a distanza di 20 mesi dall'inizio della crisi sismica. Una fase realizzativa che, da una prima analisi, appare eccessivamente lunga per le aspettative dei terremotati, e necessita pertanto di essere perfezionata cercando di migliorarne notevolmente i tempi di consegna.

Dall'esperienza fatta in questi anni in Italia emerge, bisogna ricordarlo ed affermarlo con forza, che la realizzazione delle soluzioni residenziali temporanee, deve essere l'ultima scelta a cui ricorrere per gestire un'emergenza abitativa. Questo principio deve essere perseguito, per quanto possibile, minimizzando l'impatto che queste strutture inevitabilmente hanno sul territorio. Nell'Italia Centrale, in base alle indicazioni fornite dal DPC che prevedevano una superficie occupata pari a circa 350-400 per ogni SAE, l'area complessiva urbanizzata supera i 150 ettari in comuni, generalmente, di dimensioni molto contenute. Questo dato rappresenta chiaramente l'impatto sul territorio di tali insediamenti.

Il permanere di strutture che sono state realizzate per una situazione di necessità e per una durata limitata nel tempo, come sono comunque le strutture residenziali temporanee, può peraltro anche generare situazioni di elevata precarietà sia dal punto di vista edilizio che sociale. Il rischio, nel tempo, è che a un disagio urbanistico si sommino anche quelli di natura economica e sociale. Per cui questi luoghi rischiano di diventare concentrazioni di problematiche complesse destinate a durare nel tempo. Queste considerazioni hanno fatto sì che, nella realizzazione delle abitazioni temporanee in Emilia, si sia scelto un livello essenziale di confort abitativo, predisponendo strutture con sistemi di appoggio non fissi al suolo, realizzate da componenti prefabbricati e prevedendo da subito lo smontaggio programmato a carico della ditta installatrice che ha portato, entro cinque anni, alla totale rimozione delle strutture. In altre situazioni come nell'Appennino dopo il sisma 2016, molte di queste strutture rimarranno nel tempo e dovranno costituire un presidio di protezione civile pronto ad essere riutilizzato in caso di necessità visto che nella storia recente il tempo di ritorno dei terremoti, in centri come Norcia, è pari a venti anni. Ciò vuol dire principalmente investire in programmazione ed in una attenta gestione di tali strutture, una volta che non saranno più utilizzate dai terremotati.

Gestire emergenze è un lavoro in progress che si arricchisce delle esperienze fatte. L'importante è continuare la ricerca, la sperimentazione fino a quando i principi sopra enunciati per assicurare l'assistenza alla popolazione attraverso le soluzioni abitative più idonee non troveranno un riconosciuto e condiviso punto di approdo.

IN BOZZA

Dal danneggiamento delle chiese di Amatrice spunti per prevenzione, conservazione e sicurezza del patrimonio storico-architettonico

A lesson from the damage of the Amatrice churches, some reflections on prevention, preservation and safety of historic and architectural heritage

Parole chiave (*key words*): patrimonio culturale (*cultural heritage*), vulnerabilità (*vulnerability*), sisma (*earthquake*), danneggiamento (*damage*), conservazione (*preservation*)

Concetta Tripepi
Ricercatrice, ENEA Centro Ricerche Bologna
E-mail: concetta.tripepi@enea.it

Elena Candigliota
Ricercatrice, ENEA Centro Ricerche Bologna
E-mail: elena.candigliota@enea.it

Giacomo Buffarini
Primo Ricercatore, ENEA Centro Ricerche Casaccia
E-mail: giacomo.buffarini@enea.it

Giovanni Carelli
4 Assistente tecnico, MiBACT, Istituto per la Conservazione e il restauro, Roma
E-mail: giovanni.carelli@beniculturali.it

Laura Donati
Funzionario Storico dell'arte, MiBACT, Gallerie degli Uffizi, Firenze
E-mail: laura.donati@beniculturali.it

Fernando Saitta
Ricercatore, ENEA Centro Ricerche Casaccia
E-mail: fernando.saitta@enea.it

INTRODUZIONE

Il presente lavoro mostra i più diffusi meccanismi di danno di chiese e campanili riscontrati durante le verifiche eseguite dagli autori, ricercatori ENEA e funzionari MiBACT, nel Comune di Amatrice severamente colpito dal terremoto dell'Italia Centrale (2016-2017). Sito all'interno del Parco Nazionale del Gran Sasso in prossimità dei Monti della Laga, Amatrice presenta un patrimonio storico di grande rilievo con i suoi cento edifici sacri e di culto. Notevoli le chiese di San Francesco, Sant'Agostino e di San Emidio, per citarne alcune gravemente danneggiate dalla sequenza sismica. Gli eventi hanno messo in luce l'alta vulnerabilità del patrimonio storico-religioso locale e, più in generale, italiano per la gran parte situato in aree ad elevata pericolosità sismica e troppo spesso oggetto di interventi di restauro e consolidamento strutturale non perfettamente integrati.

Dopo aver analizzato i principali meccanismi di danno innescati, che in molti casi hanno portato al collasso della struttura, si proporranno alcuni spunti d'intervento finalizzati a promuovere una cultura della prevenzione orientata alla sicurezza e alla conservazione.

1. SEQUENZA SISMICA E LOCALIZZAZIONE DELLE CHIESE INDAGATE

I sopralluoghi sono stati svolti a Febbraio 2017 quando i principali eventi (M≥5) della sequenza sismica, che sta interessando l'Italia Centrale da Agosto 2016, si erano già manifestati. Tali eventi, che si collocano in un'area compresa tra le sequenze sismiche Umbria-Marche del 1997 e L'Aquila del 2009, sono elencati di seguito (INGV, 2017):

A. M 6.0, Lat. 42.6983 - Lon. 13.2335, prof. 8.1km, 24 agosto 2016 (03:36:32)
B. M 5.3, Lat. 42.7922 - Lon. 13.1507, prof. 8.0km, 24 agosto 2016 (04:33:28)
C. M 5.4, Lat. 42.8802 - Lon. 13.1275, prof. 8.7km, 26 ottobre 2016 (19:10:36)
D. M 5.9, Lat. 42.9087 - Lon. 13.1288, prof. 7.5km, 26 ottobre 2016 (21:18:05)
E. M 6.5, Lat. 42.8322 - Lon. 13.1107, prof. 9.2km, 30 ottobre 2016 (07:40:17)
F. M 5.1, Lat. 42.545 - Lon. 13.2768, prof. 10.0km, 18 gennaio 2017 (10:25:40)
G. M 5.5, Lat. 42.531 - Lon. 13.2838, prof. 9.6km, 18 gennaio 2017 (11:14:09)
H. M 5.4, Lat. 42.5033 - Lon. 13.277, prof. 9.4km, 18 gennaio 2017 (11:25:23)
I. M 5.0, Lat. 42.4733 - Lon. 13.2747, prof. 9.5km, 18 gennaio 2017 (14:33:36)

In *Fig.* 1 (a) sono riportati in rosso gli epicentri, e in verde le chiese oggetto di verifica; in *Fig.* 1 (b) sono evidenziate in giallo le chiese di San Martino e della Madonna della Torre, in quanto oggetto di una più accurata analisi del danneggiamento.

2. DANNI ALLE STRUTTURE E AI BENI DI PREGIO CUSTODITI

Tra il 13 e il 17 Febbraio 2017 gli autori hanno eseguito il rilievo del danno e la relativa verifica di agibilità su 21 chiese nel territorio comunale di Amatrice; ben 20 strutture sono state dichiarate *Inagibili*, soltanto una, Sant'Anna in località Nummisci, è stata dichiarata *Agibile con provvedimenti*.

Ne risulta una percentuale pari al 95% di edifici inutilizzabili a testimonianza della grande fragilità di questa tipologia strutturale e della violenza con cui il sisma ha colpito.

Tale dato numerico si inserisce nel complesso delle attività ENEA svolte in tutta l'area indagata (oltre 100 chiese nelle quattro regioni interessate) in cui gli edifici inagibili sono

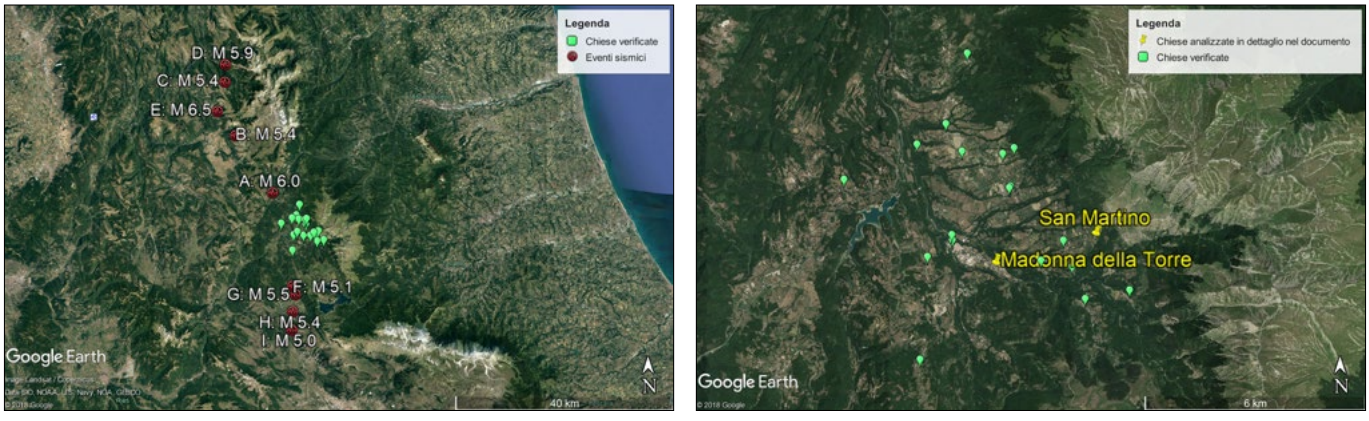


Figura1 – Mappa dell'Area contenente (a) la localizzazione degli epicentri e delle Chiese oggetto di verifica e (b) l'indicazione dettagliata delle Chiese. (Google Earth®)

IBOZA

stati il 45% e nel dato totale delle attività per i Beni Culturali svolte dal Dipartimento di Protezione Civile, in cui il 53% è risultato inagibile (su un totale di 3875 chiese). Ciò significa che, in zona epicentrale, o in generale dove lo scuotimento ha raggiunto livelli di grande intensità, allo stato attuale sarebbe impossibile garantire la salvaguardia della vita delle persone che utilizzassero tali strutture. Queste ultime non possono dunque essere fruite neanche a seguito di provvedimenti di pronto intervento ma richiedono interventi sostanziali da attuare nella fase di ricostruzione.

A riguardo si segnala che, con l'ordinanza n. 38 dell'8 settembre 2017 del Commissario del Governo per la Ricostruzione, è stato approvato il piano degli interventi sui beni del patrimonio artistico e culturale. Nel territorio del Comune di Amatrice sono stati individuati undici edifici religiosi: i santuari della Filetta, dell'Icona Passatora e della Madonna di Galloro, Santa Maria della Torre a San Cipriano, la chiesa della Santissima Annunziata a Capricchia, San Lorenzo a Pinaco, Santa Maria di Loreto a Moletano, Santa Maria delle Grazie a Prato, Santa Maria delle Grazie a Varoni, la novecentesca Santa Maria Assunta, appartenente al complesso Don Minozzi (anch'esso inserito in elenco), e Sant'Agostino nel centro storico.

Un gran numero di chiese verificate, come è possibile vedere dalle foto di seguito riportate (*Fig.* 2-*Fig.* 9), ha subito un danneggiamento codificato nelle *schede di rilievo* come di livello *5*. Esso corrisponde alla rovina pressoché totale dell'edificio con il crollo della copertura e la conseguente elevata possibilità di perdita di vite umane, qualora esso fosse stato utilizzato durante una delle numerose repliche di elevata magnitudo che hanno caratterizzato la sequenza sismica.



Figura 2 – Chiesa di S. Francesco



Figura 3 – Chiesa di S. Pietro in Campo







Figura 4 – Santuario di Santa Maria della Filetta. Viste esterne









Figura 5 – Santuario di Santa Maria della Filetta. Affreschi all'interno



Figura 6 – Chiesa di S.Antonio Abate. Danneggiamento chiesa e campanile





Figura 7 – Chiesa di S. Clemente





Figura 8 – Chiesa di S.Clemente. Messa in sicurezza del campanile a settembre 2016 (VIGILI DEL FUOCO, 2016)

Le perdite per il patrimonio culturale non si esauriscono con i danni agli edifici religiosi. All'interno di questi, infatti, ben ancorati alla struttura architettonica si conservano stucchi, affreschi, architravi decorate, elementi lapidei di recupero inglobati nelle murature, oltre a opere d'arte su supporto mobile (dipinti su tavola, tela, sculture in diversi materiali, incisioni, arredi lignei, oggetti di alto artigianato destinati all'uso liturgico, e così via). Queste ultime ove possibile sono state prelevate dagli edifici pericolanti o recuperate sotto le macerie e trasferite in luoghi protetti.

A questo fine per il Lazio è stato allestito un idoneo deposito a Cittaducale all'interno della Scuola del Corpo Forestale dello Stato. Le operazioni sono state eseguite da squadre coordinate dall'Unità di crisi del Ministero dei Beni e delle Attività Culturali e del Turismo, con modalità tecniche dettagliatamente illustrate nella Relazione conclusiva del luglio 2017 del Segretariato Generale, pubblicata nel sito istituzionale del ministero. In alcuni particolari casi le opere d'arte mobili – poiché difficilmente movimentabili per la loro intrinseca fragilità o per ragioni logistiche legate alla difficile percorribilità dei tratti viari dopo il sisma e alla particolare ubicazione degli edi-



Figura 9 – Chiesa di S. Emidio. Crollo della chiesa e grave danneggiamento del campanile

fici – sono state inizialmente protette in loco grazie a strutture appositamente predisposte, come nel caso delle sculture in terracotta attribuite a Saturnino Gatti e bottega (Sant'Antonio abate e la Madonna con Bambino) nella chiesa di Sant'Antonio abate a Cornillo Nuovo. (VISCOGLIOSI A., 2016)

Diverso il discorso per le superfici decorate e le opere d'arte ancorate alle strutture. I dipinti murali hanno generalmente subito i danni inevitabili dovuti alla loro coesione con il supporto murario. In alcuni edifici caratterizzati da superfici affrescate di particolare pregio – riconducibili tra gli altri ai nomi di Pier Paolo da Fermo, Dionisio Cappelli e Cola dell'Amatrice – come l'Icona Passatora e il santuario della Madonna della Filetta, dopo il sisma del 24 agosto un pronto intervento dei restauratori dell'Istituto Superiore per la Conservazione e il Restauro aveva previsto la messa in sicurezza delle superfici con velinature a carta giapponese e resine acriliche, che è stato eseguito congiuntamente alla raccolta sistematica e catalogazione dei frammenti caduti in vista di futuri ripristini. Le decorazioni rinascimentali sopra ricordate, però, hanno nuovamente sofferto per le scosse di ottobre, che hanno provocato ulteriori danni solo in parte attenuati dagli interventi conservativi che erano stati eseguiti d'urgenza: nel corso dei sopralluoghi effettuati nel febbraio 2017 sono, infatti, stati rilevati ulteriori distacchi di estese porzioni di dipinti, lesioni e cadute. Il ricovero in luogo sicuro del resto non è una strada percorribile per i dipinti murali. L'eventualità dello stacco e trasferimento altrove degli affreschi – sempre poco auspicabile per la perdita di valore e significato che le opere d'arte subiscono quando vengono decontestualizzate, soprattutto quando eseguite per uno specifico edificio – in questi casi sarebbe stato difficilmente percorribile anche per le ragioni tecniche legate alla loro notevole estensione e alla precarietà dei luoghi di lavoro. A ciò si aggiungeva la necessità di operare in fretta per limitare i rischi ai quali venivano sottoposti i restauratori con uno sciame sismico ancora in atto.

Le immagini riportate nel presente articolo, di alcune chiese con i loro campanili in gran parte distrutte, sono testimonianza della devastazione provocata dal sisma, che ha portato la perdita non soltanto del patrimonio architettonico ma anche e soprattutto dell'identità culturale di un territorio.

3. ANALISI DEL DANNEGGIAMENTO DI ALCUNE CHIESE

Si riportano di seguito alcune considerazioni più dettagliate per le Chiese di San Martino e della Madonna della Torre. Tali chiese si ritengono rilevanti sia perché consentono di evidenziare i più comuni meccanismi di danno, sia perché, a fronte di un analogo giudizio di inagibilità, esso è scaturito per motivi totalmente differenti.

3.1 Chiesa di San Martino

Ubicata su un rilievo a circa 1150 m sul livello del mare, la chiesa di San Martino è caratterizzata da una struttura portante in muratura articolata su unica navata (m. 19 x 11.6) e copertura a capriate. Su una parete laterale risulta connessa alla sacrestia. La facciata presentava un campanile a vela con due campane e un rosone in posizione asimmetrica rispetto alla vela. Il portale in arenaria era arricchito dalla lunetta affrescata e da un architrave decorato con raffigurata una stilizzata Annunciazione, recante al centro uno scudo crociato sormontato da tre gigli, antico stemma di Amatrice nonché riferimento al casato degli Angioini: la tradizione riporta, infatti, che la chiesa sarebbe stata fondata da soldati francesi.

L'interno era arricchito da dipinti murali appartenenti a diversi cicli decorativi, ora frammentari e in parte totalmente perduti. Alcuni degli affreschi, per affinità con quelli del santuario dell'Icona Passatora, sono attribuiti alla cerchia di Dionisio Cappelli. Un'imponente pala d'altare di scuola napoletana, databile alla prima metà del secolo XVII e raffigurante San Martino tra i santi Lorenzo e Francesco, era posizionata sull'altare maggiore.

La pala d'altare costituiva, assieme ad un tabernacolo in legno intagliato e dorato, un angelo in terracotta policroma attribuito al Cappelli, una via crucis a stampa di scuola francese del Settecento e la suppellettile ecclesiastica, il ricco corredo di opere d'arte mobili conservato all'interno (AQUILINI L., 2002) (*Fig.* 10).

I crolli, diffusamente registrati in facciata, facciata terminale, pareti laterali e copertura, sono riconducibili, in primo luogo, alla cattiva qualità della muratura e alla sua tessitura irregolare all'interno dei paramenti. In questo caso, come in altri, si può ritenere quindi che l'innescarsi di qualsiasi meccanismo di collasso sia stato preceduto dallo sgretolamento del materiale.

Come evidenziato in *Fig.* 12, la muratura in esame è del tipo a paramenti scollegati, povera, a sacco, costituita da pietrame non squadrato e male organizzato. I paramenti esterni sono costituiti da ciottoli di piccole o medie dimensioni aventi spigoli di forma arrotondata mentre il riempimento è realizzato con elementi di diversa pezzatura a spigoli vivi. La malta, di cattiva qualità anch'essa, è sgretolabile con le mani.

Altro elemento utile a ricostruire la dinamica del crollo è la presenza di pesanti cordoli in cemento debolmente armati che, sovraccaricando le pareti laterali e presentando una rigidezza notevolmente diversa rispetto alla muratura sottostante, possono aver contribuito al suo sgretolamento (*Fig.* 13).



Figura 10 – Chiesa di San Martino: pre-sisma (a) vista esterna (b) vista interna (AMATRICEVIVE, 2016

A seguito degli eventi sismici, la Chiesa è stata dichiarata inagibile per il grave livello di danno riscontrato, come è possibile constatare dalle immagini in *Fig.* 11.



Figura 11 – Chiesa di San Martino: post-sisma (a) vista esterna (b) vista interna



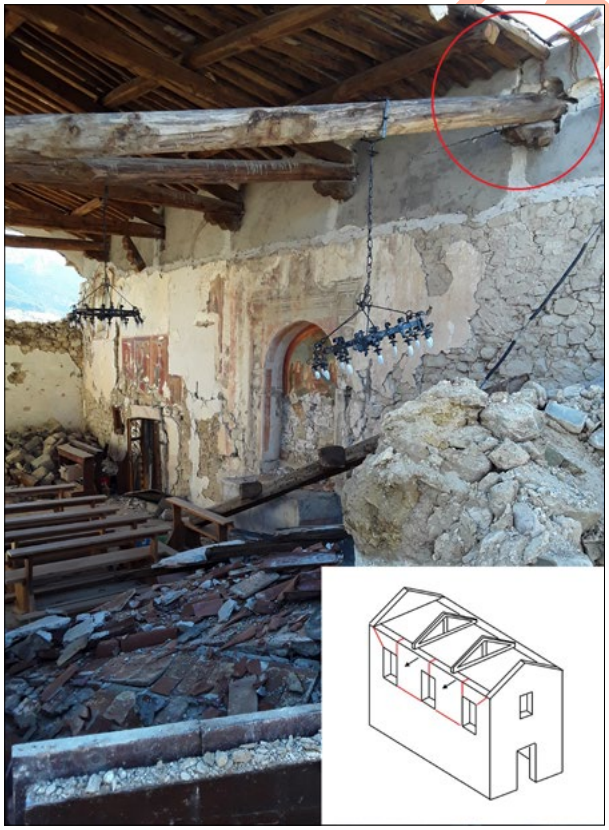


Figura 12 – Chiesa di San Martino: muratura pareti (a) lato sinistro (b) lato destro





Figura 13 – Chiesa di San Martino: (a) vista d'insieme lato sinistro (b) vista lato destro con dettaglio cordolo



Uno dei meccanismi attivati dal sisma, che resta riconoscibile nonostante i crolli diffusi, è quello che ha interessato gli **elementi di copertura.** Sono infatti visibili delle lesioni localizzate nella parte alta delle pareti laterali in corrispondenza delle travi lignee. È inoltre possibile constatare il completo sfilamento del puntone e la rotazione nel piano verticale della catena della quinta capriata, come evidenziato in *Fig.* 14a.

Appare essersi altresì innescato il meccanismo di **ribaltamento della facciata** (in questo caso la facciata terminale della chiesa) potendosi dedurre l'attivazione di una rotazione fuori piano della stessa (*Fig.* 14b).



Figura 14 – Chiesa di San Martino: (a) meccanismo degli elementi di copertura (b) meccanismo di ribaltamento della facciata terminale

In sintesi, si ritiene che il collasso abbia avuto origine dallo sgretolamento della muratura seguito o accompagnato dallo sfilamento di una delle capriate e quindi dal crollo parziale della copertura seguito dalla rottura per taglio dei cordoli che, a loro volta, hanno indotto il cedimento della facciata (*Fig.* 13 e *Fig.* 14).

Come è intuibile, i danni strutturali hanno avuto delle pesantissime ripercussioni sul patrimonio storico artistico conservato all'interno della chiesa, che, se aveva subito dei gravi danneggiamenti a causa di terremoti negli anni 1639 nel 1703, era in qualche modo uscita quasi indenne dalla scossa del 17 gennaio 2010 con epicentro ad essa vicinissimo. era collocata), diversi arredi, la suppellettile liturgica, un tabernacolo e un paliotto su tela erano stati trasferiti nel deposito d'emergenza allestito a Cittaducale. Sorte peggiore è toccata alle decorazioni architettoniche, tra le quali il portale con architrave decorata, i dipinti murali, il rosone e il campanile a vela coinvolti nel crollo della facciata. Alcuni frammenti di affresco erano stati raccolti dopo le scosse di agosto, catalogati e ricoverati nel deposito, ma l'inevitabile permanere in loco del resto delle decorazioni le ha sottoposte ai danni causati dalle sollecitazioni del mese di ottobre: alla data del 16 febbraio 2017 i dipinti murali risultavano gravemente lacunosi, storico di Amatrice. Edificio con campanile a vela e caratteristica pianta a due navate con pilastro centrale, presenta dipinti murali di diverse epoche: alcuni affreschi ricondotti alla cerchia di Dionisio Cappelli, probabilmente appartenenti ad una decorazione in origine più estesa, e una Flagellazione di Cristo risalente al 1598, oltre ad un dipinto su tela di scuola napoletana del Settecento raffigurante un santo vescovo da identificare probabilmente con San Cipriano (AQUILINI L., 2002) (*Fig.* 15).

A causa del grave quadro di danneggiamento riscontrato, anche questa chiesa è stata dichiarata inagibile (*Fig.* 16).



Figura 15 – Chiesa della Madonna della Torre: pre-sisma (a) vista esterna (b) vista interna (AMATRICEVIVE, 2016)



Figura 16 – Chiesa della Madonna della Torre: post-sisma (a) vista esterna (b) vista interna

Fortunatamente dopo l'agosto 2016 e prima delle scosse di ottobre, che hanno reso quasi inaccessibile l'edificio, le squadre di rilevamento dei danni del MiBACT, con la collaborazione dei Vigili del Fuoco e dei Carabinieri del Nucleo di Tutela del Patrimonio Culturale, avevano provveduto alla rimozione e messa in sicurezza dei beni mobili. La seicentesca pala d'altare raffigurante il santo eponimo con i santi Francesco e Lorenzo (purtroppo gravemente danneggiata perché travolta dal crollo dell'altare maggiore sul quale in alcuni casi, soprattutto in corrispondenza della parete di fondo, ne sopravvivevano soltanto delle piccole porzioni, al punto da suggerire la possibilità del loro stacco, possibilità da prendere in considerazione solo se si tiene presente l'estrema gravità della situazione e il rischio di crollo totale dell'edificio.

3.2 Chiesa della Madonna della Torre

La chiesa della Madonna della Torre sorge nella frazione di Villa San Cipriano, un piccolo borgo a circa un chilometro dal centro

Non sono visibili fenomeni di sgretolamento della muratura che, in questo caso, è costituita da pietra sommariamente lavorata, anche se dal taglio non perfettamente squadrato, di forma e orditura pseudo-regolare (*Fig.* 17). Tale circostanza ha permesso di coinvolgere ampie porzioni strutturali arrivando ad attivare alcuni maccanismi resistenti, con livelli di danno anche gravi, ma senza crolli.

In facciata è evidente l'attivazione di meccanismi di piano, come dimostrano le le-







Figura 17 – Chiesa Madonna della Torre: dettaglio muratura (a) cantonale lato parete (b) controfacciata (c) abside

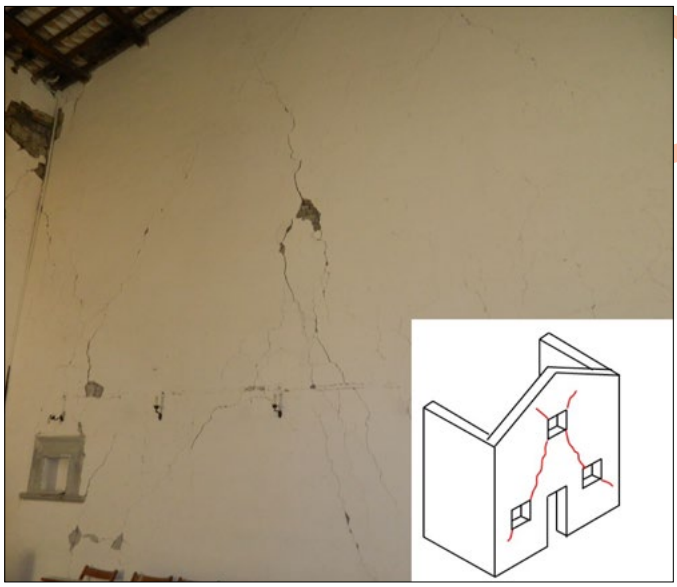


Figura 18 – Chiesa Madonna della Torre: meccanismi nel piano della facciata



Figura 19 – Chiesa Madonna della Torre: lesioni alla base della vela

sioni ad andamento obliquo indicative di una rottura per taglio della muratura (*Fig.* 18).

Tale meccanismo potrebbe essere stato favorito anche dalla presenza della vela (particolarmente alta) poiché le lesioni s'innescano, al di sotto di essa, a partire da una discontinuità nell'orditura muraria (*Fig.* 19).

Sempre in facciata si riscontra l'attivazione di un principio di **ribaltamento** come evidenziato in particolare dallo scollegamento tra essa e le pareti laterali dell'aula. Questo meccanismo sembra essere stato efficacemente contrastato dalla presenza di un edificio addossato alla facciata accanto al protiro e da un contrafforte posto in prossimità della vela (*Fig.* 20).

Lo stesso protiro ha invece esercitato delle azioni di martellamento mediante le travi di copertura (*Fig.* 21).

Lesioni inclinate nelle pareti laterali, sia singole che incrociate, in particolare in corrispondenza delle aperture, dimostrano l'attivazione di **meccanismi di taglio** imputabili ad una muratura di limitato spessore e ad una tessitura comunque di non buona qualità (*Fig.* 22).

Particolarmente grave è il danneggiamento del **manto di copertura** dell'aula a causa dell'assenza di buone connessioni tra il rivestimento all'intradosso e gli elementi di orditura secondaria con conseguente rischio di caduta di parti e scoperchiamenti (*Fig.* 23).

L'edificio, sebbene profondamente danneggiato, si ritiene abbia manifestato un buon comportamento innescando i meccanismi resistenti attesi senza il crollo di parti strutturali.







Figura 20 – Chiesa Madonna della Torre: (a) meccanismo di ribaltamento della facciata contrastato da (b) un edificio addossato e (c) un contrafforte

Ciò è dovuto a una muratura pseudo-regolare, alle dimensioni ridotte, alla forma compatta e alla presenza di una copertura non pesante. Positiva si è dimostrata l'interazione con uno dei corpi addossati e la presenza di un contrafforte poiché entrambi hanno contribuito ad opporsi al ribaltamento della facciata. Per contro i danni in corrispondenza della vela e del protiro mettono in luce la forte vulnerabilità derivante da aggetti o elementi posti in adiacenza realizzati senza adeguato ammorzamento al resto della struttura o secondo configurazioni che inducano il martellamento. Infine il grave danneggiamento del manto di copertura evidenzia come parti non strutturali, se non adeguatamente collegate a quelle strutturali, possano indurre conseguenze gravi anche in assenza di collasso.

L'instabilità strutturale ha avuto le sue ripercussioni sulle decorazioni interne. Preoccupanti fessurazioni, distacchi di intonaco e cadute hanno interessato soprattutto il dipinto murale tardocinquecentesco raffigurante la Flagellazione di Cristo, che era stato restaurato nel 1998, e non hanno risparmiato gli affreschi più antichi attribuiti alla scuola di Dionisio Cappelli (restauro 1995). Al momento del sopralluogo, nel febbraio 2017, le campane erano ancora nella loro posizione sulla vela, mentre gli altri beni mobili erano stati trasferiti nel deposito individuato a Cittaducale: il dipinto su tela settecentesco raffigurante San Cipriano, un crocifisso ligneo policromo, suppellettile ecclesiastica, arredi e paramenti.

4 IL PROBLEMA DELLA PREVENZIONE NEL PATRIMONIO STORICO: ALCUNI SPUNTI DI INTERVENTO

Per le azioni mirate alla riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale è necessario fare riferimento alla Direttiva PMC del 9 febbraio 2011 (DPCM, 2011) la quale afferma che per i beni tutelati "è possibile derogare rispetto all'adeguamento" che per essi "è necessario attenersi ad interventi di miglioramento, a riparazioni o ad interventi locali" e che il loro progetto *"dovrà garantire la conservazione dell'architettura in tutte le sue declinazioni, in particolare valutando l'eventuale interferenza con gli apparati decorativi*" rispettando i criteri e le tecniche riportati all'interno della stessa. In conseguenza di tali limitazioni è quindi precisato che "*al di sopra di un certo livello di rischio (vita nominale troppo breve) debba essere presa seriamente in considerazione la possibilità di delocalizzare le funzioni rilevanti e/o strategiche*" eventualmente svolte in tali manufatti.

Da letteratura (LENZA P. e GHERSI A., 2013; PAPA S. e DI PASQUALE G., 2011; VINCI M., 2016), e come i crolli registrati ad Amatrice confermano, la sopravvivenza di edifici speciali come le chiese è demandata ad un paradigma di fattori che metta a sistema la buona qualità di apparati murari, orizzontamenti e coperture con l'efficacia dei collegamenti e del contrasto alle azioni spingenti, evitando l'introduzione di pericolosi incrementi di carico.

In un'ottica di prevenzione, gli interventi da ritenere prioritari sono quindi diretti a **consolidare gli elementi murari** al fine di



Figura 21: Chiesa Madonna della Torre: martellamento indotto dalla copertura del protiro



Figura 22 – Chiesa Madonna della Torre: meccanismi di taglio delle pareti laterali



Figura 23 – Chiesa Madonna della Torre: danni in copertura

impedire prematuri sgretolamenti, permettendo dunque l'attivazione dei meccanismi resistenti e non come riscontrato invece nel crollo della Chiesa di San Martino (*Fig.* 12).

In particolare, in presenza di pareti a doppio paramento, le quali tendono e spanciare per effetto dei carichi verticali, è opportuno prevedere l'inserimento di **diatoni artificiali** in calcestruzzo armato. Essi hanno la duplice funzione di contrastare l'innesco di fenomeni di instabilità per compressione (*Fig.* 24a) e di conferire un comportamento monolitico per le azioni fuori piano (*Fig.* 24b) con conseguente incremento del carico critico e del moltiplicatore di attivazione del meccanismo di ribaltamento.

Come precisato dalla Circolare 617/2009 (MIT, 2009), nel caso di murature degradate l'inserimento di diatoni richiede il contemporaneo consolidamento dei paramenti. In presenza di pietrame con elevata percentuale di vuoti interni, ciò può essere ottenuto mediante **iniezione di miscele leganti** previa **stilatura dei giunti** e **sigillatura delle fessure**. Tale tecnica, non alterando sensibilmente l'estetica, è ritenuta applicabile anche agli edifici tutelati a condizione di non *"cancellare tracce storiche significative come vecchie stilature e allisciature"*. Al fine di evitare l'insorgere di dilatazioni trasversali, è consigliabile tuttavia che l'iniezione avvenga per gravità e non per pressione.

Altre soluzioni di consolidamento, come l'**intonaco armato,** l'utilizzo di **tirantature diffuse,** il **placcaggio con tessuti o lamine in materiale fibrorinforzato**, sebbene previste dalla Direttiva, sono ritenute a carattere invasivo e quindi da prendere in considerazione solo in assenza di alternative.

I **solai** (per le chiese essenzialmente la copertura) che rappresentano un vincolo orizzontale per le pareti, hanno il compito di trasferire agli elementi resistenti verticali le azioni sismiche. Nel caso di beni storici, essi sono generalmente lignei e la Direttiva ne

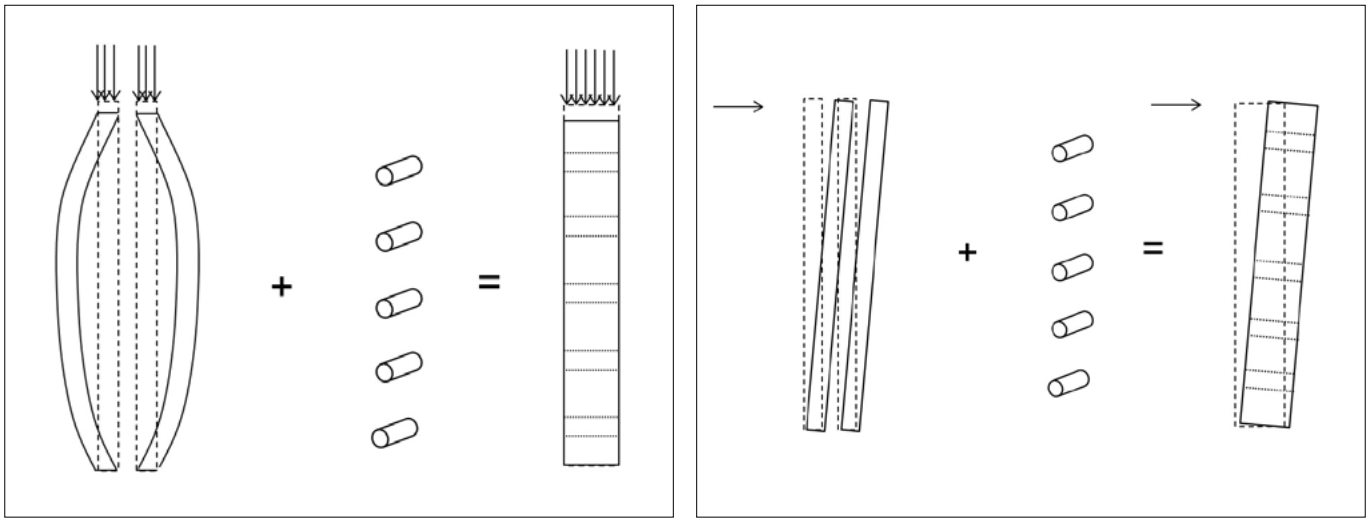


Figura 24 – Comportamento di un parete a doppio paramento con e senza diatoni per effetto di (a) sollecitazioni verticali e (b) sollecitazioni orizzontali

suggerisce la conservazione, non solo per il valore culturale ma anche per il ridotto peso proprio. È tuttavia consigliato eseguire degli interventi finalizzati a un loro limitato irrigidimento come la realizzazione di un **secondo tavolato** all'estradosso, ortogonale o inclinato rispetto a quello esistente, l'inserimento di **rinforzi con bandelle metalliche o materiali compositi**, la disposizione di un sistema di **controventi metallici**.

Migliorata la qualità della muratura ed eseguiti gli idonei interventi di irrigidimento per la presenza del vincolo aggiuntivo così introdotto, e in un incremento della azioni che si oppongono ai meccanismi di flessione orizzontale (*Fig.* 25c).

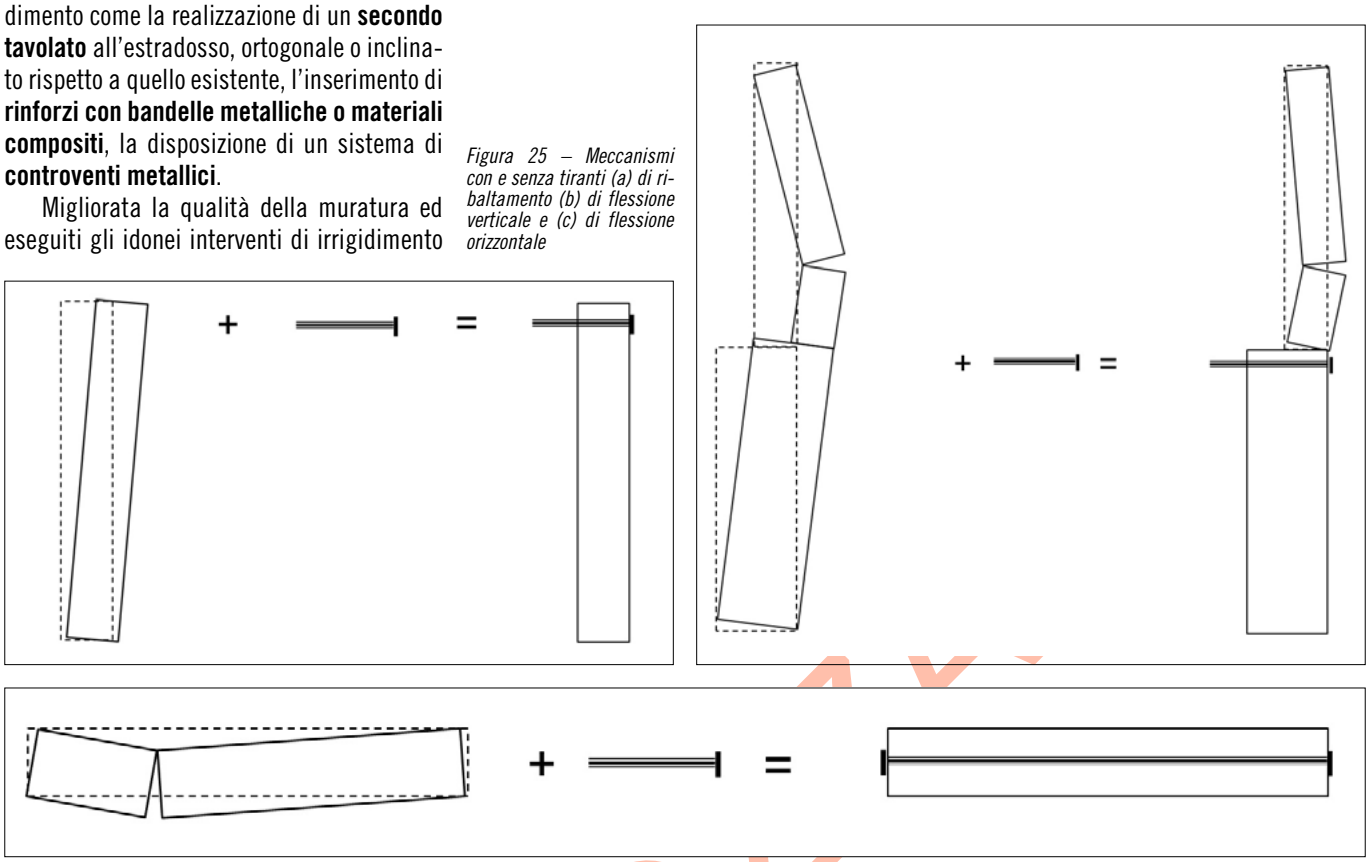


Figura 25 – Meccanismi con e senza tiranti (a) di ribaltamento (b) di flessione verticale e (c) di flessione orizzontale

dei solai, al fine di assicurare all'edificio un soddisfacente comportamento d'insieme sono comunque necessari degli interventi finalizzati a ridurre le **carenze dei collegamenti,** sia tra pareti ortogonali, sia tra queste e gli orizzontamenti. Una tecnica diffusa ed efficace, largamente impiegata anche per i beni culturali, è rappresentata dall'utilizzo dei **tiranti.** Disposti nelle due direzioni principali del fabbricato essi infatti, senza interferire significativamente con l'estetica, potenziano il grado di connessione tra le murature ortogonali, riducono le possibilità di ribaltamento e incrementano la resistenza delle pareti nel piano consentendo la formazione del meccanismo tirante-puntone. Per i capochiave la Circolare suggerisce l'utilizzo di paletti semplici "*in quanto vanno ad interessare una porzione di muratura maggiore rispetto alle piastre"* ritenendo queste ultime *"preferibili nel caso di murature particolarmente scadenti, realizzate con elementi di piccole dimensioni*" nel qual caso "è in genere necessario un consolidamento locale della muratura nella zona di ancoraggio". L'utilizzo dei tiranti si traduce in un incremento della resistenza a taglio del maschio nel piano, indotto dalla tensione orizzontale generata dalla pretensione del tirante stesso, in un contributo stabilizzante nei meccanismi di ribaltamento (*Fig.* 25a) e di flessione verticale (*Fig.* 25b),

Nel caso di edifici di dimensioni ridotte, dove i tratti rettilinei sono cioè poco estesi, la Direttiva consente il ricorso a **cerchiature esterne** da realizzarsi lungo tutto il perimetro con "*elementi metallici o materiali compositi*". Questa soluzione potrebbe trovare largo impiego nel consolidamento di elementi notoriamente vulnerabili come campanili e celle campanarie.

Funzioni analoghe ai tiranti possono essere svolte dai **cordoli** che, in aggiunta, migliorano la connessione delle pareti con orizzontamenti e copertura.

Tra i possibili, la Direttiva predilige la realizzazione di cordoli in muratura armata in quanto volti "*alla massima conservazione delle caratteristiche costruttive esistenti"*. I cordoli in acciaio, che sono considerati una "*valida alternativa per la loro leggerezza e la limitata invasività",* ben si prestano "*al collegamento degli elementi lignei della copertura*" e in tal modo "*contribuiscono all'eliminazione di eventuali spinte*". I cordoli in calcestruzzo armato, sebbene previsti dalla Direttiva fatta eccezione per i livelli intermedi, devono avere "*altezza limitata per evitare eccessivi appesantimenti ed irrigidimenti*" ritenuti responsabili di documentati fenomeni di disgregazione muraria con precoce collasso strutturale. Come evidenzia il crollo della Chiesa di San Martino, il fenomeno è acuito dal mancato consolidamento della muratura a contatto e dunque dalla notevole differenza di rigidezza rispetto al cordolo che induce la nascita di elevate sollecitazioni tangenziali e conseguenti scorrimenti. Sempre analizzando il caso della Chiesa di San Martino, si evidenzia come un non efficace collegamento ai nodi della capriata di copertura abbia comportato scorrimenti distacchi e quindi lo sfilamento delle travi che un efficace elemento di ancoraggio avrebbe potuto contribuire a contrastare. Qualunque sia la tipologia di cordolo adottato, è dunque indispensabile eseguire un'attenta valutazione della porzione di muratura "coinvolta" nel collegamento. Troppo spesso si riscontrano cordoli perfettamente integri ma scarsamente collegati alle pareti, con tirafondi troppo corti o poco diffusi e senza un opportuno "ingranaggio", o che, addirittura, fanno affidamento al solo attrito per il trasferimento delle sollecitazioni. Un idoneo risanamento e confinamento della muratura all'interfaccia è invece indispensabile al fine di garantire caratteristiche di rigidezza e resistenza più possibile analoghe tra le parti connesse.

Il comportamento della Chiesa di Santa Maria della Torre ha infine mostrato quanto la vulnerabilità di un edificio possa essere influenzata da **elementi non strutturali.** Anche nel caso in cui sia evidente la corretta attivazione dei meccanismi sismo-resistenti, il semplice sfilamento di parti di finitura può arrecare ingenti danni ai beni mobili contenuti e indurre la perdita di numerose vite umane se presenti. Appendici, aggetti o elementi accessori devono dunque essere adeguatamente

collegati alle parti strutturali e le interazioni dinamiche approfonditamente analizzate.

Oltre agli interventi tradizionali, da utilizzare con scrupolo e senso critico evitando gli errori palesati dai fallimenti documentati sulla medesima fabbrica edilizia, andranno prese in considerazione anche **soluzioni innovative**. Esse permettono, a volte, di coniugare l'esigenza di conservazione dell'identità storica dell'opera con il raggiungimento di un elevato valore di miglioramento sismico o, addirittura, l'adeguamento. In particolare, l'applicazione dell'isolamento sismico alla base, che non agisce irrobustendo la struttura ma riducendo la sollecitazione indotta dal terremoto, consente di limitare gli interventi sulla sovrastruttura agendo, principalmente, al di sotto di essa ed è quindi particolarmente *compatibile* con gli edifici storici quali le chiese.

L'ENEA, insieme al Politecnico di Torino, ha sviluppato un brevetto dal titolo "*Struttura di Isolamento Sismico per Edifici Esistenti*" (CLEMENTE P. e altri, 2010) che consiste nell'inserimento in sottofondazione, quindi al di sotto della struttura esistente, del sistema di isolamento sismico riducendo molto, e per alcuni casi addirittura evitandoli, gli interventi tradizionali.

Il sistema prevede l'inserimento a spinta di tubi orizzontali e la collocazione di dispositivi d'isolamento sismico in corrispondenza del piano orizzontale diametrale degli stessi, al fine di generare una discontinuità tra fondazione e sottosuolo. L'edificio è quindi separato dal terreno circostante mediante trincee verticali di ampiezza sufficiente per consentire gli spostamenti relativi richiesti dal sistema di isolamento sismico. In questo modo la struttura è isolata sismicamente senza essere direttamente interessata da interventi che potrebbero alterarne le caratteristiche architettoniche originali, rispettando quindi uno dei requisiti fondamentali per gli interventi sugli edifici storici. Anche eventuali locali sotterranei non vengono modificati ma, anzi, diventano parte della sovrastruttura isolata.

In *Fig.* 26 è riportata la rappresentazione schematica di questa tipologia di isolamento sismico.

L'impegno economico, non necessariamente superiore a quello richiesto dagli interventi tradizionali, garantisce perfettamente sia la salvaguardia della vita umana sia la conservazione del bene, azzerando future spese altrimenti inevitabili in caso di sisma di elevata intensità.

5 CONCLUSIONI

Le analisi svolte nei paragrafi precedenti hanno evidenziato come gli edifici appartenenti al patrimonio storico, e le chiese in special modo, rappresentino una categoria particolarmente difficile da proteggere nei confronti delle azioni sismiche. Caratterizzati da un'elevata vulnerabilità insita nella loro stessa natura e tipologia costruttiva, sono spesso situati in aree a elevata pericolosità sismica e soggetti a vincoli di tutela che limitano le possibilità di interventi strutturali.

Quanto riscontrato ad Amatrice induce anzitutto a riflettere sulle indicazioni fornite dalla Direttiva. La logica della *delocalizzazione*, per molte delle chiese esaminate, avrebbe portato, infatti, a un utilizzo "non intensivo" e regolato, simile a quello di un sito archeologico. Ciò avrebbe limitato il numero di persone esposte al rischio ma non avrebbe risolto il problema della perdita del bene e del suo contenuto conseguente al collasso o al danneggiamento grave. Per contro, una *deroga* più ampia sull'intensità degli interventi possibili, che permetta il raggiungimento di più elevati livelli di miglioramento, o addirittura l'adeguamento sismico, potrebbe consentire alle comunità l'uso *normale* dei beni aumentando inoltre la probabilità di conservazione e sopravvivenza di questi ultimi.

Altro aspetto da ritenersi fondamentale in un'ottica di prevenzione è la *preparazione* agli eventi futuri. La collaborazione tra il Ministero dei Beni Culturali e i Centri di Competenza, attuatasi durante il recente sisma, dovrebbe essere alimentata e istituzionalizzata al fine di avviare un imponente lavoro di catalogazione delle strutture di interesse storico. Partendo dalla precompilazione di parte della *scheda per il rilievo del danno* "in tempo di pace", ossia prima dell'evento sismico, si potrebbe creare una banca dati di pronta e rapida consultazione su cui basarsi per velocizzare poi le operazioni di verifica. Tale banca dati porterebbe naturalmente ad evidenziare situazioni compromesse di strutture pesantemente vulnerabili e, di conseguenza, semplificherebbe la pianificazione di un programma di interventi che dia la precedenza a quelli ritenuti più urgenti.

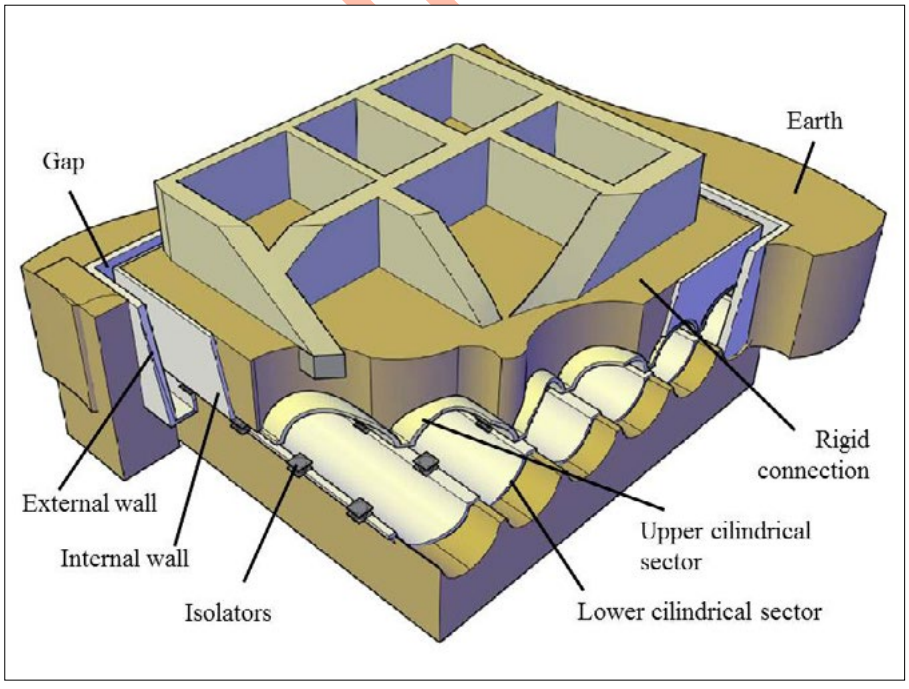


Figura 26 – Struttura di Isolamento Sismico per Edifici Esistenti (Brevetto ENEA-Politecnico di Torino)

BIBLIOGRAFIA

AMATRICEVIVE (2016), http://www.amatricevive.it/

AQUILINI L. (2002), *Amatrice. Tesori d'arte*, Aniballi Grafiche, Ancona.

CLEMENTE P., DE STEFANO A., BARLA G. (2010), *Struttura di Isolamento Sismico per Edifici Esistenti,* Numero Brevetto Italia 1399253, Titolari ENEA – Politecnico di Torino.

DELPRIORI A. (2017), *The earthquake in Amatrice, Norica and the Marche. A cultural emergency. The Burlington magazine*, Volume 159, n. 1368, p. 183.

DPCM (2011), *Valutazione e riduzione del rischio sismico del patrimonio culturale con riferimento alle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008.*

ENGLEN A. (2010), *Conseguenze del sisma 2009 nel territorio di Accumoli e Amatrice. Nel Lazio*, n. 1, 2010, pp. 39-50.

IMPONENTE A., TORLONTANO R. (2015), *Amatrice. Forme e immagini del territorio*, Mondadori Electa, Milano.

INGV (2017). http://info.terremoti.ingv.it/.

LENZA P., GHERSI A. (2013), *Edifici in muratura alla luce della nuova normativa sismica,* Dario Flaccovio Editore, Palermo.

MASSIMI A. (1958), *Amatrice e le sue ville. Notizie storiche*, Rotostampa F.lli Aniballi, Amatrice

MIT (2009), *Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*

PAPA S., DI PASQUALE G., (2011), *Manuale per la compilazione della scheda per il rilievo del danno ai beni culturali, Chiese* Dipartimento della Protezione Civile.

VIGILI DEL FUOCO (2016), http://www.vigilfuoco.tv/news/2016/09/28/

VINCI M. (2016) *Metodi di calcolo e tecniche di consolidamento per edifici in muratura,* Dario Flaccovio Editore, Palermo.

VISCOGLIOSI A. (2016), *Amatrice. Storia, arte e cultura,* Silvana Editoriale, Cinisello Balsamo.

BOZZA

La ricostruzione dei beni culturali danneggiati dal sisma: il miglioramento "sostanziale"

Antonio Borri
Dipartimento di Ingegneria - Università degli Studi di Perugia

The reconstruction of historical buildings damaged by the earthquake: the "substantial" improvement

Parole chiave (*key words*): Sisma Centro Italia 2016 (*2016 Central Italy earthquakes*), crolli chiese (*church collapses*), rischio sismico (*seismic risk*), beni culturali (*cultural assets*), ricostruzione (*reconstruction*)

INTRODUZIONE

Non è certo la prima volta che le chiese crollano a causa dei sismi. Afflitte da particolari e specifiche debolezze strutturali, molte di queste costruzioni, nei sismi passati, sono rovinate a terra provocando lutti e danni gravissimi.

Con i loro crolli (centinaia, anche considerando solo gli eventi dal 2009 in avanti) sono andati distrutti anche moltissimi affreschi e sono state gravemente danneggiate statue, dipinti e molti altri beni artistici.

Negli ultimi eventi, per fortuna, gli orari dei terremoti non hanno coinciso con quelli delle funzioni religiose e quindi, almeno in questo senso, è andata bene. Ma solo questa fortuita circostanza ha evitato la morte di quanti potevano trovarsi al loro interno.

Insieme alle chiese sono crollati anche (e soprattutto) gli edifici ordinari, specie quelli più "poveri", causando molte vittime.

A Norcia, ad esempio, nei tre eventi più importanti (1703, 1730 e 1859) (figura 1) il numero di vittime fu molto elevato (anche in proporzione al numero di abitanti di quei tempi) e pare logico pensare, visti anche gli orari degli eventi, che il maggior numero di morti si sia avuto proprio per il crollo degli edifici del tessuto urbano.

Per le chiese, evidentemente, nulla è cambiato in tutti questi secoli: crollavano nel '700, crollavano nel '800 e sono crollate anche in questo sisma del 2016.

Un importante cambiamento però c'è stato: mentre prima crollavano, insieme alle chiese, gli edifici, stavolta, all'interno del centro storico di Norcia le chiese sono state (sostanzialmente) *le uniche costruzioni a crollare* sotto le scosse sismiche, mentre il resto della città è rimasto pressoché integro.

Per gli edifici ordinari è quindi cambiato molto, rispetto al passato: sia gli edifici rinforzati, sia gli edifici di recente costruzione hanno resistito molto bene; qualcuno si è lesionato, ma niente crolli. Risultato: nessuna vittima. I pochi crolli di edifici ordinari nel centro di Norcia hanno riguardato unicamente quei (rari) casi in cui non era stato mai fatto alcun intervento di rinforzo.

Così, passeggiando oggi per il centro di questa città e guardando (solo) gli edifici ordinari viene quasi da dubitare che lì ci sia stato davvero un terremoto!

Evidentemente, queste costruzioni hanno fornito un'ottima risposta ai sismi del 2016 e di questo si devono ringraziare gli oculati ed efficaci interventi di consolidamento fatti negli anni più recenti; il cambiamento di rotta è avvenuto infatti con i lavori effettuati dopo i sismi del 1979 e del 1997, che hanno aumentato in modo rilevante la resistenza della maggior parte degli edifici di Norcia.

Questa città, peraltro, è stata spesso all'avanguardia nella prevenzione antisismica: per la cronaca si può citare qui, come esempio virtuoso ed encomiabile, l'illuminato regolamento edilizio emanato nel 1860 (ovvero subito dopo il sisma del 1859), anche se, in pratica, molte ricostruzioni di quel periodo vennero fatte senza rispettarlo.

Comunque sia, gli interventi dal 1979 in avanti hanno trasformato in modo radicale quasi tutti gli edifici del centro di Norcia ed il sisma del 2016 ha trovato quindi delle costruzioni che ben poco (dal punto di vista strutturale) avevano a che vedere con quelle ottocentesche.

Molti interventi erano stati fatti, dopo il 1979, anche nelle costruzioni "*tutelate*", in particolare nelle chiese, ma nonostante ciò gli effetti dei sismi del 2016 sono stati gli stessi dei secoli passati.

Alcuni di questi interventi erano anche di importi rilevanti; dopo il 1997 erano stati spesi infatti quasi 8 Mln di Euro per lavori di "*restauro conservativo*" in cinque costruzioni "*tutelate*" del centro storico di Norcia (la Cattedrale di San Benedetto, la Concattedrale di Santa Maria Argentea, la chiesa del Crocefisso, l'ex chiesa di San Francesco e il monastero di Santa Maria della Pace).

Interventi "*conservativi*" erano stati fatti comunque, dopo il 1979, in quasi tutti gli altri edifici religiosi a Norcia.

Ciononostante, tutte quelle chiese sono crollate o hanno avuto danni gravissimi, e colpisce molto vedere le loro macerie racchiuse tra centinaia di edifici integri, con gli intonaci pressoché intatti, spesso senza alcun danno significativo, o al più lesionati, ma senza crolli.

Come mai questi edifici "*tutelati*", sui quali erano stati fatti interventi certo non trascurabili, hanno avuto un comportamento così negativo?

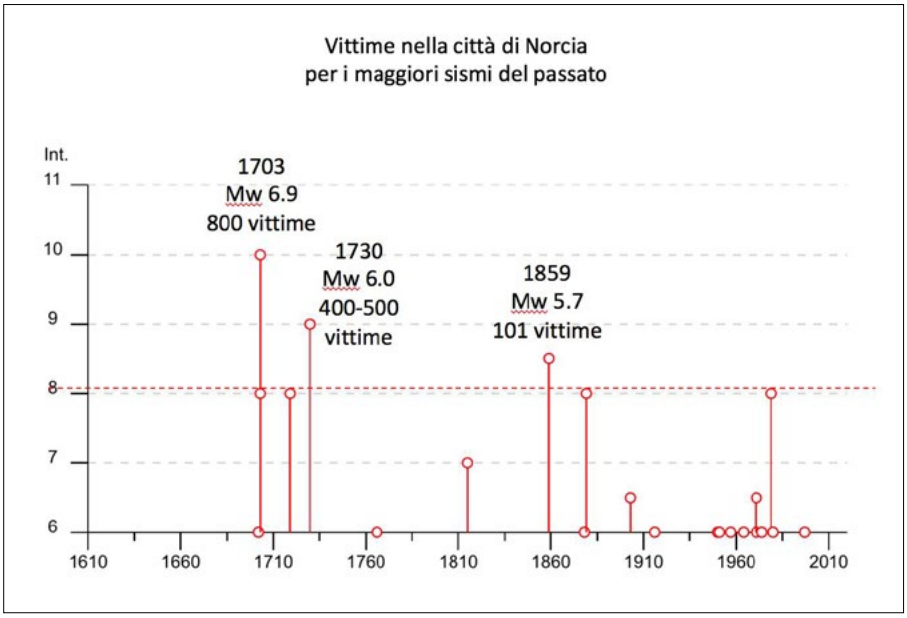


Figura 1 – Storia sismica di Norcia: conseguenze degli eventi di maggiore intensità

IN BOZZA

CROLLI DELLE CHIESE IN VALNERINA

Alcuni "*male informati*" (li chiamerò così, supponendo che siano in buona fede) hanno dato la colpa di questi crolli ad "*incongrui e disorganici interventi di consolidamento strutturale".* Altri hanno esplicitamente addossato la responsabilità a "*grossi cordoli*" in cemento armato e a "*coperture pesanti e rigide*".

Insomma, come ci si aspettava, viene ancora una volta rispettata la tradizione di addossare tutte le colpe all'ingegnere strutturista, classico capro espiatorio in questi frangenti, confermando fra l'altro che "*l'unico momento in cui viene riconosciuta la competenza esclusiva degli ingegneri è all'indomani di eventi che hanno portato lutti e danni*".

La verità, in generale, appare molto diversa. Almeno per quanto ho potuto constatare, molte delle chiese di Norcia, e della Valnerina in genere, non sono crollate per l'*incongruenza* degli interventi di consolidamento, ma per la *mancanza* degli opportuni interventi di consolidamento e di presidio antisismico.

A cominciare dalla cronica (e scellerata) mancanza di incatenamenti, generalmente non graditi alle Soprintendenze perché "*interrompono la fruizione visiva dello spazio",* per proseguire con l'assenza di collegamenti efficaci tra coperture e facciate, e tra facciate e pareti laterali, non accettati in quanto non si possono perforare murature antiche, per giungere infine ai mancati interventi di consolidamento delle murature portanti, in genere contestati perché modificativi delle caratteristiche originarie della fabbrica muraria.

Alla base di questi interventi negati c'è "*talvolta*" (certo non sempre) una scelta ideologica, che nella sostanza corrisponde a quella di accettare i crolli come un dato di fatto, increscioso quanto si vuole, ma che (almeno secondo questa visione) tutti, compreso chi entra in quegli edifici strutturalmente precari, devono accettare e mettere in conto nel nome della "conservazione".

Concezioni teorico-conservative del restauro declinate in un modo così rigido, nel nome della fruizione estetica, nella sostanza rifiutano qualsiasi possibilità di sedimentazione storica degli interventi di consolidamento strutturale. Interventi che peraltro, nel passato, sono sempre stati fatti quando se ne vedeva la necessità.

Se si pensa che, in fin dei conti, situazioni di questo tipo si riducano a pochi casi, non si coglie la realtà; basti considerare le costruzioni "*tutelate*" che in questi ultimi anni erano state oggetto di "*restauro conservativo*" (e che quindi, in teoria, erano state sismicamente "migliorate"), poi crollate a L'Aquila nel 2009, in Emilia nel 2012 e nel Centro Italia nel 2016.

Le chiese di Norcia e dintorni (figure 2a e 2b) costituiscono un ulteriore chiaro esempio di quanto detto. Salvo pochi casi dove, effettivamente, erano presenti cordoli in c.a. di dimensioni consistenti (è da vedere comunque se hanno influito negativamente), tutti gli altri crolli appaiono collegati a macroscopiche sottovalutazioni delle problematiche strutturali e quindi alla assenza di quegli interventi di tipo antisismico che, per quelle zone, erano assolutamente necessari. In particolare, la rovina di alcune piccole (bellissime) chiese era, oltre che facilmente prevedibile, evitabile (o quanto meno limitabile) con provvedimenti molto semplici (Borri e Sisti, 2017a) (Borri, Sisti, Castori e Corradi, 2017b).

Questa mancanza di sensibilità per gli aspetti strutturali, e sismici in particolare, purtroppo è frequente nelle Soprintendenze, dove peraltro le competenze ingegneristiche rappresentano forse meno del 5%, e tali resteranno, visto che con le prossime 500 assunzioni di funzionari nel MiBACT è stato previsto l'ingresso in ruolo di 0 (zero) ingegneri!

IL RITORNO DI UN CLASSICO "TORMENTONE": MIGLIORAMENTO O ADEGUAMENTO?

Adesso, alla vigilia degli interventi di ricostruzione dei beni culturali danneggiati, dobbiamo domandarci: come si interverrà su quanto è rimasto di tutte quelle chiese? e sulle altre costruzioni tutelate?

Il problema, certo non semplice (Borri, 2015), è quello di conciliare le comprensibili esigenze della conservazione con le altrettanto comprensibili (tanto più adesso, dopo quello che è accaduto) ragioni della sicurezza.

Per poterne parlare in modo costruttivo non sarebbe male se liberassimo il campo da alcuni "tormentoni" usati talvolta in modo strumentale, per raggiungere determinati fini.

Ad esempio, dopo ogni sisma che ha distrutto un manufatto storico si sente ripetere lo slogan "*dove era e come era!*", pur sapendo che, in genere, non è assolutamente il caso di ricostruirlo "come era", essendo quell'edificio crollato proprio a causa dei sui gravi difetti.

Maggior sfinimento (almeno per quanto mi riguarda) deriva poi dal sentir proclamare, spesso da parte dei non addetti ai lavori, le incomparabili virtù degli interventi di "miglioramento", in esplicita contrapposizione alle bieche nefandezze degli interventi di "adeguamento".

Cerchiamo di fare un po' di chiarezza.

Come noto (lo ricordo proprio per i non addetti ai lavori) gli interventi strutturali sulle costruzioni esistenti, secondo le norme tecniche attuali, sono di tre tipi: "locale", di "miglioramento" e di "adeguamento". Con gli interventi di "adeguamento" si richiede che la costruzione, dopo l'intervento, raggiunga un prefissato livello di sicurezza sismica, che dipende essenzialmente dell'intensità massima del sisma atteso nel sito in cui si trova.

Per gli interventi di "miglioramento" si chiede, invece, solo di incrementare la sicurezza strutturale iniziale, senza necessariamente raggiungere un livello prestabilito.

Il tormentone che, come detto, ritorna ciclicamente quando si parla di interventi sugli edifici tutelati, sta nell'affermare che per le costruzioni storiche non si deve perseguire l' "adeguamento", che stravolgerebbe la concezione originaria dell'opera con interventi invasivi etc etc, ma ci vuole invece il "miglioramento", che oltre ad essere il più opportuno per la conservazione del bene, produce interventi sufficienti ai fini della sicurezza, etc etc.

Le recenti "Linee di indirizzo" del MiBACT (MiBACT, 2017), relative proprio alla ricostruzione dei beni culturali dopo il sisma del 2016, non si sottraggono a questa consuetudine e dichiarano che il miglioramento è "*il modo più appropriato di operare … ed è in grado di garantire prestazioni strutturali che … possono essere non sostanzialmente diverse da quelle formalmente attese con interventi inquadrabili nell'ambito dell'adeguamento.*"

Per cercare, come detto, di chiarire i termini della questione, bisogna ricordare alcune cose. Anzitutto, è pacifico che il livello di sicurezza per gli edifici esistenti possa essere inferiore a quello delle nuove costruzioni e ciò vale, ovviamente, anche (e ancor di più) per le costruzioni storiche.

Occorre poi rammentare che il "miglioramento sismico" venne introdotto, molto opportunamente, in un momento storico (era il 1986) in cui molti degli interventi sulle costruzioni storiche venivano fatti da tecnici e imprese che non conoscevano altro che il cemento armato, con gli effetti devastanti (per la conservazione, ma anche e soprattutto per la sicurezza) che conosciamo tutti. Oggi, almeno nella maggior parte dei casi, le conoscenze e la sensibilità sono piuttosto diverse ed esistono comunque dei buoni strumenti, come le "*Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico*" (Circolare MiBACT n. 16/2010 - DPCM 9/2/2011 (DPCM, 2011)) che possono aiutare a contenere eventuali forzature.

Ma non è questo il punto principale del problema. Chi innalza, in queste occasioni, il vessillo ideologico del "*miglioramento sì, adeguamento no!"* sembra dimenticarsi, più o meno in buona fede (il più vale solo per i non addetti ai lavori) che mentre l'adeguamento ha una definizione ben precisa, il miglioramento non ce l'ha affatto, non essendo prescritto il raggiungimento di un qualsivoglia obiettivo prestazionale.

UPOZA


CHIESA DI SAN BENEDETTO - NORCIA
CHIESA DEL CROCEFISSO - NORCIA
EX CHIESA DI SAN FRANCESCO - NORCIA
CHIESA DI SANTA MARIA ARGENTEA - NORCIA
CHIESA DI S. FILIPPO - NORCIA
CHIESA DELLA MISERICORDIA - NORCIA
CHIESA DI S. GIOVANNI - NORCIA
CHIESA DI S. MARIA DELLE GRAZIE - NORCIA



Figura 2a– Alcune delle chiese di Norcia crollate nei sismi del 2016 (pagina a fronte) e figura 2b – Alcune delle chiese di Norcia e di Campi di Norcia crollate nei sismi del 2016 (in alto)

Sappiamo infatti che, mentre per un intervento di adeguamento si deve raggiungere, come capacità della struttura, il valore della domanda sismica del sito in cui ci si trova, l'unico "paletto" che viene posto per un intervento di miglioramento è che la capacità dopo l'intervento sia superiore (ma non si dice di quanto) a quella di partenza. Quindi, qualunque cosa (al di sopra dello zero) va bene!

È chiaro perciò che quando, come nel testo del MiBACT prima citato, si dice che l'intervento di miglioramento "***è il modo più appropriato di operare***" sui beni culturali, si fa l'elogio totale ed incondizionato di un qualcosa che non si sa che cosa sia.

Evidentemente, il merito che si attribuisce al miglioramento, nel campo dei beni culturali, non deriva dall'*essere* qualcosa, ma dal ***NON*** *essere* quello che non si vuole (cioè l'adeguamento) e anche se non sappiamo di cosa stiamo parlando, è comunque meglio di quello che non vogliamo. Se non è ideologia questa ….

Con tale tipo di approccio, ovvero in assenza di un qualsiasi minimo da rispettare, negli ultimi anni sono stati fatti interventi che, dal punto di vista strutturale, hanno apportato dosi omeopatiche di miglioramento senza incidere sulle carenze più gravi e quindi senza risolvere alcunché.

In questi casi non si è capito, evidentemente, che conservazione e sicurezza sono una cosa sola: non c'è l'una senza l'altra. I risultati di questa "*incomprensione*" li abbiamo visti in moltissime chiese e molti palazzi, "*migliorati*" (si fa per dire …) e finiti poi, nei sismi recenti, come sappiamo.

Forse per questo le NTC 2008 avevano introdotto un meccanismo con il quale si sperava di ottenere una maggiore attenzione sul tema "sicurezza" per gli edifici tutelati: a valle dell'intervento di miglioramento il progettista deve dichiarare quale sia la massima accelerazione "sopportabile" dalla costruzione (ad esempio, quella che porta il manufatto allo stato limite di salvaguardia della vita). In questo modo, per confronto con l'accelerazione "attesa" per quel sito (quella che ha una prefissata probabilità di occorrenza), viene evidenziato il rischio che sta correndo chi utilizza quella costruzione e, di conseguenza, le responsabilità (nel caso di un edificio pubblico) di chi la mantiene aperta.

In realtà, questo "deterrente psicologico", che avrebbe dovuto allarmare tecnici e proprietari almeno per i casi di capacità strutturale molto inferiore alla domanda sismica attesa, è risultato di scarsa/nulla efficacia, perché quella informazione è rimasta confinata in una relazione di calcolo sepolta dentro qualche armadio.

In definitiva, chi entra in una chiesa, o in qualsiasi altro edificio ad uso pubblico, "tutelato", non saprà mai se e quanto sta rischiando dal punto di vista sismico.

IL MIGLIORAMENTO "SOSTANZIALE"

(OVVERO IL "BUON RESTAURO" ARCHITETTONICO IN ZONA SISMICA)

Come detto, è corretto affermare che non si può chiedere per le costruzioni vincolate lo stesso livello di sicurezza che si richiede per le nuove costruzioni, consapevoli peraltro che l'adeguamento non significa comunque la sicurezza assoluta, stante la mera convenzionalità del sisma di riferimento.

È anche vero, e condiviso da chi conosce il comportamento strutturale delle costruzioni storiche, che prima di qualsiasi analisi numerica è importante individuare ed eliminare/ridurre quelle criticità, spesso non quantificabili, che hanno un ruolo fondamentale nella risposta sismica di quei manufatti.

Altro punto pienamente condiviso (e peraltro ribadito nella citata Circolare MiBACT n. 16/2010 – DPCM 9/2/2011) è che spesso, date le incertezze sia nel modello di comportamento, sia nei parametri che lo definiscono, il modello di calcolo non può riprodurre completamente la realtà e quindi i risultati forniti devono essere integrati da opportune valutazioni qualitative.

Se ci si dimentica di questo, ad esempio se si crede ciecamente ad un modello numerico che inopinatamente ci fornisce, per un edificio che da secoli resiste bene a tutti i sismi, un coefficiente di rischio risibile, ci meritiamo che questo risultato sia chiamato da taluni, con evidente denigrazione, "*il numerino*".

Tutto ciò premesso, dobbiamo comunque considerare importanti le analisi numeriche che quantificano la sicurezza, soprattutto se derivano da analisi basate sui principi indiscutibili della meccanica strutturale (prime tra tutte, le analisi dei cinematismi di collasso).

In altre parole, se è sbagliato, come è sbagliato, elevare queste valutazioni numeriche a verità assolute, è altrettanto sbagliato sottovalutarle o ignorarle del tutto solo perché ci sono delle incertezze nei modelli.

Negli interventi di "miglioramento sismico" sui beni culturali questo aspetto quantitativo della sicurezza appare invece, purtroppo, del tutto trascurato e questa mancanza di riferimenti numerici può far perdere di vista anche le sostanziali differenze che esistono tra tipologia e tipologia e tra zona e zona.

Ad esempio, la logica ed il buon senso vorrebbero che il livello di sicurezza richiesto a valle di un intervento di miglioramento su un edificio storico a Norcia - zona sismica di categoria 1 - fosse *quantitativamente* diverso da quello richiesto per un analogo edificio che si trovi in luoghi di categoria sismica inferiore.

Altrettanto evidente dovrebbe essere il fatto che le necessità di miglioramento per una chiesa antica sono (in genere) ben superiori a quelle che riguardano un palazzo gentilizio ben progettato e ben mantenuto.

In altri termini, il livello di sicurezza, e quindi l'entità di miglioramento richiesto, non può essere lo stesso, indifferenziato, in tutte le zone d'Italia e per qualsiasi tipologia di bene culturale, ma dovrebbe essere calibrato in funzione delle problematiche specifiche del manufatto e della zona in cui si trova. Se la zona è altamente sismica, l'intervento di miglioramento deve apportare benefici "sostanziali", perché quel bene, che vogliamo far arrivare a chi ci seguirà nei secoli a venire, dovrà confrontarsi, inevitabilmente, con sismi futuri molto rilevanti.

Questo, peraltro, sembra essere stato il ragionamento alla base di quanto scritto nell'art. 14 della legge n. 189/2016 (legge sulla ricostruzione delle zone colpite dal sisma):

"Con provvedimenti ... è disciplinato il finanziamento *… per la ricostruzione, la riparazione e il ripristino degli edifici pubblici, … nonché' per gli interventi sui beni del patrimonio artistico e culturale, … compresi quelli sottoposti a tutela … che devono prevedere anche opere di miglioramento sismico finalizzate ad accrescere in maniera sostanziale la capacità di resistenza delle strutture".*

Così, accanto alle tre tipologie di intervento strutturale vigenti (locale, di miglioramento, di adeguamento) per la ricostruzione post simica ne è stata introdotta una nuova, quella del "*miglioramento sostanziale*".

Il messaggio è chiaro e forte: dato che nel passato sono stati fatti numerosi e costosi interventi su chiese e palazzi, dopo di che, queste sono crollate e quelli si sono danneggiati gravemente, lo Stato stavolta assegna il contributo se viene fatto un intervento che *sostanzialmente* migliori la sicurezza di queste costruzioni.

L'obiettivo è chiarissimo, ma il modo per raggiungerlo lo è meno, perché rimane il problema, sia per chi progetterà gli interventi, sia per chi dovrà valutare i progetti, di capire se e quando quell'obiettivo di "*accrescere in maniera sostanziale la capacità di resistenza delle strutture"* è stato raggiunto.

Nel paragrafo che segue viene suggerito un metodo per quantificare questa "sostanziosità" del miglioramento.

LA RICOSTRUZIONE CHE VERRÀ

Parafrasando il leopardiano dialogo tra un venditore di almanacchi e un passeggero, potremmo chiedere al MiBACT (Ente cui compete l'elaborazione dei progetti degli interventi) se pensa che la prossima ricostruzione dei beni culturali sarà migliore di quelle passate, augurandoci che sia così, ma ricordando che anche per le volte precedenti si sperava che le cose andassero meglio (e spesso, purtroppo, così non è stato …).

Questo punto appare centrale nel momento attuale: con quali criteri si progetteranno, si approveranno e si realizzeranno questi interventi? Si ripercorreranno le vie seguite sino ad ora, cioè quelle stesse che hanno portato ad esiti così disastrosi?

La speranza è che ci sia, viste anche le richieste (chiare ed esplicite) del legislatore, un cambiamento di metodo. Quale potrebbe essere?

In realtà, non occorre inventarsi nulla di nuovo; esiste già un percorso virtuoso, appartenente proprio alle leggi e ai documenti di riferimento del MiBACT. Sono le già citate "*Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico*" contenute nella Circolare MiBACT n. 16/2010 (DPCM, 2011) nate proprio per coniugare sicurezza e conservazione, che hanno indicato il cammino da seguire, illustrando anche le diverse tecniche a disposizione per operare in modo appropriato ed efficace.

Le norme per intervenire in maniera corretta ed adeguata quindi ci sono, e c'erano anche nel passato (la prima versione delle Linee Guida è del 2007) e per le Soprintendenze sarebbe stato obbligatorio seguirle. "*Sfortunatamente*", le indicazioni ivi contenute sono quasi sempre rimaste, almeno sin qui, lettera morta, spesso perché non rientravano nella logica delle conoscenze di molti dei funzionari che dovevano applicarle, altre volte semplicemente per non conoscenza.

Per la ricostruzione dei beni culturali basterebbe solo che si aggiungesse, al percorso indicato dalle Linee Guida, una qualche forma di quantificazione del livello di sicurezza da

LA BOZZA

raggiungere per ottenere quel miglioramento "sostanziale" che lo Stato si aspetta dall'investimento di così ingenti risorse.

Il percorso quindi è quello seguito per gli interventi sulle costruzioni storiche: dopo aver individuato le criticità locali specifiche ed averle ridotte/eliminate, si deve valutare, come richiedono le norme, la capacità della costruzione a rispondere alle azioni sismiche, esprimendola in termini di accelerazione massima sostenibile a_{SLV} (assumendo qui come stato limite di riferimento quello della salvaguardia della vita, SLV). Da qui, si può facilmente trovare il periodo di ritorno T_{SLV} del sisma che, per quel sito, corrisponde a tale valore di accelerazione, e quindi, utilizzando l'espressione (2.4) contenuta nella succitata Circolare MiBACT, si può ottenere la cosiddetta "vita nominale" V_N:

$$V_N = 0{,}105\ T_{SLV} / C_U$$

Essa rappresenta il periodo nel quale la struttura può essere considerata "sicura", nel senso che è in grado di sopportare l'azione sismica che ha quella prefissata probabilità di occorrenza nel periodo di riferimento ad essa collegato (C_U: coefficiente d'uso, dipendente dalla funzione svolta dalla costruzione; per una chiesa, ad esempio, $C_U = 1{,}5$).

Detto in altro modo (citando la medesima circolare) è "*il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata*".

Ovviamente non si tratta della durata della vita della costruzione, ma solo del periodo di tempo in cui ha valore la verifica di sicurezza. Se la V_N, ad esempio, è di 30 anni, significa che dopo quel periodo di tempo quella struttura non può essere più considerata "sicura" e saranno quindi necessari nuovi provvedimenti.

Uno dei pregi della V_N è quello di dipendere, oltre che dalle caratteristiche della costruzione in esame (sia strutturali, sia di uso, tramite il coefficiente C_U), anche dalla pericolosità del sito in cui si trova, quindi, ad esempio, a parità di ogni altro parametro, la situazione di una chiesa a Norcia è (giustamente) ben diversa da quella di una analoga chiesa che si trova in una zona sismicamente meno pericolosa.

Questo parametro ci può fornire un metodo per valutare se l'accrescimento delle capacità di resistenza ottenuto dall'intervento di miglioramento sia "sostanziale" o meno.

Quale valore di V_N potrebbe farci dire che quell'intervento di miglioramento ha fatto "*accrescere in maniera sostanziale la capacità di resistenza delle strutture*"?

Questo rimane il solo punto da definire. Ad esempio, secondo Sergio Lagomarsino (che nella scrittura della Circolare n. 16/2010 del MiBACT ha avuto grande rilievo): "*… accettare oggi una vita nominale troppo bassa, ad esempio inferiore a 20 anni, avrebbe poco senso, sia perché esporrebbe ad un rischio troppo elevato le persone che fruiscono della costruzione, sia in quanto sarebbe necessario rimettere mano alla costruzione in tempi troppo brevi, con una nuova verifica e, presumibilmente, nuovi interventi*" (Lagomarsino, 2014).

Al di là del numero in sé, è importante l'osservazione che una vita nominale molto bassa significa un'elevata probabilità annuale di superamento dello stato limite considerato (Borri e De Maria, 2015). Per dare un'idea di questo, ovvero di come aumenta il rischio al diminuire della V_N, si può vedere il grafico di figura 3 tracciato per il caso di un edifico ordinario (C_U=1).

La probabilità annua di superamento dello stato limite SLV in funzione della vita nominale della costruzione (data dal rapporto $0{,}1/V_N$) cresce molto quando V_N si riduce da 20 a 10 anni (a 10 anni cambia addirittura l'ordine di grandezza) e si impenna rapidamente quando V_N scende al di sotto dei 10 anni.

L'altro punto fondamentale riguarda i tempi: una vita nominale esigua significa che di lì a poco si dovrà riconsiderare la situazione di quella costruzione. Se questo non è positivo per interventi di miglioramento sismico "ordinari", diventa inaccettabile per gli interventi di ricostruzione post sismica fatti con largo impiego di risorse pubbliche.

In altre parole: sarebbe assurdo se, dopo investimenti di questa entità, tra cinque o dieci anni fossimo costretti a ritornarci sopra, con nuove verifiche e, molto probabilmente, nuovi interventi.

Il miglioramento "sostanziale" da conseguire nella ricostruzione dei beni culturali dovrebbe quindi essere quello capace di garantire una vita nominale congrua e, soprattutto, compatibile con il buon senso; potrà essere 20 anni, o 18 anni, o qualsiasi altro valore verrà ritenuto opportuno e coerente con l'obiettivo, insito nel disposto legislativo, di contenere i rischi di nuovi crolli al di sotto di un livello accettabile, sia per la conservazione che per la sicurezza.

Per capire cosa significherebbe questo approccio nel caso di Norcia: fissare una vita nominale di 20 anni corrisponderebbe a circa il 72% dell'adeguamento (figura 4a), mentre con una vita nominale di 15 anni si avrebbe circa il 65% (figura 4b).

Scendere al di sotto di 15 anni esporrebbe al problema, prima accennato, di dover ritornare sulle cose dopo un tempo troppo breve.

A questo proposito, è da notare che secondo le recenti Linee di indirizzo del MiBACT questi valori sono facilmente raggiungibili: "*… le esperienze recenti di ricostruzione post sismica di centri storici (si veda L'Aquila) hanno dimostrato che la semplice ma sistematica esecuzione di riparazioni o interventi locali produce da sola miglioramenti corrispondenti a capacità di resistere ad azioni sismiche d'intensità non inferiore al 60% di quella prevista per le nuove costruzioni…*".

Non sembra quindi che siano necessari grandi sforzi per arrivare a valori di sicurezza di questo livello, ma per garantire questo risultato occorre andare al di là della valutazione di tipo generico, valida (forse) solo in senso

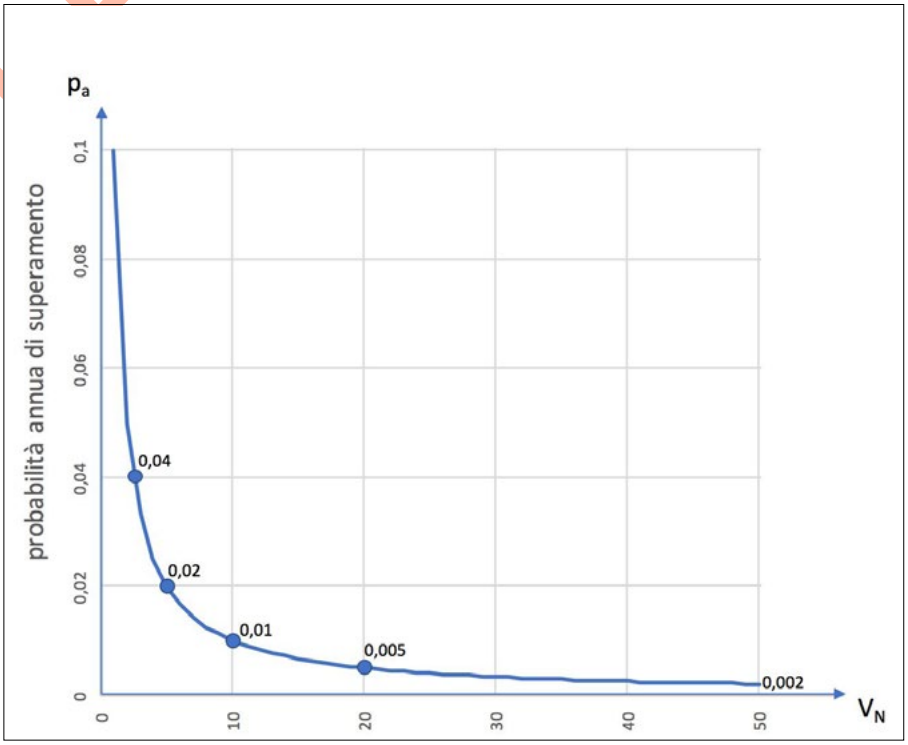


Figura 3 – Probabilità annua di superamento dello stato limite SLV in funzione della vita nominale della costruzione (C_U=1).

IBOZA

statistico, contenuta nelle Linee di indirizzo del MiBACT (come noto, interventi di riparazione e interventi locali – comunque fondamentali – non richiedono una valutazione della sicurezza della costruzione nel suo complesso).

Occorre invece che ciascun intervento risponda *in modo puntuale ed esplicito* a questo requisito.

Infine, se consideriamo la forcella 60%-80% assunta per gli interventi sugli edifici ordinari, si può notare (figura 5) che il livello del 60% significherebbe un valore della vita nominale pari a 13, 12,3 e 12 anni, rispettivamente, per edifici con coefficiente di uso C_U=1, 1,5 e 2, mentre il livello dell'80% corrisponderebbe ad una vita nominale pari a 27, 26,6 e 26 anni, rispettivamente, per edifici con coefficiente di uso C_U=1, 1,5 e 2.

CONCLUSIONI

Molte chiese di Norcia sono crollate nei sismi del passato; sono state ricostruite e poi, in molti casi, al sisma successivo sono crollate nuovamente.

Stavolta, la ricostruzione ha tutte le possibilità di seguire un percorso diverso: sono migliori le conoscenze scientifiche, gli strumenti di analisi, di misura e di indagine, i materiali e le tecniche di intervento.

Peraltro, la differenza tra quello è accaduto agli edifici ordinari di Norcia nel passato e quello che abbiamo visto adesso è già emersa, chiara e macroscopica: le centinaia di vittime dei sismi passati stavolta non ci sono state, perché quegli edifici, rinforzati adeguatamente, hanno avuto una risposta davvero positiva.

Questo risultato deve essere ottenuto anche per le costruzioni storiche, attraverso una ricostruzione accorta e lungimirante, che consideri, soprattutto, che questi eventi torneranno nuovamente.

Almeno in zone a rischio così elevato, la direzione da intraprendere per evitare altre perdite, sia di beni culturali, sia di vite umane, è quindi quella della sicurezza, senza la quale la parola "conservazione" perde ogni significato, se non quello di conservazione delle macerie.

In questo senso, il miglioramento "sostanziale", ottenibile rispettando una "vita nominale" di entità congrua, può rappresentare uno strumento utile per calibrare e valutare gli interventi.

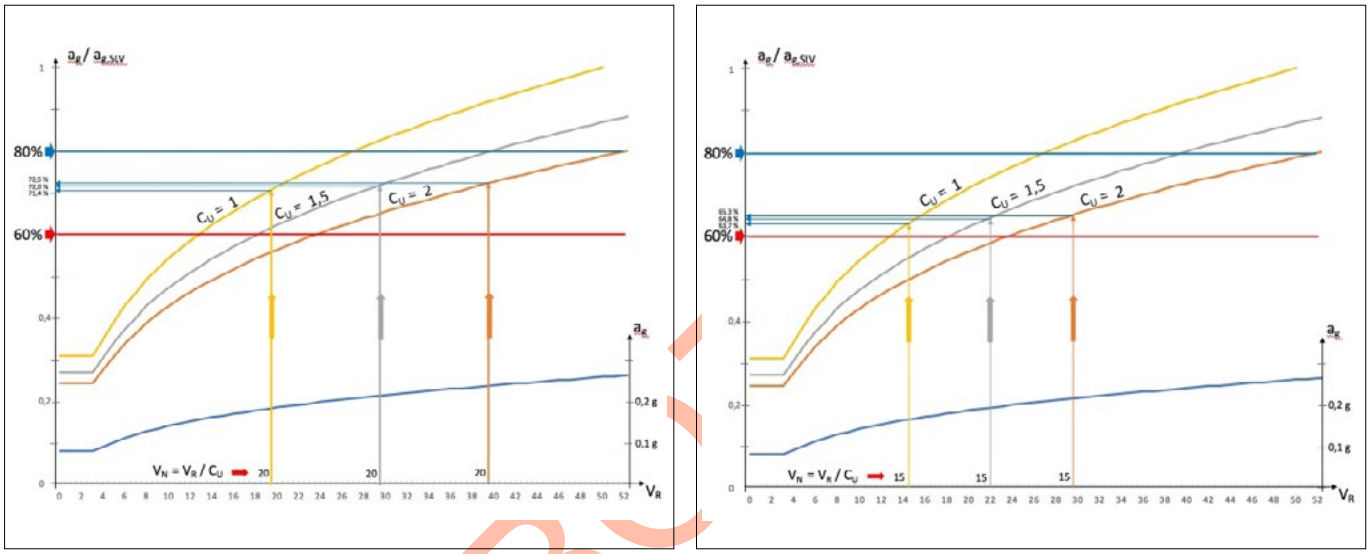


Figura 4 – Città di Norcia: curva di pericolosità sismica (in blu) per lo stato limite di salvaguardia della vita e curve dell'indice di rischio (rapporto tra capacità e domanda) al variare del coefficiente d'uso C_U, in funzione del parametro V_R (= V_N x C_U). a) per una vita nominale pari a 20 anni (vita di riferimento = 20, 30 e 40, rispettivamente, per C_U=1, 1,5 e 2) il livello dell'indice di rischio è di poco superiore al 70%; b) per una vita nominale pari a 15 anni (vita di riferimento = 15, 22,5 e 30, rispettivamente, per C_U=1, 1,5 e 2) il livello dell'indice di rischio è di circa il 65%

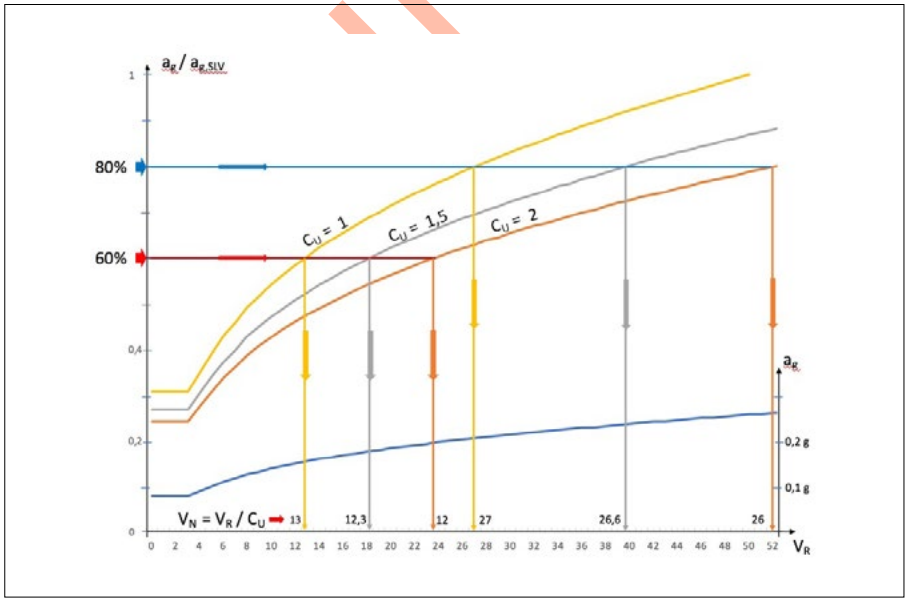


Figura 5 – Città di Norcia: curva di pericolosità sismica (in blu) per lo stato limite di salvaguardia della vita e curve dell'indice di rischio (rapporto tra capacità e domanda) al variare del coefficiente d'uso C_U, in funzione del parametro V_R (= V_N x C_U). Dai grafici si vede come un livello del 60% per l'indice di rischio significherebbe un valore della vita nominale pari a 13, 12,3 e 12 anni, rispettivamente, per edifici con coefficiente di uso C_U=1, 1,5 e 2. Il livello dell'80% corrisponderebbe ad una vita nominale pari a 27, 26,6 e 26 anni, rispettivamente, per edifici con coefficiente di uso C_U=1, 1,5 e 2

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

MiBACT (2017), *Linee di indirizzo metodologiche e tecniche per la ricostruzione del patrimonio culturale danneggiato dal sisma del 24 agosto 2016 e seguenti*. Ministero per i Beni, le Attività Culturali ed il Turismo.

DPCM 9/2/2011 (2011), *Linee guida per la valutazione e riduzione del rischio sismico*. Circolare MiBACT n. 26 /2010 - DPCM 9/2/2011, Ministero per i Beni , le Attività Culturali ed il Turismo.

Lagomarsino, S. (2014), *La prevenzione sismica come strumento di conservazione dei beni culturali*. Ingenio n. 26/2014.

Borri, A. (2015), *Strutturisti e Restauratori: sicurezza vs conservazione? Problemi, dubbi e proposte*. Recupero e Conservazione, n. 127.

Borri, A., Sisti, R. (2017a), *Crolli di chiese causati dai sismi in Italia. Prime considerazioni su alcuni recenti casi in Valnerina*. Structural, n. 210.

Borri, A., Sisti, R., Castori, G., Corradi, M. (2017b), *Crolli causati dagli eventi sismici in Italia. Analisi di due casi recenti in Valnerina*. Structural, n. 213.

Borri, A., De Maria, A. (2015), *Edifici esistenti e nuove NTC: pericolosità sismica e responsabilità*. Ingenio, n. 29/2015.

Venzone: utopia o futuro? Una metodologia per la salvaguardia del nostro patrimonio

Venzone: utopia or future? A methodology for the protection of our heritage

Francesca Sartogo
Presidente "Eurosolar Italia"
E-mail: francesca.sartogo@fastwebnet.it

Parole chiave (*key words*): Ricostruzione (*Reconstruction*), identità storico-culturale (*historical-cultural identity*), recupero patrimonio edilizio storico (*renovation of historical building heritage*), calamità naturali (*natural disasters*)

Venzone: eletta come "Borgo più bello d'Italia" risorge dalle macerie del sisma del 1976, attraverso un percorso sociale, culturale ed organizzativo. ***È Utopia o chiave metodologica d'intervento per una normale salvaguardia del nostro patrimonio?***

IN BOZZA

INTRODUZIONE

Il nostro Paese, per le sue caratteristiche idrogeologiche, geomorfologiche ed il suo clima temperato così particolare, da essere classificato come "zona tipologica climatica Mediterranea" presenta condizioni di grande fragilità. Esso è al centro di un area geografica e culturale definita da Saverio Muratori come "Ecumene Civile Culturale Mediterranea", molto complessa sia dal punto di vista fisico che etnico, sociale e politico.

Un'alternanza di calamità naturali, come frane, alluvioni, terremoti in questi ultimi cento anni, hanno profondamente sconvolto, in tempi sempre più ravvicinati, i nostri territori e le nostre città.

Affrontare questi eventi è un grosso impegno che ha coinvolto in prima persona il nostro governo con tutte i suoi enti per l'assistenza e la protezione civile, ma che ha anche richiesto un grosso contributo tecnico culturale di molte categorie professionali. Architetti, storici, paesaggisti, ingegneri, strutturisti, geologi, agronomi, forestali ecc., in un enorme sforzo interdisciplinare, sono stati i protagonisti di molte delle azioni necessarie a tali eventi nelle successive fasi che vanno dai problemi: 1) dell'emergenza e della gestione delle macerie; 2) dell'accoglienza e della sistemazione provvisoria delle residenze e dei settori produttivi; 3) della valutazione e risarcimento dei danni, ed infine 4) del problema fondamentale della "ricostruzione.

Ma soprattutto è stato fondamentale il contributo dell'"energia sociale", emersa dai *cittadini come portato storico culturale e politico della memoria e della volontà collettiva.* La popolazione, sconvolta da molti di questi eventi devastanti ha saputo reagire con forza e vivacità straordinaria, opponendosi alle strategie estreme delle Istituzioni governative e diventando la vera protagonista delle scelte finali.

Alcuni territori nella loro ricostruzione rappresentano i racconti delle "storie della propria popolazione". Il primo fra tutti, è il caso della vicenda del disastro del Vajont in cui la popolazione ha reagito ed ha contribuito alla decisione di non trasferire ma di mantenere e ricostruire il villaggio di Longarone nel proprio luogo.

Un secondo caso si consolida nella gestione strategica autonoma della Regione Friuli Venezia Giulia nei suoi lunghi 40 anni della ricostruzione che ha saputo trasformare il suo territorio in una nuova area vivibile ed economicamente competitiva a livello europeo. Ma soprattutto la reazione e la scelta della popolazione che ha coordinato la gestione dei reperti architettonici e collaborato al "percorso metodologico storico critico" che è stato la chiave della ricostruzione della cittadella di Venzone, ieri rasa al suolo ed oggi rinata e classificata il "più bel borgo d'Italia".

Per contro, analizzando i primi risultati della recente vicenda sismica degli anni 2016/17, sulla vasta area della nostra "dorsale centrale appenninica" che ha investito ben 4 Regioni Umbria, Marche, Lazio e Abruzzo, cercherò di estrapolare le fondamentali caratteristiche fisiche e storiche di quest'area teatro di millenarie sedimentazioni, ma soprattutto la risposta di una straordinaria caparbietà e coraggio di quelle popolazioni di montanari, pastori, agricoltori e allevatori che non hanno mollato e stanno attivamente partecipando alla futura rinascita del loro territorio con la speranza di ripetere l'utopia della ricostruzione di Venzone anche nei borghi di Amatrice, Accumoli, Norcia, Visso, Arquata, Castelluccio ecc. oggi rasi al suolo e potrebbero diventare domani i borghi più belli d'Italia.

1. IL DISASTRO DEL VAJONT LA RICOSTRUZIONE DI LONGARONE (1963-2013)

Il Vajont è stato un grosso disastro ambientale, avvenuto nel bacino idroelettrico del torrente Vajont. La notte del 9 ottobre del 1963 il monte Toc si è praticamente sfaldato per una larghissima parte e ha fatto precipitare, con terrificante velocità, 300 milioni di metri cubi di montagna nel bacino del Vajont, riempiendo e sollevando a grande altezza le sue acque, che superata la diga, si sono rovesciate su Longarone distruggendo ogni cosa con un effetto devastante.

Nei primi mesi del 1964 immediatamente dopo il disastro sembra che la cosa più semplice e la più logica fosse ricostruire una *"nuova Longarone"*, con attrezzature e servizi, residenze, centro e una zona industriale efficiente che potesse dare vita e lavoro ai nuovi insediati; ma la forzata sistemazione provvisoria, lontana dal proprio paese, crea una profonda frattura psicologica in quella popolazione profondamente attaccata alle propria identità. Ben presto con le Istituzioni governative ci si rende conto che un trasferimento dei cittadini del borgo di Longarone (260 superstiti su 1850 vittime) sarebbe stato un atto di violenza, da scartare anche per gli effetti negativi sugli insediamenti dell'intero comprensorio, dato che Longarone prima del

disastro dell'ottobre del 1963, posta sulla confluenza di due importanti arterie che congiungono la regione Friuli Venezia Giulia e il Veneto era diventata un nucleo molto vitale, in cui attività commerciali ed industriali avevano acquisito un'importanza territoriale assai vasta.

Intorno a questa grande tragedia collettiva il dibattito urbanistico diventa sempre più dominante: vengono impostati i principi fondamentali del disegno illuminista di Giuseppe Samona e della sua equipe proveniente dall'IUAV di Venezia, in un "Piano urbanistico comprensoriale" (*Fig.* 1) che avrebbe dovuto disegnare un'area di sviluppo completamente nuova senza condizionamenti fondandosi sulla partecipazione dei cittadini ad un programma privato e collettivo, per il nuovo insediamento urbano di Longarone in cui i principi sono: 1) Ricostruzione di Longarone nella stessa località dell'antico insediamento; 2) Integrazione del borgo di Longarone con quello di Castellazzo e delle frazioni di fondo valle; 3) Integrazione del sistema dei due comuni nel quadro più vasto a carattere comprensoriale.

Se a livello comprensoriale l'impianto del piano non arriva mai alla sua completa realizzazione e se l'attuale Longarone esprime una tipologia molto lontana da quella tradizionale dei nostri paesetti di montagna; essa, però con alcuni edifici (*Fig.* 2) che portano la firma di architetti interessati a questa "*architettura sociale e collettiva*" come Giovanni Michelucci per la chiesa dell'Immacolata Concezione, Costantino Dardi per le scuole, Valeriano Pastor, Francesco Tentori e Gianni Avon per gli edifici del tessuto urbano, raggiunge un notevole grado di qualità all'architettura come valore identitario necessario per la ricostruzione di questi territori terribilmente devastati da queste importanti calamità.



Figura 1 – PUC-Piano urbanistico comprensoriale di Longarone)



Figura 2 – La qualità dell'architettura: chiesa di Michelucci

2. IL TERREMOTO DEL FRIULI (1976) LA RICOSTRUZIONE ESEMPLARE DI "VENZONE" (1976/2016)

2.1- Il problema sociale: la partecipazione dei cittadini

Dopo il devastante terremoto del 1976, (*Fig.* 3) sono stata coinvolta nel processo della ricostruzione di Venzone, fortemente voluta e gestita dai cittadini. È stata una esperienza straordinaria che mi fa un enorme piacere ricordare. Come molti architetti della mia generazione, ho partecipato a vari progetti per le ricostruzioni dopo eventi sismici. Tali ricostruzioni spesso sono state gestite dall'alto, dallo Stato, dalle Regioni da Agenzie Governative istituite apposta per l'occasione.

La storia del Friuli è totalmente diversa è una storia della popolazione che per tradizione è abituata a fare da sé ed è molto attaccata alle proprie radici. La popolazione, è stata molto presente e determinante nelle scelte e nella gestione della ricostruzione. Il problema dopo un evento simile era: se ricostruire, dove ricostruire e soprattutto come ricostruire. La prima reazione soprattutto dei politici e dei progettisti è stata quella di abbandonare quel che restava e di trasferire, come nel Belice, la popolazione altrove. La prima proposta fu quella di una "*nuova città lineare*" moderna e attrezzala di tutte le tecnologie avanzate più sofisticate lungo l'asse che congiungeva Udine e Pordenone. La seconda fu quella di concentrare in una zona baricentrica della pianura, ai margini della cittadina storica di Spilimbergo, occupata dall'industria, una "*nuova città* polare *monocentrica*" Ma ambedue le soluzioni, dopo numerosi convegni culturali, e soprattutto in un serrato dibattito con la popolazione furono accantonate. Esse avrebbero certamente cancellato il millenario disegno *produttivo ed insediativo* della struttura minuta e policentrica di quel suo particolare territorio.

Dopo l'ultima terribile scossa sismica del settembre dello stesso anno fu necessario trasferire molta parte della popolazione a Lignano nelle ville e nei condomini modernissimi messi a disposizione dalla borghesia friulana. La popolazione sfollata dalle proprie macerie vi rimase circa otto mesi fino a quando fu possibile sistemarla nelle baracche nei pressi dei loro paesi distrutti. In quei mesi la popolazione odiò quelle case e quella qualità della vita così diversa da quella delle loro radici. Essa non si riconosceva in quelle mutate condizioni, non ritrovava quelle matrici della propria identità che giudicò irrinunciabili e ci fu una forte reazione. Nell'agosto 1977 una ferma volontà popolare si concretizza nella "Petizione del Co-

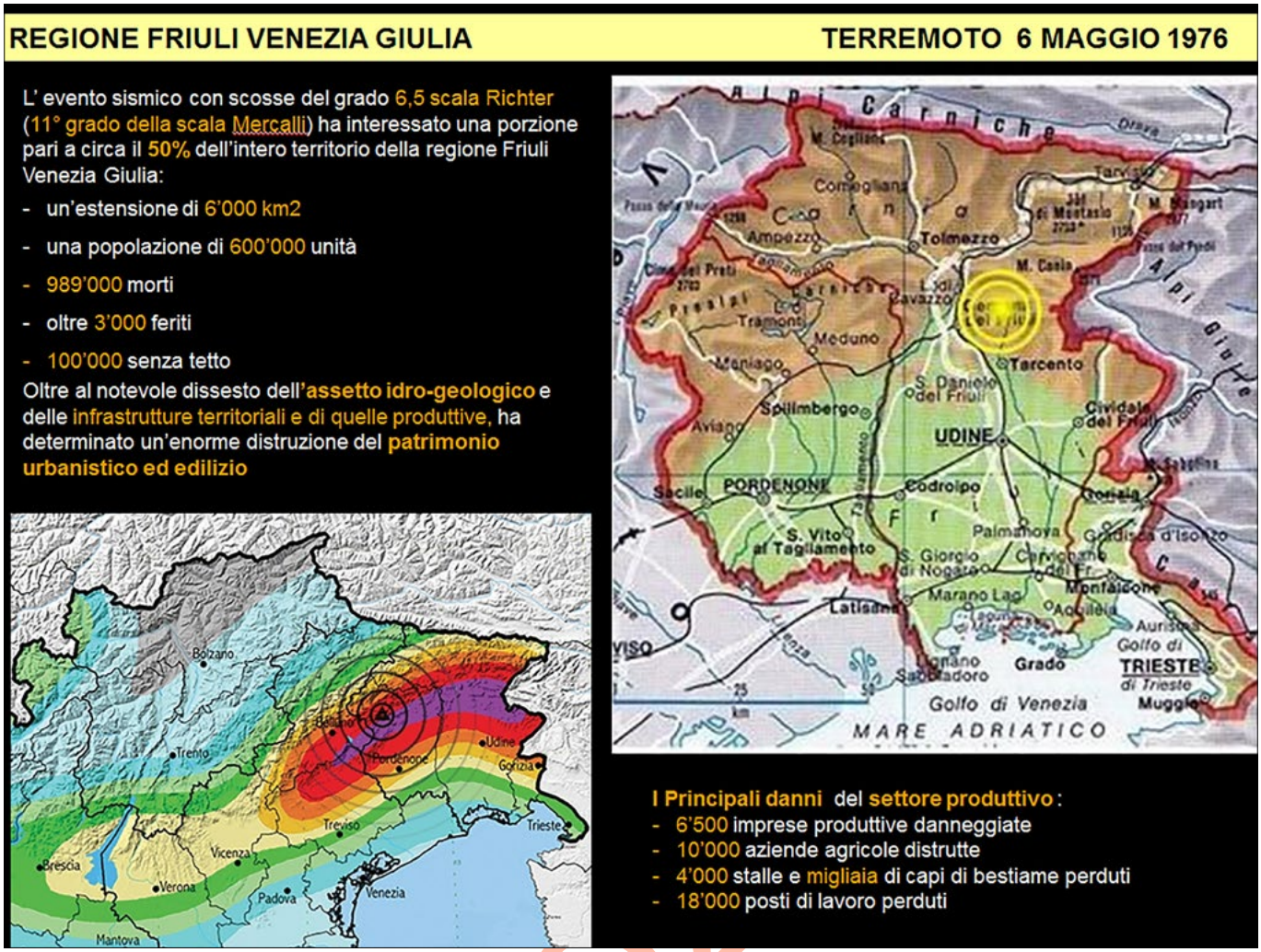


Figura 3 – Il terremoto in Friuli



Figura 3b – Il terremoto a Venzone

mitato 19 Marzo" sottoscritta da 645 firmatari che rappresentavano la totalità degli abitanti allora presenti nel centro storico della città di Venzone e contemporaneamente si organizza una straordinaria mobilitazione culturale e civile per affrontare l'emergenza dello sgombero delle macerie e il fondamentale recupero dei valori storici. Il *Comitato per il recupero degli elementi architettonici*, sostenuto dal Ministero dei Beni Culturali, per lunghi mesi, con le proprie mani, ha coordinato tutte le delicate operazioni di distacco e recupero che hanno, attraverso i vari centri di catalogazione e laboratori della lavorazione delle pietre e dei vari materiali, e costituito la più seria base di partenza per la ricostruzione.

La popolazione decide insieme con i politici, gli architetti, gli intellettuali venuti da molte parte dell'Italia e dall'estero l'ultima vera scelta: 1) che la ricostruzione non doveva essere indifferente alla precedente configurazione, 2) che soprattutto la ricostruzione doveva essere "com'era e dov'era". Geologi ed economisti dettero loro ragione. L'operazione partì in maniera democratica, facile dal punto di vista della gestione economica ed amministrativa. La mano pubblica intervenne con una legge Nazionale dello Stato che destinava 3.000 miliardi per la ricostruzione dell'intero tessuto edilizio e territoriale del Friuli danneggiato dal sisma, il Ministero dei Beni Culturali 100 miliardi per opere monumentali. La Regione Friuli Venezia Giulia in totale autonomia, organizzò una Segreteria Generale Amministrativa che gestì un programma a pioggia di contributi articolati in misure diverse per l'industria, l'agricoltura, la residenza, il commercio come incentivo alla ricostruzione ed al suo futuro sviluppo. È un'operazione capillare gestita dalla Regione, dai Sindaci e soprattutto dai cittadini.

2.2 IL PROBLEMA CULTURALE: DAL "RESTAURO DEI MONUMENTI" AL RECUPERO DEL "PATRIMONIO EDILIZIO STORICO"

Il Problema di Venzone (*Fig.* 3b) è più complesso perché il dibattito tra i monumenti ed il tessuto dell'edilizia storica era appena iniziato. Anche per questo i cittadini di Venzone sono stati determinanti. La loro voce, la *"parole*" è uscita fuori con una chiarezza ed una coerenza sorprendente. Il ricordo della loro *"coscienza spontanea*" è stato così forte che perfino le baracche a loro destinate erano suddivise per contrade e rioni. Il bar della piazza era trasferito in mezzo ai propri clienti di sempre in quella loro provvisoria sistemazione. Ma la cosa più incredibile, è che sotto il letto o nello sgabuzzino insieme agli oggetti importanti ogni proprietario aveva conservato intere *bifore romaniche, balconi, portali, architravi, camini*, insomma tutto quello che avevano potuto staccare e conservare come pezzi importanti della loro casa. E il dibattito tra loro era sul "*come fosse consentito loro ripararle*" ed integrarne i pezzi mancanti.

Il problema era semmai superare l'atteggiamento della Cultura del Restauro fermo ancora alle modalità destinate ai monumenti. C'era da estendere la disciplina, del resto già enunciata nella Carta di Venezia, all'edilizia storica parzialmente o quasi totalmente distrutta e trovare le regole e le motivazioni per una ricostruzione analogica. Come esito di fondamentali Congressi ICOMOS a Udine il 3/12/76 fu deciso con un voto(2.2.1): "la conservazione della città come un unico organismo monumentale circondato dalle sue mura" (" *di perseguire una ricostruzione più aderente possibile al carattere dell'abitato di Venzone, condotta non mediante un successione di iniziative isolate, ma sulla base di un piano di assetto definitivo")* e il 25/4/77 *con il voto*(2.2.2)*: ("la ricostruzione nel rispetto dei tracciati viari, delle volumetrie e delle tipologie, in quanto costituiscono non solo testimonianza di storia, ma anche espressioni di una cultura friulana ancora viva").* A conferma di tali istanze il Ministero dei Beni Culturali, la Soprintendenza dei Beni Ambientali del Friuli Venezia Giulia e l'ICOMOS dettero incarico a me ed a Gianfranco Caniggia di elaborare una "Ricerca storico-critica per la ricostruzione ed il restauro della città di Venzone".(2.2.3)

2.3 LA BASE CONOSCITIVA: DALLO SLOGAN "COM'ERA E DOV'ERA", ALLA "RIEDIZIONE STORICO-CRITICA DELL'INTERO PALINSESTO"

Lo slogan della ricostruzione "com'era e dov'era", spesso intesa come pedissequa riproduzione stilistica delle facciate e degli elementi formali della realtà ante sisma, con la ricerca di una "riedizione storico-critica dell'intero patrimonio edilizio ed urbanistico della citta", acquista un nuovo più ap-

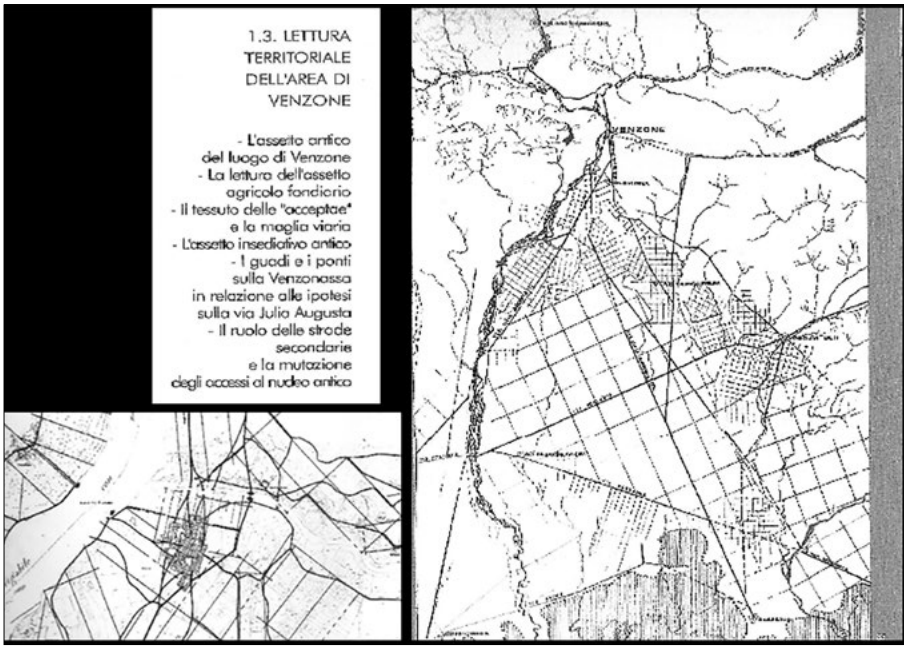
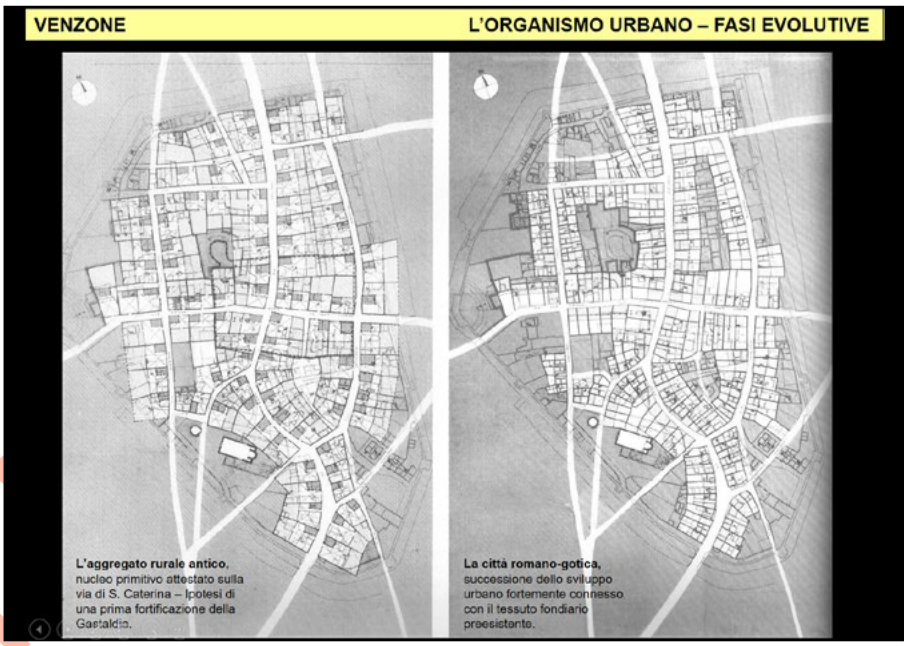


Figura 4 – Territorio Alto Friuli



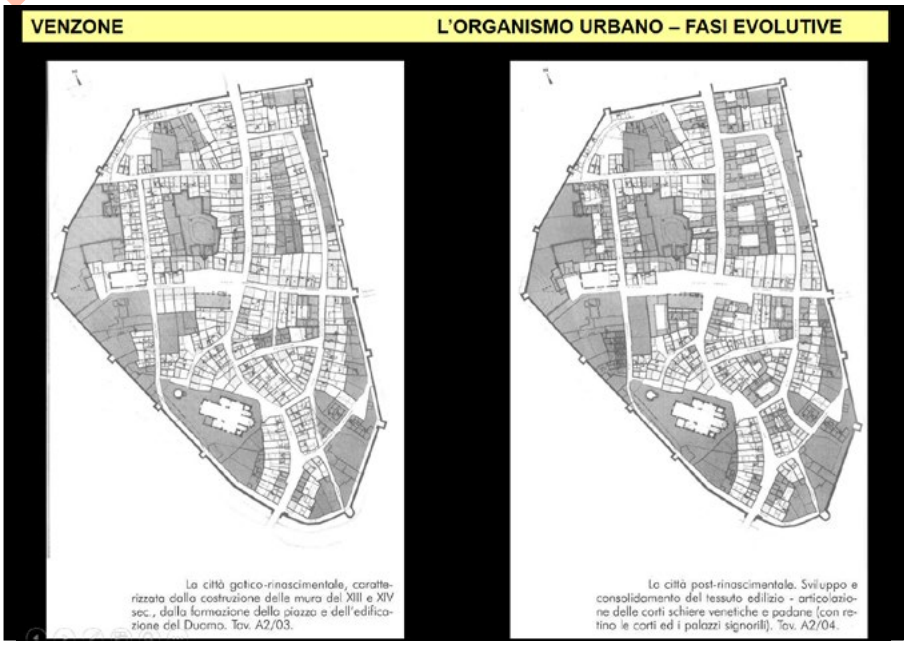


Figura5 e 5b – Le 4 fasi dell'organismo urbano di Venzone

profondito approccio scientifico e culturale; *l'attenta lettura storica dell'impianto urbano* attraverso le sue fasi di formazione e della sua evoluzione processuale; *la analisi della* tipologia edilizia friulana, così particolare con tutte le sue evoluzioni processuali, *la costituzione delle schede di aggregazione unitaria e le analisi degli elementi costruttivi fondamentali*, ricostruiscono tutti i processi evolutivi sia dei singoli edifici, che del tessuto urbano, considerando la ricostruzione dopo il terremoto, come continuazione del processo di formazione della città.

Agendo da *"amanuensi fedeli"* la ricostruzione viene fatta sulle particelle catastali e sui rilievi murari esistenti, sulle stratigrafie fornite dalle Soprintendenze Italiane ed Austriache, sulle tipologie delle case che i cittadini con forza desideravano conservare e ripristinare, e su quegli elementi della loro cultura, che erano così fortemente impressi ancora nella loro memoria: elementi come la "corte interna", la "sala veneta", i codici formali, gli schemi distributivi principali, l'orientamento solare e le tipologie. Il "linguaggio edilizio" giorno per giorno, aiutato dalla memoria collettiva della Comunità, acquista leggibilità, corpo e validità.

La ricerca si sviluppa con una correttezza metodologica esemplare che servirà da modello per i piani attuativi della ricostruzione di molti centri storici in Friuli ed in altre zone dell'Italia dopo i più recenti eventi sismici come quelli dell'Umbria e delle Marche. Essa si articola in differenti fasi:

2.3.1 La "prima fase"

È "la lettura urbanistica territoriale dell'alto Friuli" condotta su mappe dal 1/250.000, al 1/100.000 al 1/25.000, dalla forma degli insediamenti e delle infrastrutture e delle suddivisioni della organizzazione agricola e edilizia condizionata dall'inalienabile, permanenza, tutt'ora leggibile dell'assetto centuriale romano (*Fig.* 4).

2.3.2 La "seconda fase"

È "la lettura dell'organismo urbano" emersa dalla ricomposizione del rilievo murario dei piani terreni in rapp:1:200 e 1:500 secondo le schede catastali e i rilievi topografici, e ricostruendo e riconoscendo i versi di orditura delle parcellazioni fondiarie, le fasce di pertinenza, la perimetrazione delle corti, l'assetto viario, la posizione degli androni e degli accessi verticali: Ne è risultato una ricostruzione della morfologia dell'assetto urbano nelle sue fasi proiettate nei tempi della sua storia: che si esplicitano nelle varie fasi evolutive 1) nel momento dell'assetto rurale antico dell'aggregato proto-urbano; 2) nella epoca mercantile della citta romanico-gotica delle case-corti schiera venetiche e padane; 3) nella città gotica-rinascimentale con l'immissione delle mura, delle prime polarità urbane e delle corti- palazzo borghesi; 4) la città post –rinascimentale con la conclusione delle polarità urbane e l'immissione delle corti palazzo signorili; 5) fino alla città odierna dello stato attuale ante sisma del 1976. (*Fig.* 5, *Fig.* 5b Le fasi dell'organismo urbano)

2.3.3 La "terza fase"

È "la schedatura degli edifici" di tutto il centro storico. Dopo aver suddiviso la città in isolati è emersa la necessità di aggiungere una ulteriore classificazione riconoscendo non le singole unità edilizie, ma bensì "le aggregazioni unitarie" come complesso di edifici che sia per essere ottenuti dall'accorpamento di unità minori o frazionamento di unità maggiori, avendo avuto una parte della loro storia in comune, non possono esaminarsi singolarmente. Sono state individuati "120 aggregazioni edilizie unitarie" che sono state posizionate nel disegno originale della città, dando loro una numerazione progressiva e per ciascuna di esse è stata elaborata una scheda, ove sono raccolte le principali annotazioni emerse dalla ricerca storico-critica. La scheda è formata da varie sezioni comprendenti: a) tutti i catasti storici, comparati tra loro per documentare le trasformazioni avvenute nelle varie epoche; b) le notizie storico-documentarie disponibili; c) il rilievo murario in scala1:200 in pianta e prospetto con l'annotazione dei sistemi componenti; d) la ricostruzione congetturale delle fasi di formazione e successiva trasformazione; e) i caratteri tipologici dei sistemi componenti; f) i caratteri delle strutture e degli elementi architettonici ed il loro stato di conservazione; g) l'elenco dei reperti raccolti durante lo sgombero delle macerie; h) le indicazioni operative per gli interventi della ricostruzione.

Dal lavoro di schedatura si è potuto ricostruire il processo evolutivo del tessuto urbano e degli edifici in modo da indicare la modalità della ricostruzione come la continuazione del processo evolutivo in atto.

2.3.4 La "quarta fase"

È l'individuazione della "tipologia edilizia friulana" e delle sue mutazioni diacroniche e delle variazioni sincroniche riconoscendo le ragioni, la posizione e il ruolo di ciascun elemento nella dialettizzazione del linguaggio della città di Venzone (*Fig.* 6). Questa lettura parte dalla lettura dell'area friulana dove ricorre la dominante presenza di "case-corti" isorientate secondo l'insolazione preferenziale con mutazioni diatopiche differenziate, ma sostanzialmente fedeli alle costanti del tipo, che accompagna di norma le aree di forte permanenza della centuriazione agricola romana. In ciò il Friuli non si differenzia dalle aree padane, e possiamo quindi riferire anche la "casa-corte friulana" al tipo di sostrato generalizzato che si definisce come " domus elementare"; con spiccata similitudine con le aree emiliane, padane e della Lombardia settentrionale. Si individuano le caratteristiche dominanti della tipologia della "casa-corte proto-urbana" per passare alla tipologia della casa urbana articolata in "casa-corte-schiera venetica" e "casa-corte-schiera- padana" ed alle successive mutazioni della fase mercantile in "corte-palazzo-borghese" e "corte-palazzo-signorile" poi.

2.3.5 La "quinta fase"

È "la classificazione morfologica degli elementi costruttivi ed architettonici" attra-

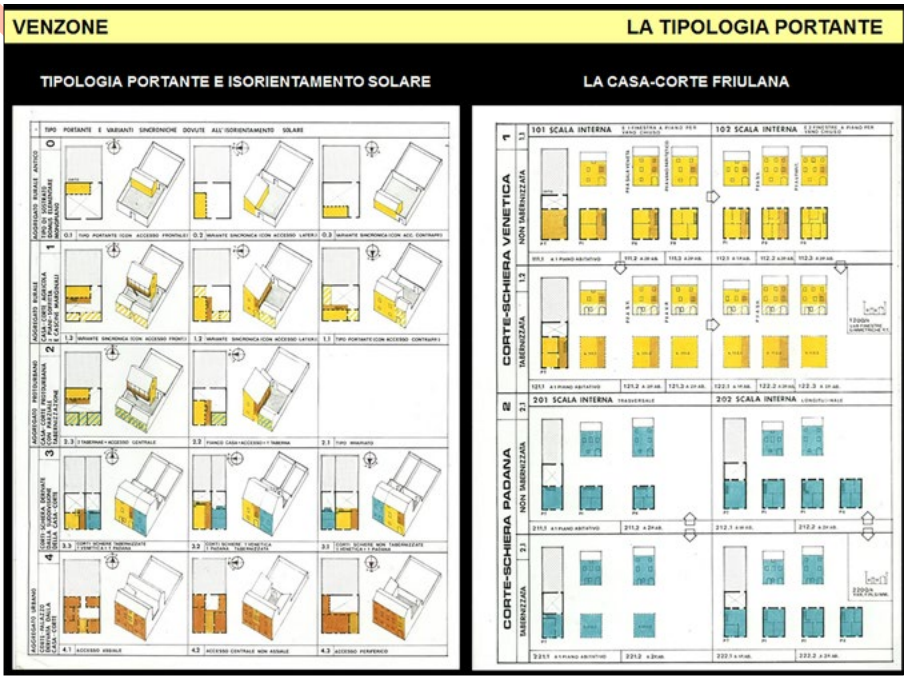


Figura 6 – La tipologia edilizia friulana

LIBOZZA

verso la classificazione dei materiali, delle strutture murarie e costruttive si riesce a riconoscere e a datare il processo delle trasformazioni subite nel tempo delle singole aggregazioni edilizie. La classificazione delle caratteristiche costruttive e formali degli elementi componenti delle strutture verticali e delle aperture, oltre a servire da guida per ricomposizione e rimontaggio egli elementi servirà da suggerimento per la formulazione di elementi analoghi da inserire in una corretta interpretazione degli organismi edilizi.

2.3-6 La "sesta fase"

È "Lo schema progettuale di base per il piano di ricostruzione della città di Venzone". (*Fig.* 7 Piano per la ricostruzione)

A conclusione di lunghi anni di rilievi, ricerche documentarie, di progetti e discussioni viene costruito in stretta partecipazione con i cittadini, contenente indicazioni e normative necessarie alla redazione del piano particolareggiato della ricostruzione: "ricostruzione per anastilosi" per i principali monumenti duomo, municipio, edilizia specialistica, torri, mura; "ricostruzione analogica" del tessuto edilizio considerando le caratteristiche distributive e volumetriche dell'organismo ereditato, in cui sono evidenziati i principali elementi matrici della ricostruzione:

A) La ricostruzione della maglia fondiaria;
B) La perimetrazione delle corti;
C) L'assetto viario;
D) Le aree edificabili divise in indispensabili ed edificazioni complementari;
E) Le aree inedificabili a destinazione agricola o uso pubblico;
F) La posizione degli androni, degli accessi e delle scale;
G) La destinazione ad uso pubblico degli edifici di carattere specialistico.

2.3.7 La "settima fase"

È il "Modello di progetto campione per il restauro della Contrada della via Albertone dal Colle" (*Fig.* 8).

L'intero studio della ricerca storico-critica viene ulteriormente precisato con gli elaborati relativi ad una fase più dettagliata e propositiva, atta a fornire un modello di ricostruzione edilizio che, pur nella eccezionalità del caso, resti fedele ai presupposti e alle normative del restauro, fondato sull'esigenza primaria di tener in massimo conto della processualità storico-formativa intrinseca sia nei monumenti che nell'edilizia storica ereditata attraverso un prolungato processo di stratificazione delle sue componenti e del suo insieme.

Dopo aver analizzato i valori morfologici, che rappresentano "*il corpus linguistico*" della città di Venzone sono state evidenziate le principali interrelazioni tra gli edifici tra loro



Figura 7 – Lo schema di piano per la ricostruzione

e le rispettive strade è emerso che il rapporto di reciprocità tra edifici fronteggianti la strada di una "Contrada" sia molto più stretto di quanto non avviene nello stesso isolato. Per tale ragione il modello esecutivo campione è stato elaborato sull'interessante tratto di tessuto edilizio, posizionato perimetralmente alle mura, in prossimità della chiesa di S. Giovanni e lungo la "*Contrada di via Albertone del Colle*". A distanza di alcuni anni e dopo le varie operazioni azioni di ricerca e recupero dei reperti, sono stati necessari vari progressivi approfondimenti: 1) una ricomposizione del rilievo edilizio in scala 1:100,1:50 e 1:20 con le indicazioni delle fasi storiche documentate attualmente visibili e congetturali per quelle non più visibili. a) Datazione delle murature e dei reperti architettonici; b) Posizionamento degli elementi lignei, del verso e del passo dell'orditura dei solai, delle coperture, delle travi, mensole e appoggi dei dormienti; c) Indicazione dei reperti(stipiti, cantonali, fi-

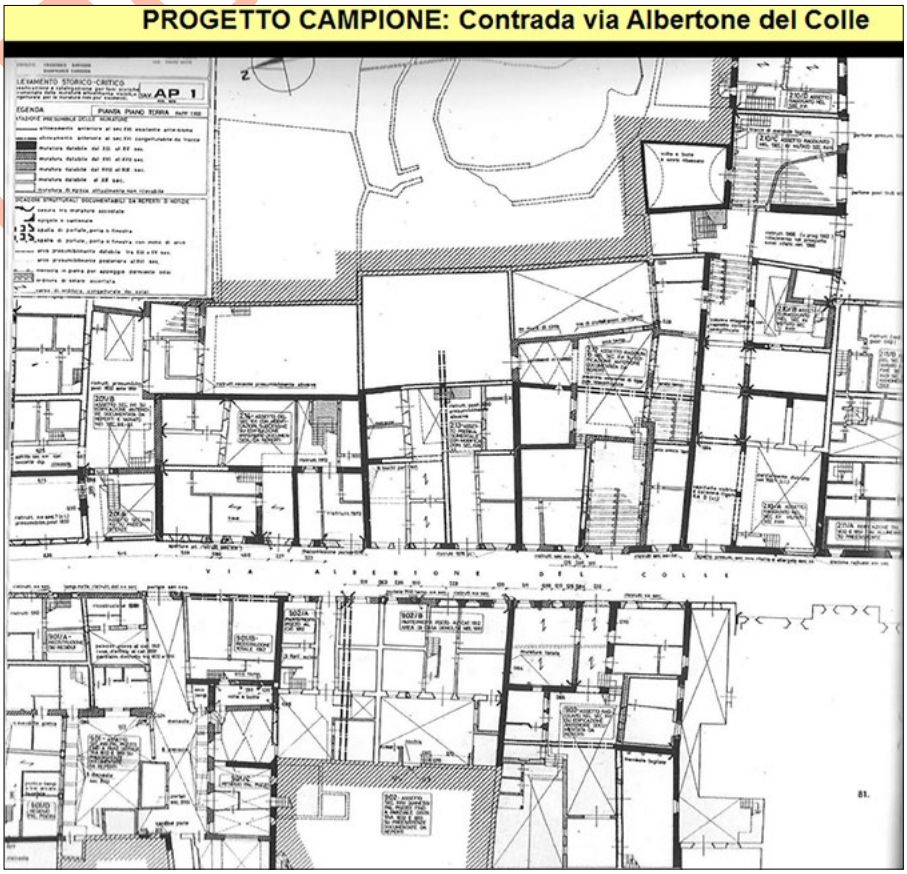


Figura 8 – Il modello di restauro esecutivo per la Contrada di via Albertone dal Colle

nestre ecc.) e vari caratteri degli organismi consolidati dell'organismo ereditato nelle murature in elevazione, nei prospetti e nelle sezioni. 2) La ricomposizione critica con indicazione degli organismi architettonici coerentemente coordinati rispetto alle trasformazioni e variazioni storiche consone e non consone ai vari piani e secondo gli strumenti distributivi degli spazi dell'organismo consolidato. 3) La ricostruzione grafica degli edifici secondo le principali fasi storiche. 4) La ricostruzione filologica degli edifici in un nuovo quadro di *aggiornamento costruttivo secondo criteri antisismici* studiati e progettati dal prof. S. di Pasquale dell'Università di Firenze (*Fig.* 8b).

Il 22 maggio 1979 lo studio viene consegnato al Comitato del Settore del Consiglio Superiore del Ministero dei Beni Culturali, che esprime parere favorevole e approva un finanziamento di sessanta miliardi di lire. La città viene considerata "monumento nazionale"; l'esistente Decreto Ministeriale del 7/5/1965 che vincolava solo "alcuni edifici" di particolare valore artistico, è esteso dal Decreto Ministeriale del 30/1/1981 all'intero patrimonio edilizio all'interno delle mura. L'intero studio, lo schema del piano e tutti i documenti allegati vengono consegnati alla Sovrintendenza del Friuli Venezia Giulia, inviati al Comune di Venzone al prof. Romeo Ballardini ed alla sua equipe, perché, nel redigere il piano particolareggiato, ne potesse trarre le indicazioni in esso contenute.

2.4 La fase operativa: il sindaco funzionario delegato, l'esproprio, la costruzione e la riassegnazione

Nel 1980 il piano particolareggiato della ricostruzione viene approvato, seguendo ampiamente l'impianto metodologico della "*ricerca storico-critica*" e si articola nelle seguenti categorie:

A) Ricostruzione con prevalente restauro;
B) Ricostruzione con prevalente ripristino;
C) Ricostruzione con ripristino filologico e tipologico;
D) Ricostruzione con razionalizzazione di impianto edilizio esistente;
E) Ripristino di liberazione; F) Nuova edificazione con prescrizioni volumetriche.

Si crea uno speciale "ufficio tecnico ed amministrativo Comunale" che si avvale di importanti strumenti operativi quali il "Laboratorio della catalogazione e della lavorazione delle pietre" ed il "Piano degli intonaci". Con la successiva suddivisione del "Piano Particolareggiato" le *aggregazioni edilizie* " vengono, per esigenza di cantiere, accorpate in 18 isolati per i quali vengono assegnati dal Comune in accordo con i cittadini incarichi dei progetti esecutivi ad esperti architetti friulani. Difficoltà operative ed amministrative costringono il trasferimento della "governance" della fase operativa, nelle mani della Segreteria Straordinaria della Regione Friuli Venezia Giulia con delega all'Amministrazione Comunale secondo la *legge Regionale 63/77 e successive integrazioni*. Viene redatto un atto di esproprio dell'intero patrimonio del centro storico entro le mura, accettato, anche se un po' a malincuore dalle cooperative dei cittadini.

Tra la fine degli anni '80 e l'inizio degli anni '90 tutti i progetti esecutivi e le gare di appalto sono approvati ed in corso; in 8 anni la città viene totalmente ricostruita con totale contributo per le prime case e attività operative con il 70% per le seconde case, e gradualmente i cittadini vengono riinseriti nelle proprie primitive proprietà e unità catastali. L'iter delle assegnazioni è lungo e laborioso; oggi è quasi concluso, anche se i casi di cittadini rimasti all'estero, rimangono ancora aperti per nuove possibili acquisizioni.

Pochi mesi fa, invitata a Venzone per le recenti manifestazioni della Regione, ho potuto visitare l'intera opera della ricostruzione della città. È stato estremamente interessante ripercorrere il tracciato dell'impianto urbanistico ed ammirare l'immensa cura usata nella ricomposizione e riedificazione dell'antico patrimonio edilizio. Ma per me soprattutto è stato molto commovente rincontrare i vari sindaci convolti nell'opera, i progettisti, ma soprattutto quei cittadini che negli anni '76-79 vivevano nelle baracche e avevano collaborato con noi nella fase della ricerca di base e nel reperimento dei più importanti elementi architettonici. Con grande orgoglio, mi hanno mostrato le loro case riconquistate nelle stesse vecchie proprietà e soprattutto i dettagli tecnici costruttivi, e storico documentari che erano stati riportati nello studio, allora, fatto insieme.

È stato un sogno finalmente realizzato, e con i vari esponenti della famiglia dei *Pascolo, dei Clonfero e dei Pitteri ed altri* abbiamo brindato al futuro di questa meravigliosa cittadina friulana (*Fig.* 9).

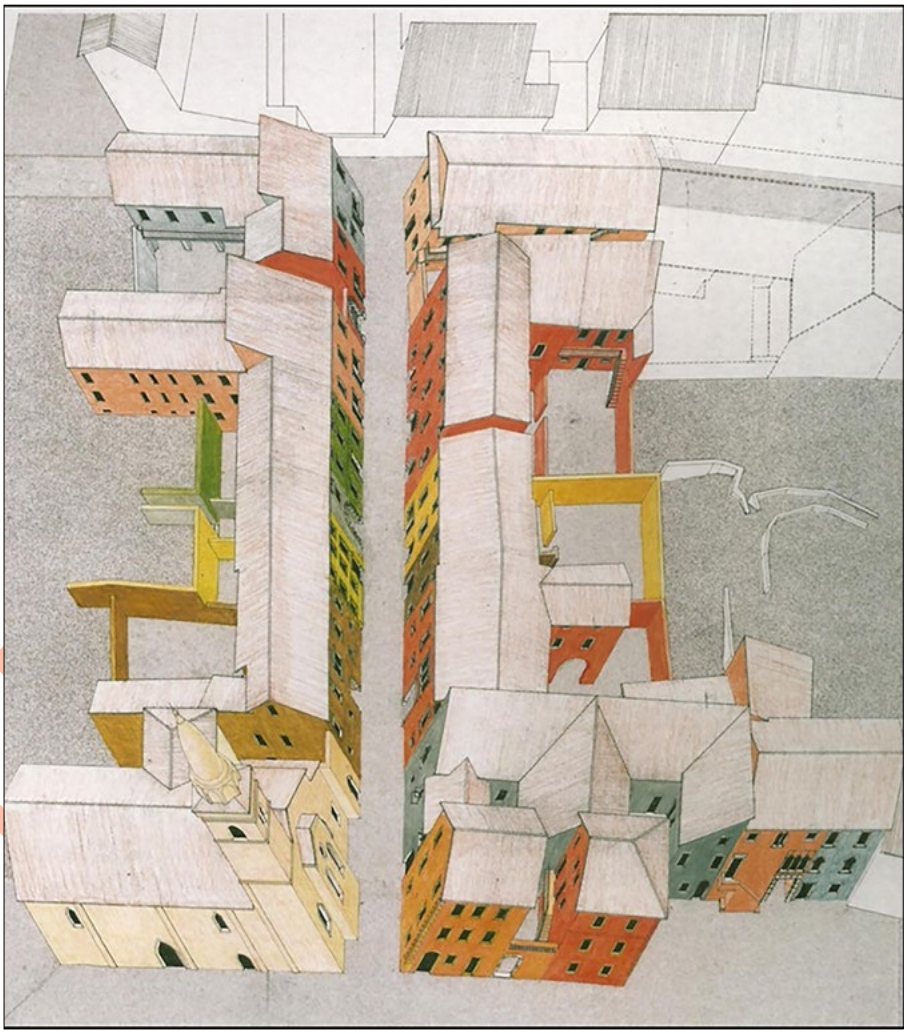


Figura 8b – Il rilevamento storico critico

Venzone ha conquistato alcuni premi e si avvia ad essere inserita nel patrimonio dell'UNESCO, è un interessante laboratorio di studi nazionali ed internazionali per il recupero e la rigenerazione urbana. Il "Palazzo Orgnani Martina", restaurato dalle risorse dei "*friulani residenti a Roma"* è già sede di una mostra e di una biblioteca e si spera diventi presto la base di questo importante centro di ricerca e di comunicazione.





Figura 9 e 9B – Venzone 2017 dopo la ricostruzione

2.5 Il bilancio finale al 2016 /2017

Il bilancio finale non può che considerarsi che estremamente positivo.

A distanza di 40 anni su le "Pietre dello scandalo", nella collana diretta da Corrado Stajano si legge: "*salvare l'identità del centro storico di Venzone possa servire come chiave di lettura non solo di quanto avviene nell'Italia dei terremoti, delle frane, degli alluvioni, della speculazione protervia, ma anche di quanto, in condizione di "normalità" dovrebbe essere cambiato per una reale salvaguardia del patrimonio artistico, storico Italiano".*

E da: Tommaso Montanari "la Repubblica" del 18/04/2017.

"*La scelta di Venzone come Borgo più bello d'Italia dimostra che non si trattava di un'"utopia" ma di un progetto che può essere esteso in tutta l'Italia e facendo come a Venzone tra 40 anni i borghi più belli possano essere quelli che oggi sono rasi al suolo. Non è impossibile – dipende solo da noi".*

3. IL TERREMOTO DELLA "DORSALE CENTRALE APPENNINICA". 2016/2017 IL SISTEMA AGRO-PASTORALE COME RISORSA DELLA RICOSTRUZIONE.

3.1 Castelluccio : il territorio e l'energia sociale

Nella costruzione di una strategia di sviluppo economico a medio e lungo periodo che ristabilisca un equilibrio sociale e produttivo, capisaldi del programma – come riportato nel rapporto del CIPE (Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica) del dicembre 2016 – sono il capitale territoriale, composto dal capitale naturale, dal capitale culturale e soprattutto dall'energia sociale della popolazione locale, dei potenziali residenti e dei sistemi produttivi (agricoli, pastorali, boschivi, turistici).

I territori, che sono stati duramente colpiti dal recente sisma che ha coinvolto ben 4 Regioni, Lazio, Umbria, Marche e Abruzzo, per

l'evoluzione del loro processo sociale, economico e culturale, fanno parte del sistema delle Aree Interne della "Dorsale Appenninica". Sottoposte a uno spopolamento progressivo e inarrestabile dei loro centri abitati, conservano tuttavia potenzialità naturali e produttive che costituiscono un capitale territoriale di straordinario interesse per un concreto programma di rilancio e di ricostruzione di questi territori. Il settore agricolo di quest'area costituisce l'economia prioritaria della sua attività produttiva con un indice di importanza superiore alle altre Aree Interne Nazionali. La biodiversità dell'agricoltura e la varietà della zootecnia sono una economia produttiva, trasformata, distribuita e collaudata da vari secoli fino ai giorni nostri.

dei centri disastrati e la sistemazione provvisoria in luoghi protetti. Purtroppo il processo della ricostruzione che sarà protratto nel tempo, porrà un rilevante problema sociale, se non sarà accompagnato da interventi di programmazione e di sostegno delle risorse produttive presenti, per contrastare e invertire il processo di periferizzazione e abbandono in corso. Per contro l'"energia sociale" della popolazione produttiva che *non ha lasciato un attimo le proprie attività imprenditoriali* è viva e combattiva. La consapevolezza del ruolo che la loro attività comporta, e che, non solo non va perduto, ma se mai potenziato, è la spinta strategica ed economica per avviare uno sviluppo concreto per il programma della ricostruzione.



Figura 10 – Castelluccio e il Pian Grande fiorito, patrimonio dell'UNESCO

La "transumanza" nasce in queste aree ed è la culla della nostra storica antica "Civiltà Contadina". È stata la più importante forma di reddito per molto tempo. Inoltre lo sviluppo di filiere collegate all'agricoltura ed alla pastorizia, interpretato in chiave multifunzionale, può dare un importante contributo al mantenimento del territorio, del paesaggio e alla messa in sicurezza del territorio (manutenzione e ripristino della micro idraulica agraria per una necessaria integrazione di interventi idraulico-forestali per contrastare il dissesto idrogeologico), secondo il rispetto degli indirizzi di una PAC (Politica Agricola

Comune) green oriented, volta alla maggiore integrazione tra agricoltura e ambiente. Il sistema agricolo così integrato contribuisce alla tutela del territorio e alimenta il buon vivere, anche nelle sue interconnessioni con la fruizione turistica, la residenza, i servizi sanitari e d'istruzione (obiettivi prioritari anche della Strategia Nazionale per le Aree Interne).

Il terremoto ha creato l'emergenza e la distruzione del tessuto abitativo, l'abbandono

Nonostante le innumerevole difficoltà, della cittadina ridotta ad un cumolo di macerie in una inaccessibile zona rossa presidiata da un manipolo di alpini, con percorsi infrastrutturali gravemente danneggiati da renderli inagibili, alcuni cittadini non hanno mai lasciato Castelluccio ed il suo territorio e non hanno voluto rinunciare al processo della loro produzione – la rituale aratura e semina-gione primaverile dei 525 ettari della grande superficie del suo "Pian Grande". L'incredibile altopiano ove da molto tempo si coltiva una qualità di lenticchie migliore d'Italia, con un prodotto di circa 3.700 quintali l'anno, con un giro di affari che sfiora i 4 milioni di euro di fatturato ed una sessantina di aziende agricole e centinaia di posti di lavoro.

Trascorsi ben cinque mesi dall'evento del sisma le strade di collegamento con Castelluccio sono ancora inagibili ma trenta agricoltori si sono consorziati e attraverso lunghi incontri, manifestazioni e proteste ottengono un accordo con Anas, Regione, Coldiretti, Protezione Civile e Vigili del Fuoco per poter creare un passaggio protetto sulla strada provinciale 477 attraverso la galleria Forca Canapina.

Il 3 aprile finalmente con l'aiuto di 40 mezzi dell'Esercito si sono trasportati 34 seminatrici, erpici, cingolati e 400 quintali di semi. Dopo 4 durissime ore di viaggio il convoglio raggiunge l'altipiano di Castelluccio. È un momento storico. È il segno della rinascita: l'inizio dell'aratura e della semina; l'"agricoltura è salva". Ma soprattutto lo spettacolo della "fiorita" regala anche quest'anno nonostante il terremoto, la magia dei mille colori che disegnano il "Pian Grande" attirando migliaia di turisti di tutta Europa: il viola delle lenticchie in fiore, il bianco ed il giallo delle margherite, il rosso dei papaveri, il blu dei fiordalisi. Nei primi di luglio si prevede la riapertura della strada provinciale 477 e la normalizzazione dei collegamenti infrastrutturali.

Se il settore agricolo non ha perso tempo anche il settore zootecnico e pastorale ha lottato duramente e non ha mai lasciato Castelluccio, i suoi territori e le sue attività produttive. Abbiamo assistito nei questi lunghi mesi, all'ultima galoppata registrata recentemente da Emiliano Brandimarte, l'allevatore unico abitante rimasto tra le macerie di Castelluccio, che ha dovuto trasferire, dopo il mal tempo, i suoi animali a valle nella pianura di Norcia, e che ci mostra la straordinaria bellezza di questo territorio montano tra i Monti della Laga, i Monti Sibillini e i vari parchi naturali. Le immagini della galleria fotografica, uscite su molti quotidiani, sono la testimonianza della fondamentale qualità dei caratteri, della sua storia millenaria. Certamente è comprensibile come tale territorio abbia generato quella "economia agro pastorale" e come essa si sia consolidata nella sua lunga storia con particolari strutture sociali ed imprenditoriali – piccole e medie imprese, e minime proprietà terriere, che tutt'oggi esistono e continuano a sopravvivere. Oggi la famiglia Brandimante è ritornata a Castelluccio e i suoi 40 cavalli sono tornati definitivamente sui loro pascoli preferiti. Dopo i cavalli di Brandimante tutto il bestiame sta lentamente facendo ritorno sul "Pian Grande"; all'ombra del monte Vettore pascolano anche le mucche di Augusto Coccia che racconta di essere riuscito a riportarne al pascolo un centinaio. A Castelluccio è risalito anche il primo gregge di pecore dopo la transumanza invernale. Riprende la vita agropastorale dopo il terremoto.

3.2 CASTELLUCCIO: SIMBOLO DELLA RINASCITA DOPO IL TERREMOTO

Salvata la fioritura, nei primi giorni di agosto il raccolto dell'"oro" di Castelluccio viene celebrato con una grande festa nell'area del "Pian grande" purtroppo, causa la siccità e il terremoto solo 3.000 quintali di



Figura 11 – Castelluccio catasto gregoriano 1825



Figura 12 – Castelluccio ante fine 900'

questa splendida lenticchia: è il futuro di queste 300 famiglie che in questa terra vi vivono e vi lavorano da generazioni.

L'esempio di Castelluccio premia l'energia sociale dei cittadini e la propria economia produttiva "agro-pastorale" che insieme rappresentano il più autentico e forte segnale di speranza di futuro.

Partendo da questa prima azione, i "Castellucciani" oggi, potrebbero, a similitudine di quanto già avvenuto nella ricostruzione di "Venzone", volgere la loro "*energia sociale*" nella *gestione della delicata rimozione delle macerie* cercando di salvaguardare gli *elementi più importanti della proprie identità culturale*. I "Castelluciani" dovrebbero inoltre contribuire alla progettazione della ricostruzione di "Castelluccio" contenendola nei limiti e nella volumetria della primitiva tipologia di borgo di crinale (*Fig.* 11), senza invadere con nuove costruzioni speculative di "*famosi archistar*", fatte passare per *temporanee,* ma che fior di urbanizzazioni, le farebbero diventare *definitive*, creando un forte impatto ambientale sul Parco Naturale e le colline di Pian Grande – che è un paesaggio agricolo-forestale più prezioso del mondo e fondamentale Patrimonio dell'Unesco (*Fig.* 12).

NOTE:

(2.2.1) ICOMOS a Udine *il 3/12/76 fu deciso con un* voto: la conservazione della città come un unico organismo monumentale circondato dalle sue mura: "che allo scopo di perseguire una ricostruzione più aderente possibile al carattere che l'abitato di Venzone possedeva, e debba essere condotta non mediante un successine di iniziative isolate, ma sulla base di un piano di assetto definitivo, che mantenga strettamente l'impianto planimetrico esistente in cui la fabbricazione sia costituita da edifici che recuperino tutti gli elementi ancora esistenti, e fanno voti : "…che nella ricostruzione ci si attenga al rispetto dei tracciati viari e delle volumetrie e delle tipologie, in quanto costituiscono non solo testimonianza di storia, ma anche espressioni di una cultura friulana ancora viva".

(2.2.2) Il 25/4/1977 fu deciso con un voto: *"Soltanto per quelle parti di edifici monumentali che furono distrutti dalla furia bellica o da fatali eventi di carattere naturale ma di cui avevamo ancora viva l'immagine davanti ai nostri occhi e nella nostra memoria, era possibile una pronta ricostruzione, più o meno parziale, secondo la consistenza delle parti superstiti. L'edificio si poteva infatti considerare scomposto nei suoi elementi, più che distrutto... Il fatto traumatico, l'azione violenta che viene a spezzare al vita di un edificio possono essere vinti e superati con un 'opera di ricomposizione, in base a tanti elementi che fino a poco tempo prima avevamo sotto gli occhi. È una naturale estensione dell'anastilosi"* De Angelis d'Ossat *"Il Restauro e la Carta di Venezia"1977.*

(2.2.3) *Caso*: Venzone. *Date del Progetto*: 1977-1979-80. *Titolo*: "Ricerca storico-critica per la ricostruzione ed il restauro della città di Venzone". *Progettisti incaricati*: arch. Francesca Sartogo, prof. arch. Gianfranco Caniggia. *Collaboratori*: Riccardo dalla Negra, Mauro Gatto, Paola Grifoni, Massimo Magistri, Carlo Martinelli, Umberto Michele, Sergio Micheli, Fausto Midolo, Akira Osaka, Adriana Paolini, Dora Testa, Enrico Tonetti.

BIBLIOGRAFIA

Bellina A. (2006), *Venzone: la ricostruzione di un centro storico*, Associazione Amici di Venzone, Venzone.

Benedetti S. (1978), *Venzone nel Friuli: quale ricostruzione?*, "Storia Architettura", Udine.

Brunelli C. (2017), *Castelluccio merita qualcosa di più della solita squallida speculazione,* "Ippodamo".

Camiz A. (2012), *Venzone, una città ricostruita (quasi) "dov'era, com'era". Venzone, a city rebuilt Imost) "where it was and how it was*", "Paesaggio Urbano".

Caniggia G. (1977-1979), *Ricerca storico-critica per la ricostruzione ed il restauro del centro storico di Venzone*, ICOMOS Consiglio Italiano.

Caniggia G. (1981-1983), *Metodologia del recupero e studio della tipologia processuale nell'indagine e nel piano: tipologia edilizia di Venzone,* Udine.

Caniggia G., Maffei. G.L. (1984), *Il progetto nell'edilizia di base,* Venezia.

De Luca (1988), *Fotogrammetria e recupero nei centri storici terremotati del Friuli: Gemona, Venzone, Artegna*, Udine.

Michele U., Sartogo F. (1976), *Venzone, Storia della Città*, n. 9.

Montanari T. (2017), *L'utopia di Venzone, il borgo, più bello, risorto dalle macerie, raso al suolo dal sisma del 1976, fu ricostruito sulle sue stesse pietre. Un riscatto, oggi, da prendere ad esempio*, "La Repubblica".

Muratore G. (2010), *Il segreto della storia: Venzone*, "Architettura".

Sartogo F. (1981-1983), *Venzone come e perché*. In *Il recupero dei vecchi centri. Gli aspetti teorici, i modi d'intervento*, Atti del convegno internazionale di studi, Udine.

Sartogo F. (2003), *Comunità e Linguaggio. Sviluppo evolutivo tra "città spontanea" e "città pianificata"*. In E. Mortola, *Architettura, comunità e partecipazione: quale linguaggio? Problemi e prospettive nell'era della rete*, Atti del Seminario internazionale, Roma.

Sartogo F. (2008), *Udine e Venzone. Lettura critica per una storia operante del territorio friulano,* Alinea ed. Firenze.

Rischio liquefazione: studi e iniziative per la ricostruzione e la pianificazione urbanistica post sisma Emilia 2012

Luca Martelli
Regione Emilia-Romagna, Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, Bologna

Liquefaction risk: studies and initiatives for reconstruction and urban planning after the Emilia 2012 earthquake

Parole chiave (*key words*): pericolosità sismica locale (*local seismic hazard*), liquefazione (*liquefaction*), ricostruzione post sisma (*after earthquake reconstruction*), pianificazione urbanistica (*urban planning*) microzonazione sismica (*seismic microzonation*)

INTRODUZIONE

La liquefazione è la repentina perdita di resistenza al taglio e rigidezza del terreno, con conseguente perdita di capacità portante, causata dagli sforzi indotti da forti terremoti, generalmente di magnitudo maggiore di 5, nelle aree in cui, nei primi 15÷20 m di profondità, sono presenti orizzonti, di spessore metrico, di sedimenti granulari (limi sabbiosi, sabbie e ghiaie sabbiose), poco addensati e saturi.

Queste condizioni sono piuttosto diffuse nel sottosuolo della pianura emiliana, dove la porzione più superficiale della successione stratigrafica (Pleistocene medio - Olocene) è prevalentemente costituita da sedimenti del Po e dei suoi affluenti appenninici. Fenomeni di liquefazione in Pianura Padana erano già stati descritti in occasione di forti terremoti storici (Galli, 2000).

Le scosse principali della sequenza sismica emiliana di maggio e giugno 2012, vale a dire quella del 20 maggio di magnitudo Mw=6,09 e quella del 29 maggio di magnitudo Mw=5,90 (Rovida *et al.*, 2016), hanno indotto anche diffusi fenomeni di liquefazione; l'area interessata da tali fenomeni è piuttosto estesa, dal settore occidentale della bassa pianura modenese e oltrepò mantovano al settore occidentale della provincia ferrarese, ovvero tra i fiumi Secchia e Reno (*Fig.* 1). Nei giorni immediatamente successivi alla prima forte scossa, vista l'entità degli effetti di liquefazione osservati, la Regione Emilia-Romagna e il Dipartimento di Protezione Civile condivisero la necessità di istituire un gruppo di studio interdisciplinare e interistituzionale, denominato Gruppo di lavoro "Liquefazione", costituito da geologi, geofisici geotecnici e ingegneri, per analizzare quanto successo e programmare le indagini necessarie per avviare in maniera corretta ed efficace le attività di riparazione e ricostruzione. I rapporti delle attività e i risultati di questo gruppo di studio sono stati via via resi disponibili nella pagina web dedicata: http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/liquefazione-gruppo-di-lavoro.

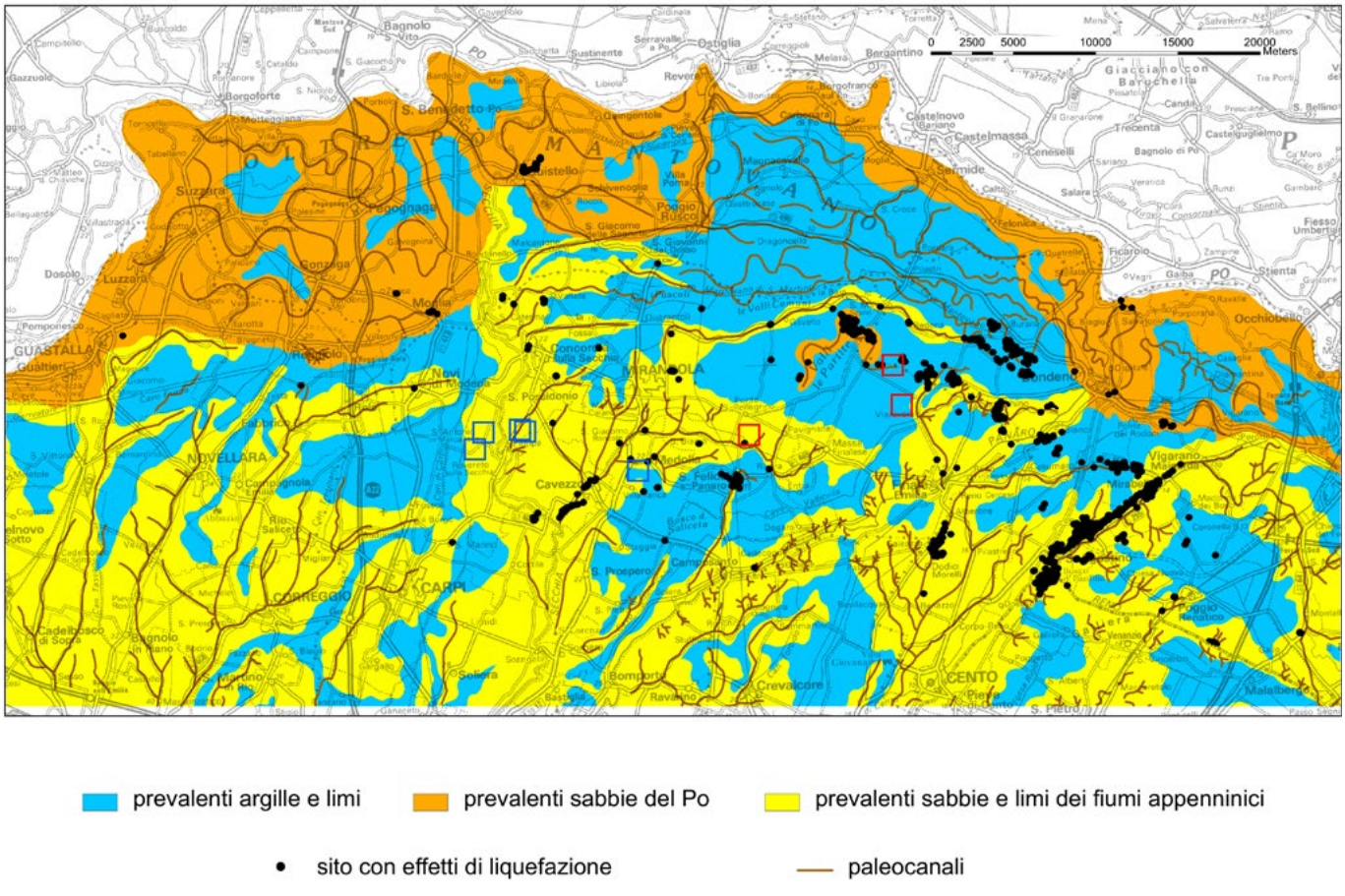


Figura 1 – Distribuzione degli effetti liquefazione ed epicentri dei terremoti Mw≥5; simboli rossi: eventi del 20/5, simboli blu: eventi del 29/5



Figura 2 – esempio di danni correlati anche a fenomeni di liquefazione a seguito della scossa Mw=6,09 del 20 maggio 2012: a) crollo di capannone a Mirabello; b) e c) danni ad edifici residenziali a S. Carlo

I maggiori effetti sono stati osservati in provincia di Ferrara, in particolare a S. Carlo e a Mirabello, frazioni di Terre del Reno (*Fig.* 2), dove la liquefazione ha contribuito a rendere inagibili interi settori dei suddetti centri abitati (Fioravante e Giretti, 2012; Crespellani *et al.*, 2012). Diffusi e copiosi effetti sono stati rilevati anche in alcune frazioni del Comune di Cento (FE), a S. Felice sul Panaro (MO), a Cavezzo (MO) e, in provincia di Mantova, a Moglia e Quistello.

Si è trattato per lo più di risalita e fuoriuscita di sabbia attraverso vulcanelli, fratture del terreno e pozzi per acqua. Ai piani inferiori degli edifici sono state osservate fuoriuscite di sabbia anche attraverso gli scarichi dei sanitari. Localmente, sui dossi fluviali e sui rilevati arginali, si sono verificate anche fratture e spostamenti dovuti a fenomeni di espansione laterale (*lateral spreading*). Fortunatamente non sono stati osservati fenomeni di fluidificazione. I cedimenti verticali sono stati generalmente dell'ordine di alcuni centimetri; dove si sono verificati fenomeni di *lateral spreading* sono stati osservati cedimenti anche decimetrici.

Dal confronto tra la distribuzione di questi fenomeni e le mappe geologiche e dalle indagini geotecniche risulta che la maggior parte degli effetti si sono verificati in corrispondenza di dossi e sistemi di paleoalvei e paleocanali originati dall'attività deposizionale dei fiumi Secchia, Panaro e Reno (*Fig.* 1), affluenti appenninici di destra del Po; decisamente meno frequenti gli effetti nelle aree con depositi sabbiosi superficiali dovuti all'attività deposizionale del Po (Calabrese *et al.*, 2012; Martelli e Romani, 2013).

Le analisi granulometriche, effettuate su campioni di sedimenti fuoriusciti in superficie e su campioni prelevati dagli orizzonti liquefatti (Romeo, 2012; Facciorusso *et al.*, 2012; Fontana *et al.*, 2015), e le prove di permeabilità in sito hanno evidenziato che i terreni liquefatti e liquefacibili di questo settore della Pianura Padana sono sabbie fini limose con permeabilità dell'ordine di 10-4÷10-5 m/s, per lo più a profondità comprese tra -2 m e -13 m (*Fig.* 3) (Calabrese *et al.*, 2012; Martelli e Romani, 2013; Colombi *et al.*, 2014).

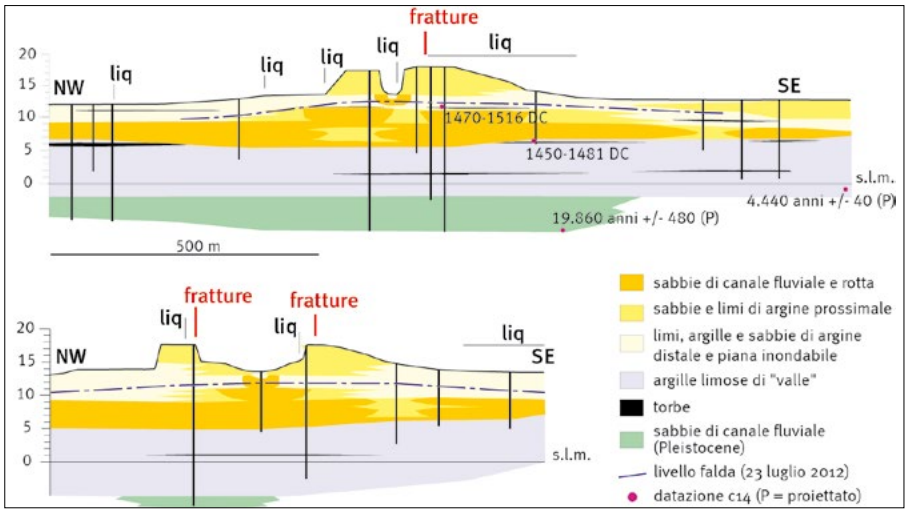


Figura 3 – sezioni geologiche attraverso il sistema paleoargini-canale del fiume Reno a S. Carlo, località dove si è verificato il maggior numero di fenomeni di liquefazione in occasione del terremoto del 20/5/2012. Notare il livello della falda misurata a fine luglio: gli orizzonti sabbiosi sotto tale livello sono praticamente sempre saturi e quindi sempre liquefacibili

Le verifiche del rischio di liquefazione effettuate successivamente e il confronto tra i parametri geotecnici delle prove penetrometriche realizzate prima e dopo i fenomeni osservati hanno evidenziato che la liquefazione non ha prodotto un apprezzabile addensamento delle sabbie e l'occorrenza di liquefazione è tuttora presente, anche nei siti dove questa è avvenuta (Fioravante e Giretti, 2012; Facciorusso *et al.*, 2012; Facciorusso *et al.*, 2015; Tonni *et al.*, 2015; Facciorusso *et al.*, 2016; Madiai *et al.* 2016; Amoroso *et al.*, 2017).

LE INDAGINI E GLI STUDI PER LA RICOSTRUZIONE

Visti i diffusi fenomeni di liquefazione osservati e le prime registrazioni della Rete Sismica Nazionale e della Rete Accelerometrica Nazionale, da subito è apparso evidente che la sequenza sismica emiliana del 2012 è stata caratterizzata da importanti effetti locali. In una vasta porzione di territorio padano sono stati stimati fattori di amplificazione anche maggiori di 2 se si considerano tempi di ritorno di 475 anni o dell'ordine di 1,5÷1,6 se si considerano tempi di ritorno di 950 anni.

Inoltre, poiché in Emilia-Romagna le scelte di pianificazione urbanistica e la progettazione devono essere coerenti con i risultati degli studi di microzonazione sismica (DAL 112/2007; LR 19/2008), e per realizzare una ricostruzione veramente orientata alla mitigazione del rischio sismico, con LR 16/2012 e ordinanza del Commissario delegato – Presidente della Regione (OC) 60/2013 è stato stabilito che gli interventi di ricostruzione fossero disciplinati sulla base delle risultanze di studi di microzonazione sismica. Perciò con le ordinanze 70/2012 e 84/2013 il Commissario delegato – Presidente della Regione ha reso disponibili € 500.000 per realizzare la microzonazione sismica (MS) e l'analisi della condizione limite per l'emergenza (CLE) dei Comuni emiliani più colpiti, vale a dire quelli in cui sono stati osservati diffusi effetti di intensità macrosismica almeno pari al VI grado MCS (Galli *et al.*, 2012).

In alcuni Comuni del "cratere" (v. allegato 1 al decreto del Ministero dell'economia e delle finanze del 1 giugno 2012, GU n. 130 del 6/6/2012) studi di MS e analisi della CLE erano già in corso grazie ai contributi previsti dall'art. 11 della L. 77/2009. Purtroppo alcuni Comuni del "cratere", sebbene seriamente interessati dal terremoto, non possono accedere a tali contributi avendo una pericolosità sismica di riferimento a_g inferiore a 0,125g (art. 2, comma 2, e Allegato 7 delle ordinanze attuative dell'art. 11 L 77/2009). Per consentire a tutte le Amministrazioni del "cratere"

BOZZA

di dotarsi di strumenti di conoscenza della pericolosità sismica locale di pari livello, il Commissario delegato – Presidente della Regione ha reso disponibili, con ordinanza 84/2013, ulteriori risorse economiche riservate per studi di MS e analisi della CLE nei Comuni del "cratere" con $a_g < 0{,}125g$.

Negli allegati tecnici alle suddette ordinanze sono contenuti i criteri e gli standard tecnici di riferimento per tali studi, derivati dagli indirizzi regionali (DAL 112/2007) e dagli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" nazionali (ICMS, 2008).

Visto che i maggiori effetti locali osservati sono stati l'amplificazione del moto sismico e i fenomeni di liquefazione gli elaborati finali di questi studi consistono essenzialmente in mappe che suddividono il territorio in base ai fattori di amplificazione e al rischio di liquefazione, stimati negli ambiti di interesse urbanistico, vale a dire nei centri urbani consolidati e nelle aree potenzialmente suscettibili di trasformazioni urbanistiche (riqualificazione, ricostruzione, espansioni) indicati dalle Amministrazioni interessate (Province e Comuni) (*Fig.* 4).

Tali mappe costituiscono anche la base per la valutazione della "vulnerabilità geologica" dei siti che ospitano le principali strutture e infrastrutture essenziali per il superamento dell'emergenza, le cui condizioni di vulnerabilità (strutturale e locale) sono descritte nelle schede e nelle cartografie di analisi della CLE.

Gli studi sono stati realizzati da un gruppo di lavoro interdisciplinare e interistituzionale, costituito da tecnici esperti (geologi, geofisici, ingegneri strutturisti e geotecnici, architetti e urbanisti) della Regione, di vari istituti universitari e del C.N.R., del DPC, dell'OGS Trieste e da geologi liberi professionisti, coordinati dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli e dal Servizio Pianificazione Urbanistica, Paesaggio e uso sostenibile del territorio della Regione Emilia-Romagna. Nessuno ha percepito compensi; le risorse stanziate sono state interamente utilizzate per le indagini, l'acquisizione e l'elaborazione dei dati. Gli Autori e le specifiche competenze e attività sono descritte nella relazione illustrativa dello studio (Martelli e Romani, 2013).

Gli elaborati finali sono costituiti, oltre alla relazione illustrativa sopra citata, dagli elaborati cartografici di primo livello (*Fig.* 5) e di secondo livello, con locali approfondimenti di terzo livello (stima dell'indice potenziale di liquefazione, *Fig.* 6), dai documenti di analisi della CLE, dalla cartografia di confronto tra CLE e MS (*Fig.* 7), dalle schede di caratterizzazione geotecnica dei principali litotipi, dal rapporto del gruppo di lavoro per la stima del rischio di liquefazione e da uno studio per la caratterizzazione della risposta sismica di sito; tutti questi documenti sono stati pubblicati il 15 ottobre 2013 nel sito web *http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/speciale-terremoto/sisma-2012-ordinanza-70-13-11-2012-cartografia*.

Questi studi sono stati realizzati in tempi rapidi (alcuni mesi) per fornire al più presto il supporto necessario per il superamento dell'emergenza e l'avvio della ricostruzione. Ciò è stato possibile grazie alla preventiva disponibilità di linee guida per la microzonazione sismica e l'analisi del rischio di liquefazione (AGI, 2005; DAL 112/2007; ICMS 2008).

Successivamente, grazie alle nuove indagini e all'acquisizione di ulteriori dati per la ricostruzione, si sono rese necessarie modifiche degli strumenti urbanistici (piani della ricostruzione, piani regolatori e piani strutturali) e di protezione civile vigenti e quindi, grazie ai contributi per studi di MS e CLE art. 11 L. 77/2009 resi disponibili con le più recenti ordinanze del Capo Dipartimento della Protezione Civile (OCDPC 1717/2014, 293/2015 e 344/2016), sono stati avviati gli adeguamenti e approfondimenti degli studi di MS e CLE realizzati con l'ordinanza commissariale 70/2012 secondo i più recenti standard regionali (DGR 2193/2015) e nazionali (CT, 2015) (*Fig.* 8).

I CONTRIBUTI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Vista la rilevanza e diffusione dei fenomeni di liquefazione il Commissario delegato - Presidente della Regione, con le ordinanze 51, 57 e 86 del 2012, ha reso disponibili contributi economici per realizzare interventi di mitigazione del rischio di liquefazione. Tali ordinanze prevedono la possibilità di un aumento, fino al 15%, del costo convenzionale di riparazione/ricostruzione di edifici gravemente danneggiati (esito E delle verifiche

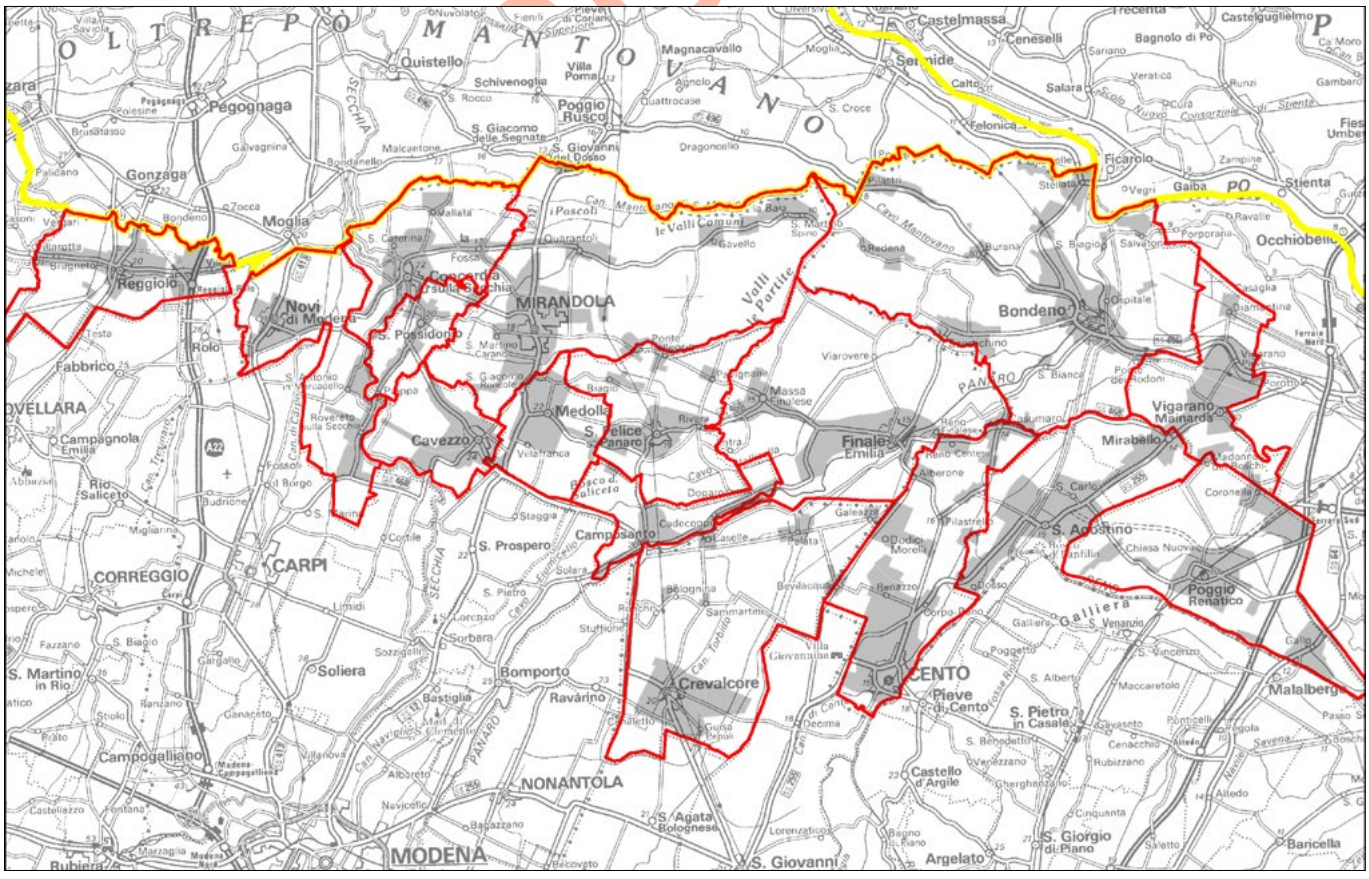


Figura 4 – quadro d'unione delle aree oggetto di MS e analisi CLE (OC 70/2012)

BOZZA

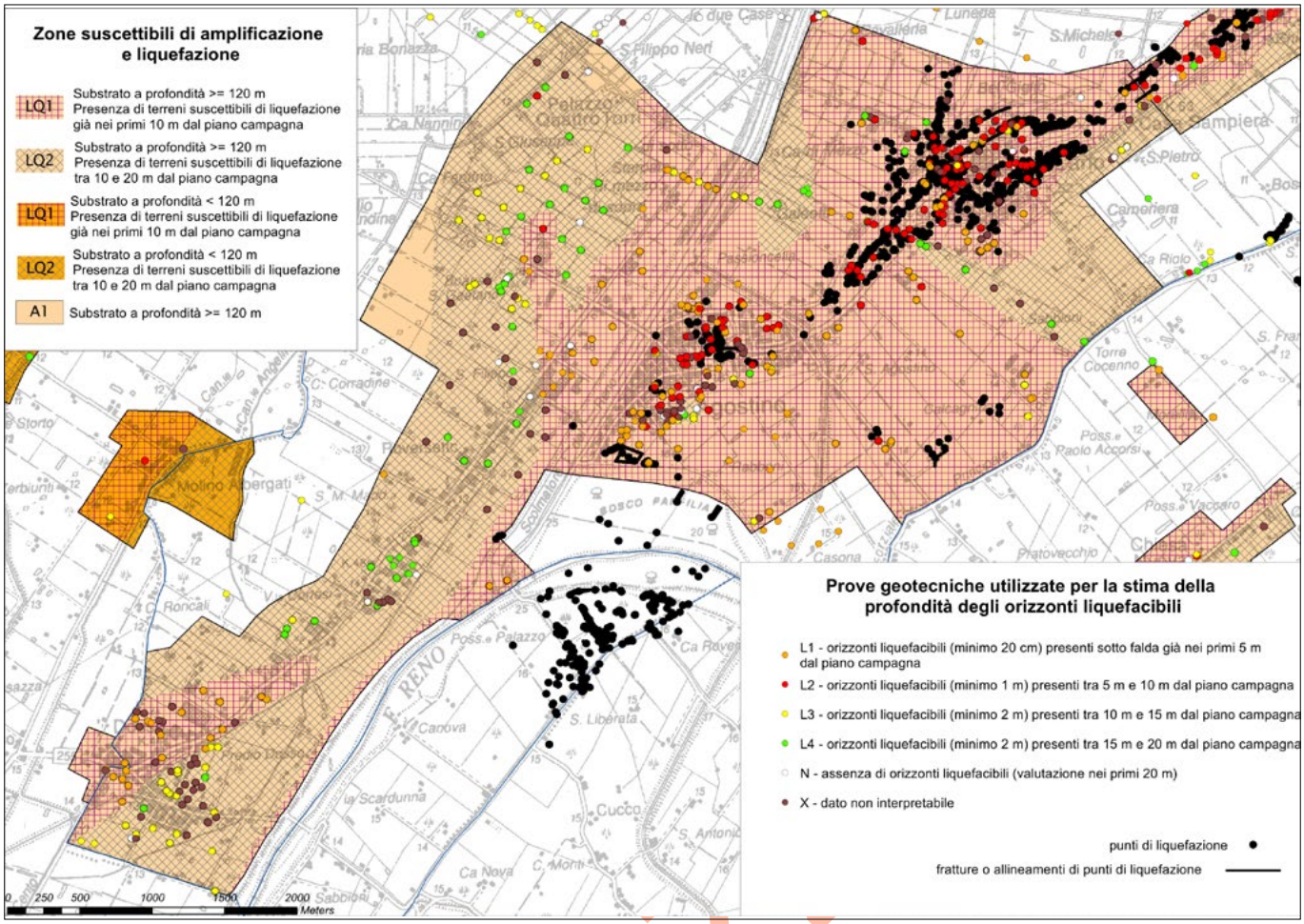


Figura 5 – Esempio di carta delle aree suscettibili di effetti locali o delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS, primo livello di approfondimento); loc. S. Agostino (FE)

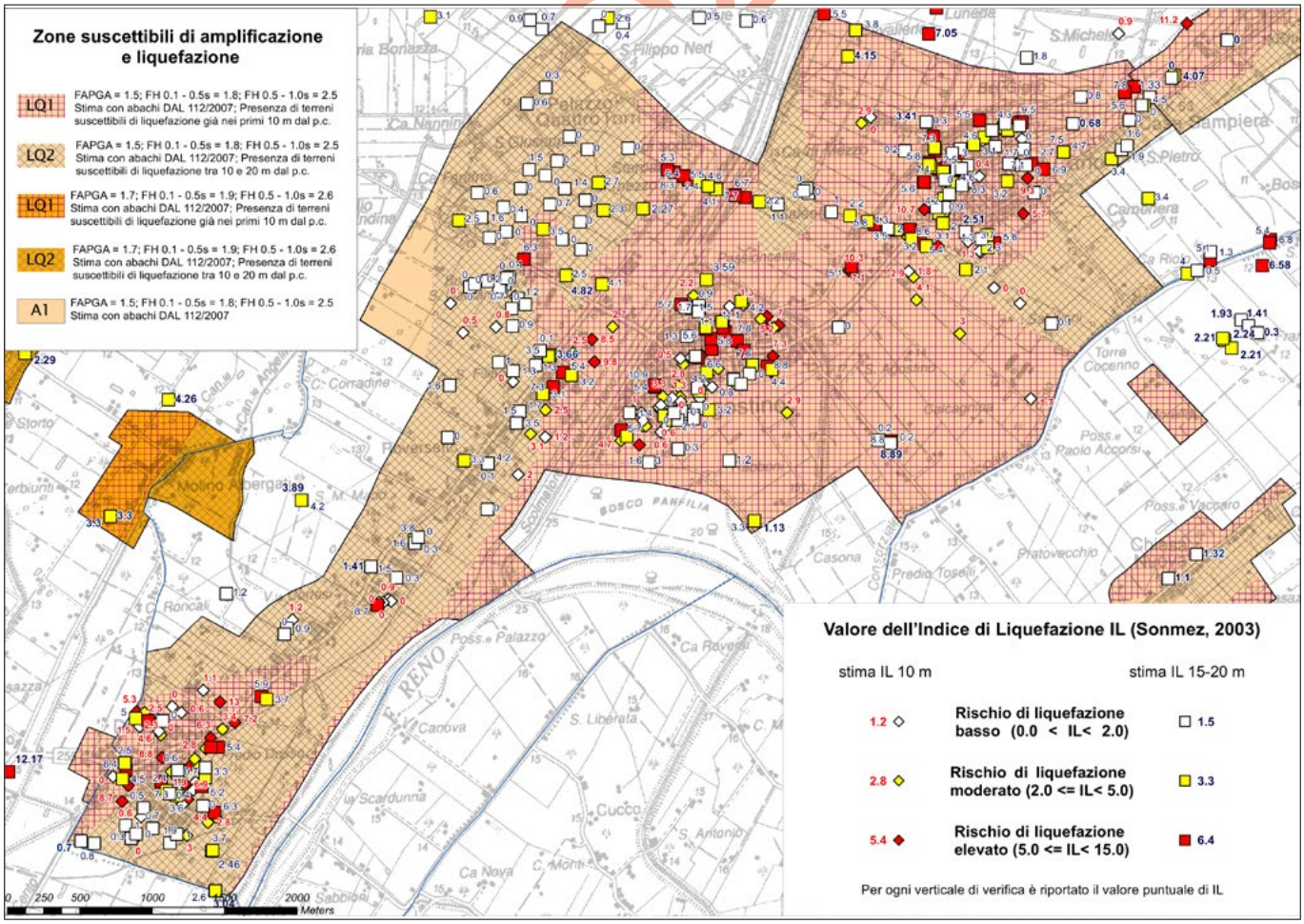


Figura 6 – Esempio di carta di MS di secondo livello, con locali approfondimenti di terzo livello; loc. S. Agostino (FE)

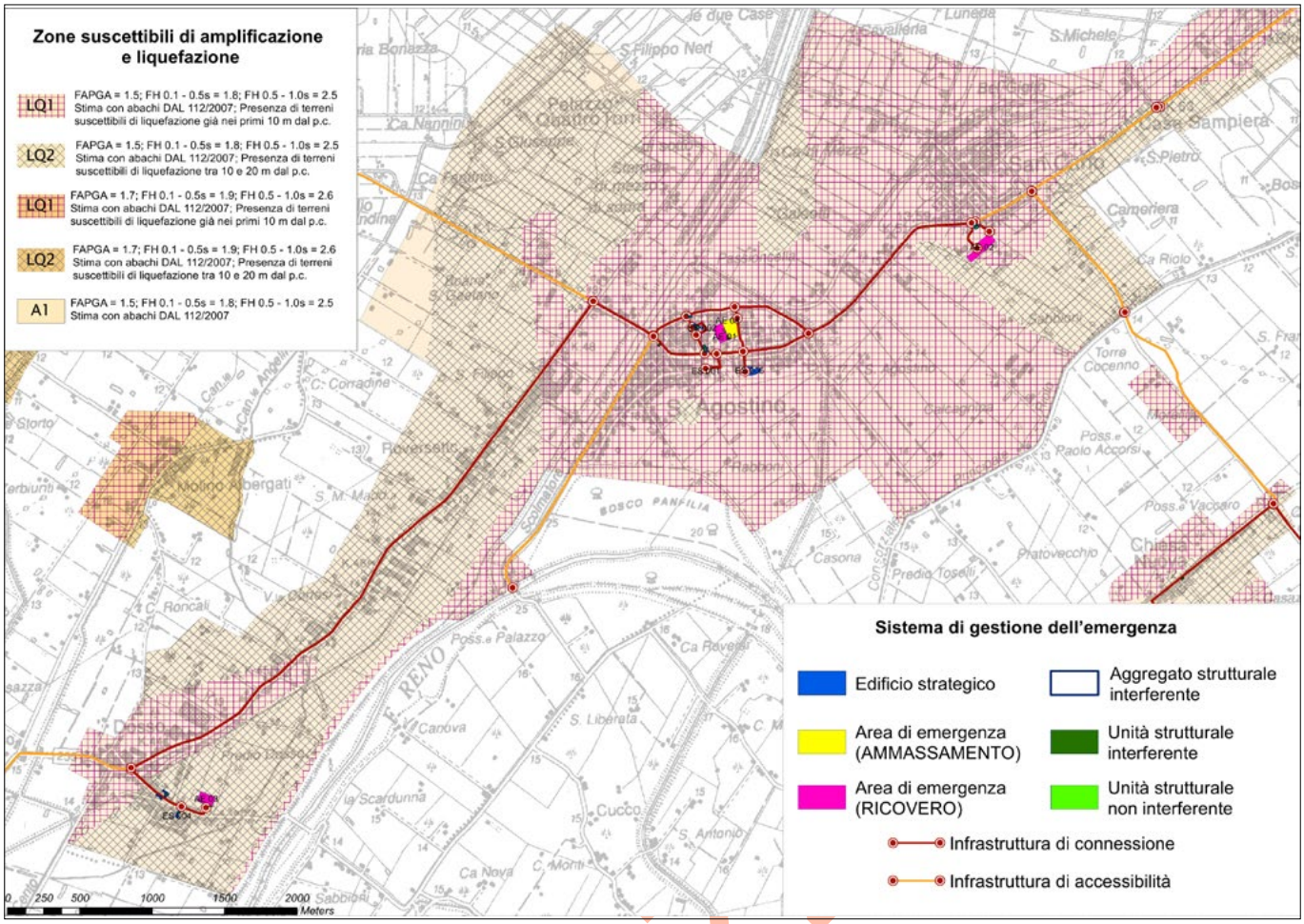


Figura 7 – Esempio di carta di confronto tra MS e analisi della CLE; loc. S. Agostino (FE)

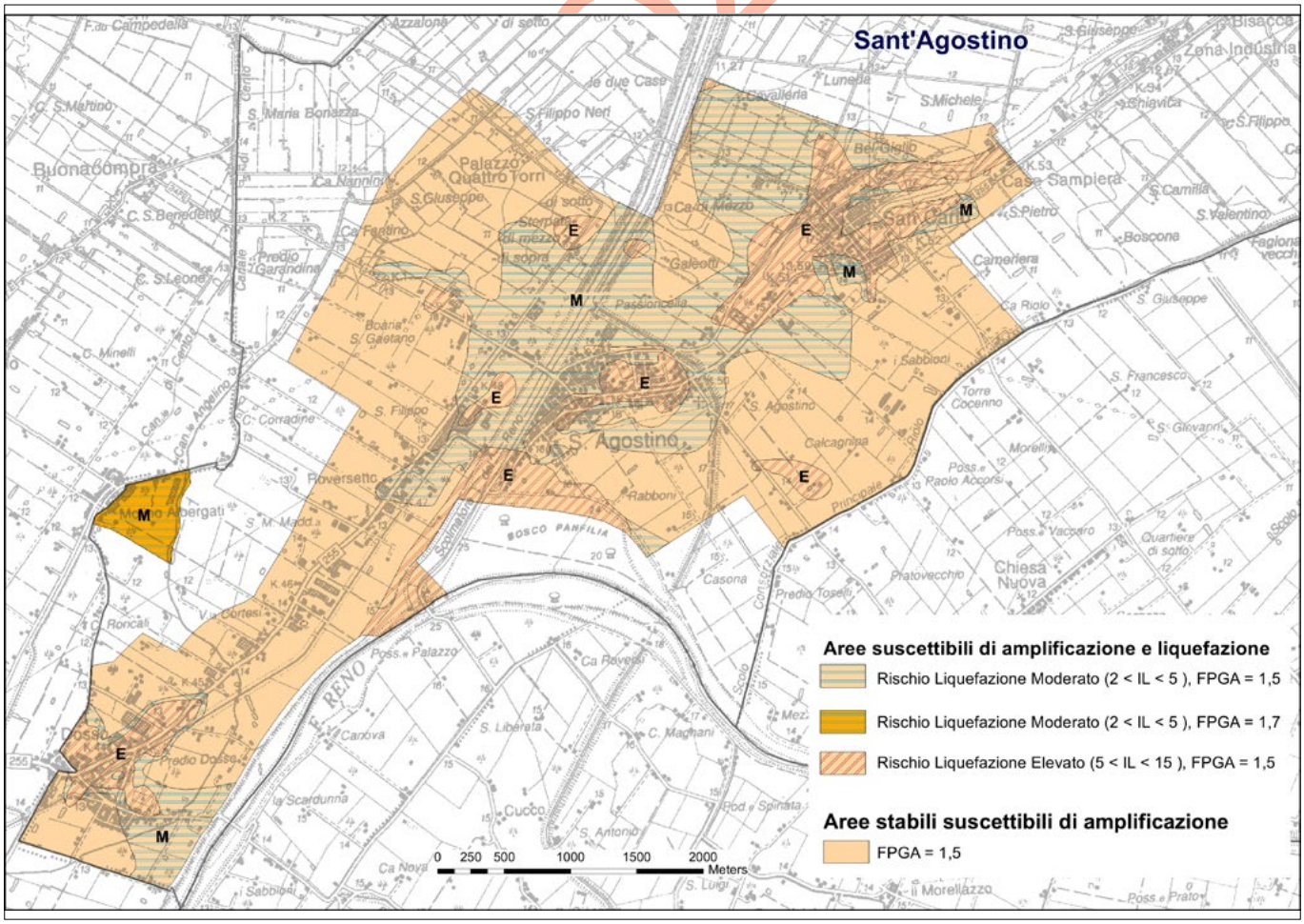


Figura 8 – Esempio di carta di MS, stessa località della figura 7, adeguata agli standard nazionali MS v 4.0 (CT, 2015)

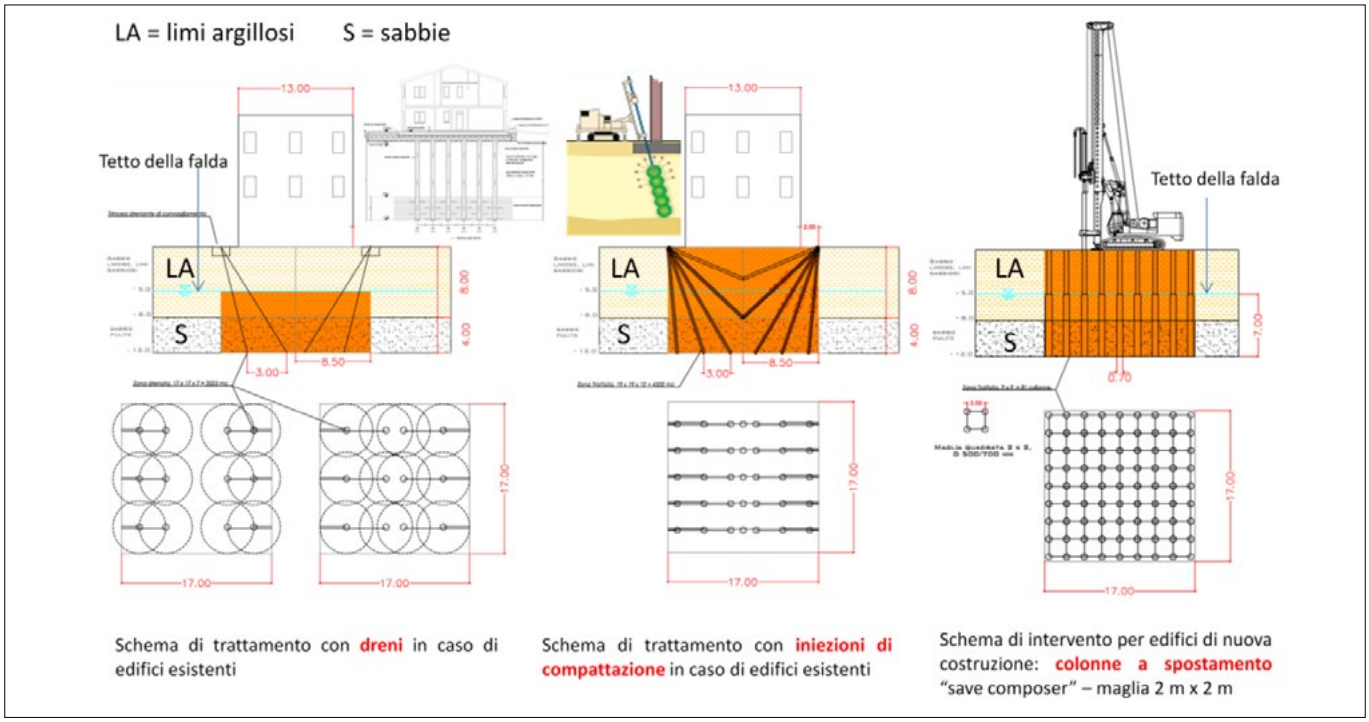


Figura 9 – Rappresentazione schematica di alcuni degli interventi di mitigazione del rischio di liquefazione ritenuti più idonei in base alle caratteristiche geologiche locali (da DD 12418/2012); in ocra il volume di terreno da trattare

di agibilità), in siti in cui si sono verificati fenomeni di liquefazione; recentemente, per edifici adibiti ad attività produttive, la possibilità di incremento è stata elevata fino al 50% (OC 16/2015 e 36/2015).

Per ottenere tali contributi i progettisti devono documentare, nel sito d'interesse, la presenza di effetti di liquefazione a seguito dei terremoti di maggio-giugno 2012, verificare l'entità, in caso di nuove scosse, del rischio di liquefazione (valore dell'Indice Potenziale di Liquefazione e distribuzione del Fattore di Sicurezza alla Liquefazione lungo la verticale di indagine) e presentare un progetto di mitigazione di tale rischio. Nei centri abitati di S. Carlo e Mirabello, data la diffusione degli effetti e visti i risultati delle indagini che hanno dimostrato la presenza diffusa di rischio di liquefazione, con Determina Dirigenziale 12418/2012 sono state perimetrate le aree in cui le manifestazioni di liquefazione sono state numerose, copiose e diffuse; per interventi in tali aree l'incremento del contributo concesso è massimo (15%), non occorre documentare né l'avvenuta liquefazione né la presenza del rischio ed è sufficiente presentare il progetto di intervento. Per il riconoscimento del contributo occorre comunque l'approvazione del progetto, da parte di un gruppo di esperti (geologi, ingegneri e geotecnici) appositamente istituito e coordinato dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione.

Al fine di favorire la progettazione e realizzazione degli interventi di mitigazione del rischio di liquefazione con Determina Dirigenziale 12418/2012 sono state pubblicate anche indicazioni sulle tecniche ritenute più idonee in base alle caratteristiche geologiche locali (*Fig.* 9); successivamente, con Determina Dirigenziale 1105/2014, sono state pubblicate anche linee guida sulle indagini geotecniche da effettuare e sulla documentazione tecnica da produrre a supporto della richiesta di incremento del contributo per la riparazione o ricostruzione.

I siti in cui sono stati osservati effetti di liquefazione sono cartografati nelle mappe delle microzone omogenee in prospettiva sismica dello studio di MS (Allegato 1.4, es. in *Fig.* 5); la localizzazione dei punti di liquefazione deriva dai rilievi effettuati nei giorni immediatamente successivi agli eventi del 20 e 29 maggio, a cura dei geologi dei Servizi Tecnici di Bacino regionali, dell'associazione GeoProCiv e dai tecnici di EMERGEO-INGV.

Per una valutazione della distribuzione delle aree a rischio di liquefazione il riferimento principale è costituito dalla cartografia dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione dello studio di MS (Allegato 1.5, es. in *Figg.* 6 e 8).

Gli studi hanno evidenziato che, nelle aree epicentrali dei terremoti di maggio 2012, gli orizzonti liquefacibili sono per lo più costituiti da sabbie limose depositate dai fiumi appenninici (Secchia, Panaro e Reno), attualmente a profondità variabili tra -2 e -13 m dal piano campagna.

GLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO DI LIQUEFAZIONE

Le domande finora presentate sono 122. Di queste, 89 avevano i requisiti richiesti (danni gravi, effetti osservati e presenza del rischio di liquefazione) mentre le altre 33, nonostante nella maggior parte dei casi fosse documentata la presenza del rischio, erano relative a siti in cui non sono stati rilevati effetti di liquefazione.

Per alcuni progetti sono state richieste modifiche e integrazioni nello spirito di favorire una progettazione di livello e concedere l'incremento del contributo. Ad oggi i progetti approvati sono stati 86; solo per 3 progetti è stato espresso parere negativo al riconoscimento del contributo.

Più della metà (51%) dei progetti hanno previsto la realizzazione di dreni verticali. Questo tipo di intervento (passivo), pur non migliorando le proprietà meccaniche del terreno, se ben dimensionato riduce fortemente la probabilità di liquefazione poiché limita lo sviluppo delle sovrappressioni interstiziali in caso di terremoto. Il frequente ricorso a questa tecnica è senz'altro dovuto ai costi contenuti e alla facilità di realizzazione in caso di demolizione e ricostruzione. Al contrario questo tipo di intervento è difficile da realizzare e/o molto oneroso in caso di costruzioni esistenti, in quanto, date le locali caratteristiche di permeabilità degli orizzonti da drenare, per risultare efficace generalmente richiede la realizzazione di un elevato numero di dreni, disposti secondo una maglia regolare con distanza interasse dell'ordine di 1÷3 m, e quindi la necessità di realizzare, nella maggior parte dei casi, le perforazioni dall'interno degli edifici, con difficoltà di accesso ed elevati costi di rispristino. Per ovviare a questo inconveniente recentemente è stata messa a punto una tecnica che prevede la realizzazione di dreni orizzontali che vengono realizzati dall'esterno; in questi casi è però necessario avere sufficiente spazio all'intorno del sito da trattare per accedere e operare con le macchine perforatrici; inoltre attualmente i costi sono ancora piuttosto elevati e non esistono criteri

LIBERA

di progettazione scientificamente riconosciuti. Tutto ciò limita il ricorso a questa tecnica.

Nel 13% dei casi i progetti hanno previsto la realizzazione di fondazioni profonde (soprattutto pali, in minor misura micropali), finalizzate al superamento degli strati potenzialmente liquefacibili e al trasferimento dei carichi delle strutture in elevazione a strati di terreno profondi e stabili in caso di sisma. Questo tipo di intervento può risultare particolarmente oneroso perché, essendo gli orizzonti liquefacibili nella pianura emiliana generalmente presenti fino a profondità di circa 12÷13 m, è necessaria la progettazione di pali molto lunghi, a fronte di carichi superficiali in genere modesti.

Nel 12% dei casi i progetti hanno previsto la realizzazione di colonne di calcestruzzo rotoinfisse. L'efficacia di tale tecnica consiste nell'addensamento del terreno. Questo tipo di intervento non comporta controindicazioni per gli edifici vicini ma è realizzabile solo in campo libero. Prima della realizzazione dell'intervento è richiesta l'esecuzione di un campo prova per testare l'efficacia dell'addensamento.

La tecnica del compaction grouting è stata adottata in circa l'8% dei progetti. Il ricorso a questo tipo di intervento, tra i più efficaci in quanto induce addensamento del terreno con conseguente incremento della resistenza ciclica, è risultato piuttosto limitato sia a causa degli elevati costi di realizzazione sia perché l'approvazione dell'intervento è subordinata all'esecuzione di un campo prova che ne consenta il dimensionamento e certifichi l'efficacia (in alcuni casi, a causa delle difficoltà di iniezione in terreni sabbioso-limosi, gli esiti dei campi prova hanno indotto i progettisti ad adottare altre tecniche di mitigazione del rischio). Inoltre il compaction grouting non è consigliabile nel caso di orizzonti da trattare a profondità inferiori di 5,5÷6 m perché potrebbe causare sollevamenti del piano campagna con conseguenti effetti dannosi agli edifici adiacenti (Idriss e Boulanger, 2008). Per un esempio di campo prova, realizzato per la verifica preliminare dell'efficacia di questa tecnica per un intervento di ricostruzione a S. Carlo (FE), si veda Colombi *et al.* (2015).

Nel 6% dei progetti è stata prevista la realizzazione di colonne in ghiaia vibrocompattate, che in fase di realizzazione addensano il terreno e durante un sisma si comportano come dreni. Anche in questo caso il ricorso piuttosto limitato a questo tipo di intervento è dovuto al rischio di causare danni agli edifici adiacenti durante la vibrocompattazione.

Il 2% dei progetti ha previsto la realizzazione di colonne di jet grouting, le quali, più rigide del terreno naturale presente tra esse, hanno la funzione di assorbire gran parte degli sforzi di taglio indotti dal sisma, con conseguente abbattimento delle deformazioni di taglio della sabbia e riduzione delle sovrappressioni interstiziali.

Il 6% dei progetti ha previsto il ricorso ad iniezioni di miscele di malte cementizie mentre in due casi sono state proposte iniezioni di miscele chimiche ecocompatibili (v. D'Attoli *et al.*, 2015), con l'obiettivo, per entrambe le tecniche, di indurre cementazione dei grani e aumentare di conseguenza la resistenza ciclica del terreno trattato. In entrambi i casi è stata richiesta la realizzazione preliminare di campi prova per valutare l'efficacia dei trattamenti (capacità delle miscele iniettate di permeare il terreno e cementarlo) e per il dimensionamento degli interventi.

Infine, la difficoltà di realizzare interventi nel sottosuolo per l'adiacenza di edifici ha comportato in un caso la necessità di ricorrere al solo rinforzo delle fondazioni superficiali esistenti.

In sintesi possiamo affermare che la scelta degli interventi di mitigazione del rischio di liquefazione per la ricostruzione post sisma nelle aree depocentrali dei terremoti emiliani del 2102 è stata fortemente condizionata dai costi e dalla difficoltà di progettazione e realizzazione, in particolare per la presenza di edifici adiacenti e per la difficoltà di iniettare malte cementizie o miscele chimiche nei terreni da trattare (sabbie limose).

ALTRE INIZIATIVE

Fenomeni di liquefazione sismoindotta in Italia sono noti da tempo (Galli, 2000) ma in nessuno dei forti terremoti recenti si sono manifestati effetti così diffusi e numerosi come quelli osservati in occasione della sequenza sismica emiliana del 2012.

Perciò le aree epicentrali delle scosse del 20 e 29 maggio 2012 sono diventate un laboratorio d'interesse internazionale per approfondimenti sul rischio di liquefazione, nella realizzazione dei quali il Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione è coinvolto attivamente.

L'INGV a Mirabello (FE), una delle aree maggiormente interessate dai fenomeni di liquefazione, ha realizzato un test durante il quale, tramite esplosioni controllate, ha riprodotto la liquefazione. Grazie a strumenti di monitoraggio collocati a varie profondità nel sottosuolo, in sondaggi appositamente predisposti, è stato possibile registrare gli effetti e stimare i parametri geotecnici. I risultati preliminari sono presentati in Amoroso *et al.* (2017).

Nell'ambito del programma europeo Horizon 2020 (Research and Innovation Action) è stato approvato il progetto LIQUEFACT "*Assessment and mitigation of liquefaction potential across Europe: a holistic approach to protect structures / infrastructures for improved resilience to earthquake-induced liquefaction disasters*" (http://www.liquefact.eu/). Tale progetto, iniziato nel maggio 2016 e che si concluderà ad ottobre 2019, ha come obiettivo la mitigazione del rischio di liquefazione nei paesi europei attraverso un approccio olistico, vale a dire con un'analisi integrata delle condizioni di pericolosità sismica locale, vulnerabilità delle costruzioni e resilienza delle comunità. Tra i prodotti attesi di maggiore interesse è la redazione di linee guida per l'analisi del rischio, la realizzazione di interventi di mitigazione e altre indicazioni per attività di prevenzione; si prefigura quindi che i risultati possano essere di interesse non solo europeo ma mondiale. Per conseguire tale obiettivo sono previsti studi sperimentali pilota in aree test individuate nei paesi partecipanti al progetto maggiormente esposti al rischio di liquefazione, vale a dire in Grecia, Turchia, Portogallo e Italia. Nel nostro paese la zona scelta per tali studi è l'area epicentrale della sequenza sismica emiliana 2012.

A Cavezzo (MO) è in corso uno studio pilota di microzonazione sismica il cui scopo, oltre a produrre la microzonazione del territorio comunale, è quello di testare le attuali procedure regionali e nazionali, realizzare specifici approfondimenti ed eventualmente proporre aggiornamenti e/o nuove tecniche di studio.

A Pieve di Cento (BO) è in corso un campo prova dove sarà nuovamente indotta, in condizioni controllate, la liquefazione; nel sito saranno realizzati anche interventi di mitigazione del fenomeno di cui sarà testata l'efficacia durante la manifestazione del fenomeno, tramite prove geotecniche pre e post, in sito e in laboratorio, e sensori di monitoraggio posti a varie profondità nel sottosuolo, in sondaggi appositamente predisposti.

Inoltre, i centri abitati dove sono stati rilevati i maggiori effetti di liquefazione saranno oggetto di accurate analisi di pericolosità locale e caratteristiche costruttive delle costruzioni al fine di valutare il rapporto tra effetti e danni osservati e condizioni di vulnerabilità pre evento.

Per la realizzazione degli studi sopra indicati sono stati sottoscritti specifici accordi di collaborazione tra gli Enti Locali interessati e gli istituti di ricerca universitari italiani afferenti al progetto.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Per la ricostruzione post sisma 2012, visti i diffusi effetti ambientali (amplificazione e liquefazione) fin da subito è apparso necessario realizzare studi di microzonazione sismica che individuassero le aree suscettibili di amplificazione e liquefazione e ne definissero l'entità. La disponibilità di linee guida condivise a livello nazionale ha permesso di realizzare questi studi in tempi rapidi. Le indagini e gli studi successivi hanno sostanzialmente confermato la microzonazione sismica realizzata per la ricostruzione (OC 70/2012) e quindi anche l'efficacia degli indirizzi regionali e nazionali all'epoca disponibili (AGI, 2005; DAL 112/2007; ICMS, 2008).

La valutazione degli effetti osservati, la conferma dell'estensione delle aree suscet-

ANTEPRIMA

tibili di liquefazione e della possibilità di ripetizione di fenomeni di liquefazione in caso di nuove forti scosse hanno indirizzato le Autorità preposte alla ricostruzione ad avviare specifiche iniziative. Riconoscendo infatti che terreno di fondazione, fondazioni e struttura in elevazione costituiscono un unico sistema, per la prima volta in Italia sono stati resi disponibili contributi economici e indirizzi tecnici per la ricostruzione post sisma anche per il consolidamento del sottosuolo di fondazione e la mitigazione del rischio di liquefazione.

Per favorire la progettazione e realizzazione degli interventi di riduzione degli effetti di liquefazione sono state pubblicate linee guida sulle indagini da realizzare e sulla documentazione tecnica da produrre a supporto della richiesta di contributi.

Gli studi di microzonazione sismica e le indagini per i progetti di ricostruzione hanno fornito una grande quantità di nuovi dati, oggi archiviati nelle banche dati GIS del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione.

La particolarità degli effetti ambientali osservati in occasione della sequenza sismica emiliana 2012 ha reso la pianura modenese e ferrarese un laboratorio d'interesse internazionale per approfondimenti sul rischio di liquefazione. La finalità di tali studi, oltre ad analizzare il fenomeno e i suoi effetti, è produrre linee guida per interventi di mitigazione degli effetti di liquefazione e migliorare la resilienza delle comunità residenti in aree esposte a tale rischio (v. ad es. progetto LIQUEFACT).

BIBLIOGRAFIA

AGI (2005), *Linee Guida su Aspetti Geotecnici della Progettazione in Zona Sismica*, Patron Editore, Bologna

Amoroso S., Milana G., Rollins K. M., Comina C., Minarelli L., Manuel M. R., Monaco P., Franceschini M., Anzidei M., Lusvardi C., Cantore L., Carpena A., Casadei S., Cinti F. R., Civico R., Cox B. R., De Martini P. M., Di Giulio G., Di Naccio D., Di Stefano G., Facciorusso J., Famiani D., Fiorelli F., Fontana D., Foti S., Madiai C., Marangoni V., Marchetti D., Marchetti S. L., Martelli L., Mariotti M., Muscolino E., Pancaldi D., Pantosti D., Passeri F., Pesci A., Romeo G., Sapia V., Smedile A., Stefani M., Tarabusi G., Teza G., Vassallo M., Villani F. (2017), *The first Italian blast-induced liquefaction test (Mirabello, Emilia-Romagna, Italy): description of the experiment and preliminary results*. Annals of Geophysics, 60, 5, 2017; S0556; doi: 10.4401/ag-7415

Calabrese L., Martelli L., Severi P. (2012), *Stratigrafia dell'area interessata dai fenomeni di liquefazione durante il terremoto dell'Emilia (maggio 2012)*. Atti del 31° Convegno del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Potenza, 20-22 novembre 2012, sessione 2.2, 119-126.

Colombi A., Roversi M., Pallara E. (2015), *Intervento di compaction grouting su un edificio residenziale danneggiato dal sisma emiliano del 2012 a San Carlo (FE) per la mitigazione del rischio di liquefazione: primi risultati di un campo prova*. Atti del 34° Convegno del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Trieste, 17-19 novembre 2015, sessione 2.3, 230-238.

Crespellani T., Facciorusso J., Ghinelli A., Madiai C., Renzi S., Vannucchi G. (2012), *Rapporto preliminare sui diffusi fenomeni di liquefazione verificatisi durante il terremoto in Pianura Padana emiliana del maggio 2012*. http:// ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/liquefazione-gruppo-di-lavoro

CT (2015), *Microzonazione sismica. Standard di rappresentazione e archiviazione informatica. Versione 4.0b*. Commissione tecnica per la microzonazione sismica. Roma, ottobre 2015. http://www.protezionecivile.gov.it/jcms/it/standard_studi_ms.wp

D'Attoli M., Navi F., Occhi A., Gualerzi D., Occhi M. (2015), *Liquefazione dei terreni in condizioni sismiche: metodo PRELIMITTM per la mitigazione del rischio mediante iniezioni chimiche ecocompatibili*. Atti del 34° Convegno del Gruppo Nazionale di Geofisica della Terra Solida, Trieste, 17-19 novembre 2015, sessione 2.3, 239-245.

DAL 112/2007: Deliberazione dell'Assemblea Legislativa della Regione Emilia-Romagna n.112 del 2/5/2007: *Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art.16 comma 1, della L.R. 20/2000 per "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica"*. Boll. Uff. Reg. Emilia-Romagna n. 64 del 17/05/2007. http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/

DD 12418/2012: *Approvazione degli elaborati cartografici concernenti la delimitazione delle aree nelle quali si sono manifestati gravi effetti di liquefazione a seguito degli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 e degli indirizzi per interventi di consolidamento dei terreni*. Determinazione del Dirigente del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna n. 12418 del 02/10/2012. http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/speciale-terremoto/ interventi-per-la-ricostruzione-e-la-ripresa

DD 1105/2014: *Approvazione di "Indicazioni sulla documentazione tecnica da produrre a supporto della richiesta di contributi per interventi di consolidamento del terreno di fondazione in caso di riparazione, ripristino con miglioramento sismico o demolizione e ricostruzione di edifici dichiarati inagibili che abbiano riportato danni da liquefazione, a seguito della sequenza sismica che ha interessato la pianura emiliana nel maggio-giugno 2012"*. Determinazione del Dirigente del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna n. 1105 del 03/02/2014. http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/speciale -terremoto/interventi-per-la-ricostruzione-e-la-ripresa

DGR 2193/2015: *Deliberazione della Giunta della Regione Emilia Romagna n. 2193 del 21 dicembre 2015: "Art. 16 della L.R. n. 20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'Atto di coordinamento tecnico denominato «Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica» di cui alla Deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112"*. Bollettino Ufficiale della Regione Emilia-Romagna n. 4 del 8 gennaio 2016 (parte seconda). http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/gli-indirizzi-per-gli-studi-di-microzonazione-sismica-in-emilia-romagna-per-la-pianificazione-territoriale-e-urbanistica

Facciorusso J., Madiai C., Vannucchi G. (2012), *Rapporto sulla risposta sismica locale e pericolosità di liquefazione a S. Carlo e Mirabello*. http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/liquefazione-gruppo-di-lavoro

Facciorusso J., Madiai C., Vannucchi G. (2015), *CPT-Based Liquefaction Case History from the 2012 Emilia Earthquake in Italy*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Volume 141 Issue 12 - December 2015 https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001349

Facciorusso J., Madiai C., Vannucchi G. (2016), *The 2012 Emilia earthquake (Italy): geotechnical characterization and ground response analyses of the paleo-Reno river levees*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Vol. 86, 71-88, doi:10.1016/j.soildyn.2016.04.017

Fioravante V., Giretti D. (2012), *Il caso di Sant'Agostino-San Carlo*. http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/liquefazione-gruppo-di-lavoro

Galli P. (2000), *New empirical relationships between magnitude and distance for liquefaction*. Tectonophysics, 324: 169-187.

ICMS (2008), *Indirizzi e criteri generali per la microzonazione sismica*. A cura del Gruppo di lavoro MS 2008. Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione Civile. Roma, 3 vol. e 1 Cd-rom.

Idriss I.M., Boulanger R.W. (2008), *Soil liquefaction during earthquakes*. Monograph MNO-12, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 261 pp.

Madiai C., Vannucchi G., Baglione M., Martelli L., Veronese T. (2016), *Utilizzo di prove penetrometriche statiche a punta meccanica per la stima del potenziale di liquefazione*. Rivista Italiana di Geotecnica, vol. 3, 14-24. ISSN:0557-1405

Martelli L., Romani M. (a cura di) (2013), *Microzonazione Sismica e analisi della condizione limite per l'emergenza delle aree epicentrali dei terremoti della pianura emiliana di maggio-giugno 2012 (Ordinanza del Commissario Delegato – Presidente della Regione Emilia-Romagna n. 70/2012)*. http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/temi/sismica/speciale-terremoto/sisma-2012-ordinanza-70-13-11-2012-cartografia

Romeo R. W. (2012), *Terremoto dell'Emilia del 20 maggio 2012 (m 5.9): insoliti fenomeni di liquefazione. Emilia (Italy) M5.9 earthquake on 20 May 2012: an unusual pattern of liquefaction*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 2 (2012), 75-84. DOI: 10.4408/IJEGE.2012-02.0-06

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) (2016), *CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15

Tonni L., Gottardi G., Amoroso S., Bardotti R., Bonzi L., Chiaradonna A., D'onofrio A., Fioravante V., Ghinelli A., Giretti D., Lanzo G., Madiai C., Marchi M., Martelli L., Monaco P., Porcino D., Razzano R., Rosselli S., Severi P., Silvestri F., Simeoni L., Vannucchi G., Aversa S. (2015), *Analisi dei fenomeni deformativi indotti dalla sequenza sismica emiliana del 2012 su un tratto di argine del Canale Diversivo di Burana (FE)*. Rivista Italiana di Geotecnica, 2015, 49 n. 2, 28 – 58. ISSN 0557-1405

ANTEPRIMA

La gestione dei rifiuti da disastro in Italia: analisi di recenti casi di studio

Disaster waste management in Italy: analysis of recent case studies

Francesca Lucignano
Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile
E-mail: francesca.lucignano@protezionecivile.it

Roberto Pizzi
Presidenza del Consiglio dei Ministri - Dipartimento della Protezione Civile
E-mail: roberto.pizzi@protezionecivile.it

Parole chiave (*key words*): Emergenza (*Emergency*), disastro (*disaster*), macerie (*debris*), rifiuti (*waste*), recupero (*recycling*), smaltimento (*disposal*)

1. DISASTRI E RIFIUTI DA DISASTRO: UN BINOMIO (FINORA) INSCINDIBILE

Tra le numerose conseguenze sociali e ambientali di ogni evento calamitoso grave, specialmente terremoti e alluvioni, rientrano senza dubbio anche i materiali, fortemente eterogenei e spesso quantitativamente consistenti, comunemente definiti macerie.

Nella maggior parte dei casi, tali materiali, ai sensi della vigente normativa nazionale in materia ambientale, che non prevede particolari procedure da attuare in situazioni di emergenza, sono da considerare rifiuti e come tali devono essere gestiti. I rifiuti da disastro, oltre ad ostacolare le attività di soccorso e di ricerca dei dispersi e la ripresa socio- economica del territorio colpito, possono rappresentare una minaccia per la salute e l'ambiente se non correttamente gestiti, tenuto conto che i quantitativi in gioco possono raggiungere cifre dell'ordine dei milioni di tonnellate, impattando fortemente sul sistema ordinario di gestione.

Inoltre, pur trattandosi di materiali costituiti in gran parte da rifiuti classificabili come inerti, essi contengono materiali speciali e pericolosi, senza possibilità di escludere a priori anche quelli radioattivi, rifiuti ingombranti, apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE), ma anche beni ed effetti personali, materiali architettonici di pregio, beni artistici o loro parti. Specialmente per queste ultime frazioni merceologiche, per evidenti motivi, deve potersi immaginare un percorso specifico di recupero, che rende particolarmente complesso l'intero processo di gestione dei rifiuti, specialmente nell'ottica di garantire tempi certi per la chiusura della fase di emergenza e l'avvio di quella di ricostruzione.

Tuttavia anche questi rifiuti, al pari di quelli urbani, possono costituire non solo un mero problema, ma una possibile risorsa, anche ai fini della ricostruzione e nell'ottica del "Building Back Better". Negli ultimi anni si è pertanto posta l'attenzione, sia a livello nazionale che internazionale, sulla necessità di una opportuna pianificazione anche in tale ambito, così da garantire la corretta gestione dei rifiuti da disastro (Disaster Waste Management - DWM), tenendo comunque conto del triplo vincolo costituito dal rispetto dei tempi di ricostruzione, delle risorse finanziarie dedicate all'emergenza e della necessità di garantire, contestualmente, un elevato livello di protezione ambientale.



Figura 1 – Il palazzo della Prefettura dell'Aquila dopo il sisma del 6 aprile 2009)

Tale compito rientra pienamente nel mandato attribuito dalla vigente normativa nazionale al Servizio Nazionale della Protezione Civile (SNPC), che è stato istituito con l'espressa finalità di tutelare non solo l'integrità della vita, i beni e gli insediamenti dai danni o dal pericolo di danni derivanti da calamità naturali, da catastrofi e da altri eventi calamitosi, ma anche l'ambiente. Nel presente lavoro, dopo aver illustrato i tre casi di studio italiani più recenti e significativi in tema di DWM (sisma Abruzzo 2009, sisma Emilia Romagna 2012 e sisma Centro Italia 2016), si descrive il quadro concettuale di riferimento derivato dall'analisi degli eventi suddetti e si delineano le prospettive di sviluppo di un modello di maturità dedicato alla gestione dei rifiuti da disastro.

2. CASI DI STUDIO

2.1. Il sisma Abruzzo 2009

Il sisma di magnitudo 5,9 del 6 aprile 2009 e le successive repliche hanno causato ingenti danni alle strutture pubbliche e private e al patrimonio artistico e culturale della parte settentrionale della provincia dell'Aquila, provocando oltre 300 morti, più di 1.500 feriti e quasi 70.000 persone da assistere ed alloggiare. Tra le diverse problematiche alle quali il SNPC ha dovuto far fronte, la gestione delle macerie derivanti sia dal crollo degli edifici pubblici e privati (*Fig.* 1), che dalle necessarie demolizioni dei fabbricati ormai strutturalmente compromessi dei rifiuti è stata di particolare rilievo.

Allo scopo di fronteggiare l'emergenza, il Dipartimento della Protezione Civile ha costituito in L'Aquila la Direzione di Comando e Controllo (DICOMAC), suddivisa per funzioni di supporto, tra le quali, per la prima volta, anche la Funzione Tutela Ambientale ai fini di coordinare gli interventi per risolvere le problematiche di carattere ambientale. La Funzione è stata partecipata da rappresentanti del Dipartimento della Protezione Civile, della Regione Abruzzo, della Provincia dell'Aquila, dell'Agenzia Regionale per la Tutela dell'Ambiente, dell'Azienda Sanitaria Locale e del Nucleo Operativo Ecologico dei Carabinieri.

In Bozza

2.1.1. Fase di gestione dell'emergenza

La rimozione delle macerie si è presentata sin da subito come un'operazione molto complessa, sia per la quantità che per la disomogeneità dei materiali da trattare. Peraltro, questa emergenza è stata la prima durante la quale ci si è dovuti confrontare con il dettato del D. Lgs. n. 152/2006, rispetto al quale, come detto, i materiali da crolli e demolizioni devono essere considerati rifiuti, almeno in prima istanza.

Il volume di materiali da gestire è stato valutato pari a circa 1,5 milioni di metri cubi. Da un punto di vista qualitativo, è stato estremamente difficile poter definire ex ante la natura dei rifiuti, sebbene si è ritenuto ragionevole assumere che il materiale fosse composto almeno per il 70% da inerti, a loro volta composti da aggregati multimateriali. L'articolo 9 del D. L. 39/2009, convertito in L. 77/2009, ha fornito il quadro generale degli interventi, compresi quelli afferenti al DWM, necessari per far fronte alla difficile situazione emergenziale. Il quadro normativo è stato poi implementato tramite una serie di Ordinanze del Presidente del Consiglio dei Ministri.

In base al quadro normativo emergenziale suddetto, i rifiuti derivanti da crolli e demolizioni e da ristrutturazioni immobiliari sono stati distinti, in un primo momento, in tre flussi principali (descritti di seguito), ovvero: rifiuti derivanti da crolli e demolizioni, rifiuti prodotti a seguito delle ristrutturazioni immobiliari, rifiuti derivanti da lavori di piccola entità.

A) Rifiuti derivanti da crolli e demolizioni (*Fig.* 2).

Si tratta di quei materiali derivanti dagli effetti della sequenza sismica e dagli abbattimenti determinati con Ordinanze sindacali o da interventi di somma urgenza e soccorso tecnico, coordinati dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco. A questa tipologia di materiali e limitatamente alle fasi di rimozione e trasporto, è stata assegnata la qualifica di rifiuti urbani e il codice CER 20.03.99 ("rifiuti urbani non specificati altrimenti"), in deroga alla normativa vigente, considerata l'impossibilità di attribuire un codice che potesse identificare con certezza la massa eterogenea costituita non solo da rifiuti inerti, ma anche da arredi, apparecchiature elettriche ed elettroniche, attrezzature e beni presenti negli edifici al momento del sisma.

Per la loro gestione, i Comuni, in qualità di produttori del rifiuto, hanno avuto il compito di individuare ed allestire appositi siti di deposito temporaneo, con propri provvedimenti. Presso i depositi temporanei dovevano essere effettuati anche la cernita dei materiali, la suddivisione in partite omogenee e la classificazione con codici CER appropriati. Tali materiali dovevano poi essere inviati prioritariamente a recupero e, in subordine, a smaltimento.

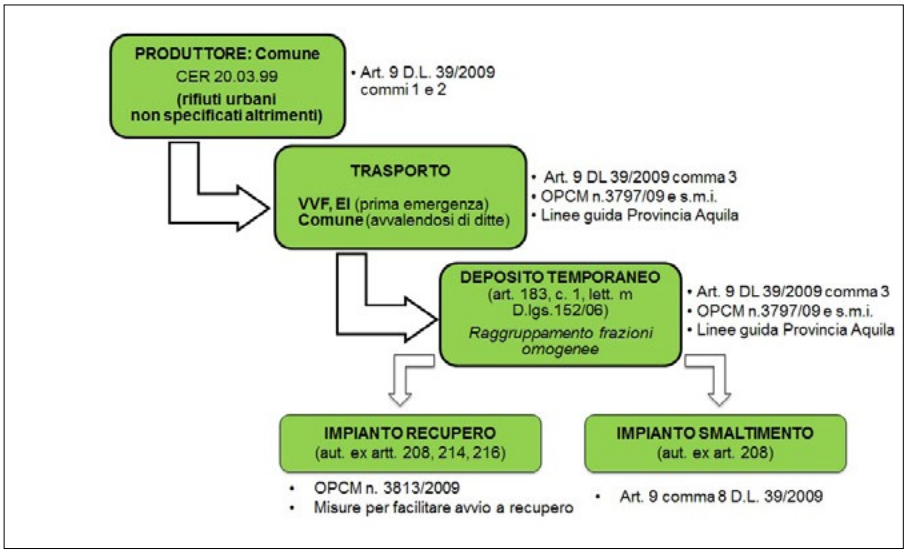


Figura 2 – DWM sisma Abruzzo - diagramma sintetico di flusso dei rifiuti derivanti da crolli e demolizioni)

Da un punto di vista operativo, la rimozione e il trasporto di questo flusso ai siti di deposito temporaneo, in un primo momento operati esclusivamente dal Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco in considerazione dell'esigenza di provvedere al completamento degli interventi di messa in sicurezza degli edifici, poteva essere affidata dai Comuni a ditte in possesso dei necessari titoli abilitativi, ovvero iscritte all'Albo nazionale dei gestori dei rifiuti in specifiche categorie. Gli adempimenti relativi alla raccolta e al trasporto dei rifiuti derivanti da crolli e demolizioni e la realizzazione e la gestione del sito di deposito temporaneo sono stati oggetto di apposite linee guida della Provincia dell'Aquila e dell'ARTA Abruzzo. Le spese gestionali dovevano essere rendicontate dai Comuni al Commissario delegato per la successiva liquidazione, al netto degli eventuali ricavi derivanti dall'avvio a recupero dei materiali. Per la rimozione delle macerie derivanti dal crollo o dall'abbattimento di edifici monumentali o sottoposti a vincoli artistici o architettonici, gli interventi dovevano essere eseguiti esclusivamente a seguito di apposita disposizione liberatoria concessa da parte di personale incaricato dal Vice Commissario delegato per i beni culturali.

B) Rifiuti prodotti a seguito delle ristrutturazioni immobiliari (*Fig.* 3).

Per ciò che concerne la seconda filiera, le imprese e le ditte che eseguivano i lavori per conto dei privati cittadini dovevano possedere i requisiti di legge per la gestione dei rifiuti, in primis l'iscrizione all'Albo nazionale dei gestori ambientali per le categorie di riferimento. I costi sostenuti rientravano a pieno titolo nei contributi per le ristrutturazioni e le ricostruzioni concessi per gli edifici danneggiati, considerato che l'elenco prezzi delle attività di ricostruzione comprendeva anche le voci afferenti allo smaltimento dei materiali derivanti dalle demolizioni.

A tal proposito, è stata predisposta una specifica procedura che prevedeva una dichiarazione di stima del quantitativo in volume e in peso e i relativi codici CER dei rifiuti derivanti da demolizioni da avviare a recupero/smaltimento. Tale dichiarazione doveva essere allegata sia al preventivo di spesa, redatto e firmato dalla ditta che eseguiva i lavori, sia

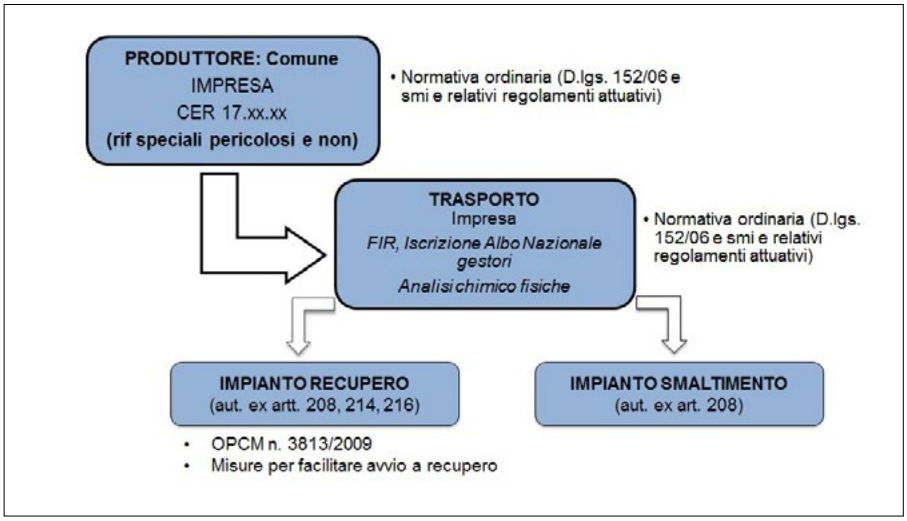


Figura 3 – DWM sisma Abruzzo - diagramma sintetico di flusso dei rifiuti prodotti a seguito delle ristrutturazioni immobiliari

ANTEPRIMA

alla perizia del professionista abilitato che attestava il danno subito e la sua congruità rispetto ai documenti di spesa. La liquidazione delle spese avveniva a seguito di presentazione di idonea documentazione, ovvero fatture e FIR (formulari di identificazione dei rifiuti), attestanti l'avvenuto corretto conferimento dei rifiuti presso gli impianti autorizzati.

La procedura descritta era finalizzata anche a garantire la tracciabilità dei rifiuti e l'effettivo e regolare recupero/smaltimento degli stessi, limitando fortemente fenomeni di abbandono incontrollato sul territorio.

C) Rifiuti derivanti da lavori di piccola entità (*Fig.* 4).

Per ciò che attiene alla terza filiera, trattandosi di una fattispecie che non prevedeva il ricorso a imprese o ditte abilitate alla gestione dei rifiuti, il produttore era il proprietario dell'immobile e il circuito del recupero/smaltimento era quello previsto dai rispettivi regolamenti comunali, con conferimento, entro i limiti quantitativi previsti dalla normativa derogatoria emergenziale, presso centri di raccolta o ritirati a domicilio, oppure tramite altre forme organizzative stabilite dai Comuni o dall'Azienda affidataria del servizio di gestione dei rifiuti urbani.

I tre flussi di rifiuti sopra descritti confluivano principalmente nel circuito del recupero e, solo secondariamente, in quello dello smaltimento. In particolare, le principali frazioni recuperabili sono state gli inerti, secondariamente i metalli ferrosi e non ferrosi e, in misura minore, le plastiche. Una frazione residuale non recuperabile è stata destinata a smaltimento.

Dopo un primo periodo di analisi territoriale particolarmente laborioso, anche in conseguenza dei vincoli imposti dalla normativa ambientale e dalle peculiari caratteristiche dei luoghi, il Comune dell'Aquila, con delibera del 19 maggio 2009, ha individuato la cava ex Teges in località Pontignone-Paganica, quale primo sito di deposito temporaneo delle macerie. Il Comune dell'Aquila ha affidato all'azienda municipale ASM SpA la gestione del sito in cui veniva eseguita la raccolta dei rifiuti da crolli e demolizioni e la successiva selezione in flussi omogenei. Nel sito ex Teges sono stati raccolti e recuperati anche gli eventuali beni personali rinvenuti e separati i materiali pericolosi presenti.

2.1.2. Fase di superamento dell'emergenza

Con il D. L. 195/2009, convertito in L. 26/2010, il Presidente della Regione Abruzzo ha assunto le funzioni di Commissario Delegato per la ricostruzione dei territori colpiti dal sisma, operando in sostituzione del Capo del Dipartimento della Protezione Civile e ha provveduto a dotarsi di una propria struttura di coordinamento dell'emergenza. Nell'ambito di tale struttura, un tavolo tecnico è stato dedicato alla gestione delle macerie e partecipato dal Vice Commissario delegato, dai dirigenti della Regione, della Provincia, del Comune dell'Aquila, da rappresentanti del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, della ASL dell'ARTA Abruzzo. Al Commissario delegato è stato affidato il compito di predisporre ed approvare un apposito piano per la gestione delle macerie (oltre che delle terre e rocce da scavo) derivanti dagli interventi di prima emergenza, individuando i siti e gli impianti idonei allo scopo.

Da un punto di vista operativo, è stato modificato il sistema di DWM impostato in fase di emergenza, prevedendo l'allestimento di sette "punti di conferimento" all'interno della cosiddetta "area rossa", ovvero la zona interdetta alla popolazione, o nelle immediate vicinanze. In questi punti si è operata una prima selezione del materiale pericoloso, del materiale pregiato di interesse architettonico e delle frazioni da avviare alle successive fasi di recupero. Nel sito ex Teges continuava ad essere eseguita l'attività di deposito temporaneo in forma di stoccaggio provvisorio (R13) e il materiale inerte veniva sottoposto ad un'ulteriore selezione manuale, ad analisi chimico-fisiche, alla triturazione con successiva separazione meccanica, prima di essere avviato al riutilizzo. L'allestimento dei suddetti punti di conferimento è stato affidato all'ASM SpA, che aveva anche il compito di vigilare sulla corretta gestione delle procedure. Tutte le attività sono state individuate e definite d'intesa con il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, con particolare riferimento agli interventi di ripristino ambientale della cava ex Teges, finalizzati alla destinazione a parco pubblico a conclusione dell'utilizzo dell'area.

Il ciclo di selezione, valorizzazione e recupero delle macerie è stato sviluppato in collaborazione con l'Università dell'Aquila, l'Istituto Superiore di Sanità, il CNR, il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, l'ARTA Abruzzo, l'ISPRA, la SOGESID SpA e l'ASM SpA, attraverso la definizione di specifici protocolli tecnici. Il 29 giugno 2011, il Commissario delegato per la ricostruzione ha nominato un Soggetto Attuatore responsabile dell'organizzazione delle attività di gestione dei rifiuti derivanti dai crolli degli edifici pubblici e privati, nonché dalle demolizioni e dagli interventi di riparazione e ricostruzione. A seguito di tale nomina, sono state anche introdotte importanti novità nell'ambito del DWM con l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3923/2011 e con la successiva OPCM 4014/2012. In particolare, è stata introdotta una più chiara distinzione tra la filiera delle macerie pubbliche e quella delle macerie appartenenti all'ambito privato. Inizialmente, infatti, le ordinanze di protezione civile avevano lasciato margini interpretativi, con conseguenti rischi di violazioni di norme e difficoltà di applicazione che, di fatto, hanno frenato in modo significativo l'avvio ed il consolidamento del quadro misto pubblico-privato.

Il Soggetto attuatore ha successivamente elaborato il piano di gestione delle macerie, al fine di fornire gli strumenti tecnico-operativi per la loro corretta gestione, adottando iniziative volte a limitare il volume dei rifiuti da trattare e a incentivare il recupero dei materiali da impiegare come nuova materia prima. I volumi da movimentare sono stati stimati in circa 2.500.000 mc, di cui 800.000 mc relativi alla filiera pubblica e 1.700.000 mc riguardanti la filiera privata (*Fig.* 5).

Al fine di controllare i dati sulla quantità totale di macerie rimosse e su quelle ancora da movimentare, è stato messo a punto un apposito sistema di monitoraggio che ha permesso di stimare lo stato di avanzamento dell'attività in tempo reale. Il sistema era composto da due strumenti di controllo, ri-

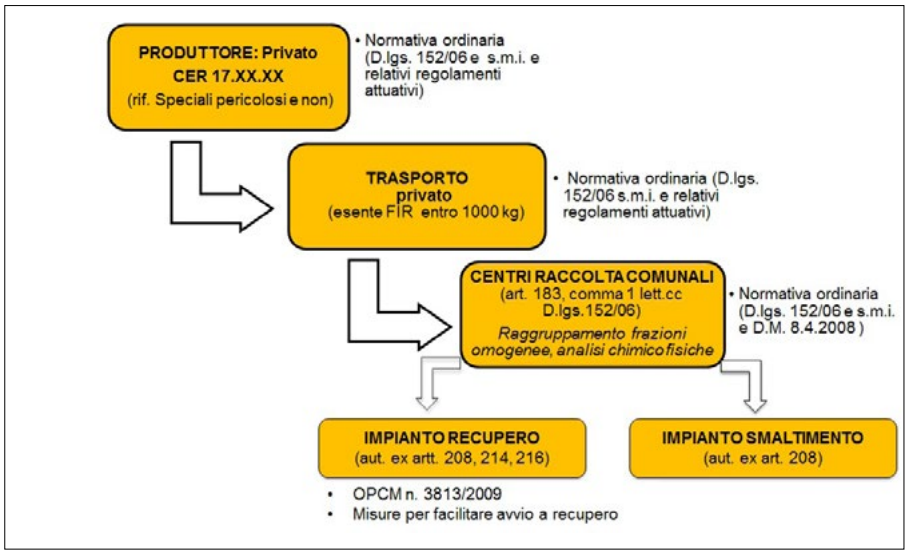


Figura 4 – DWM sisma Abruzzo - diagramma sintetico di flusso dei rifiuti derivanti da lavori di piccola entità)

Il Boxa

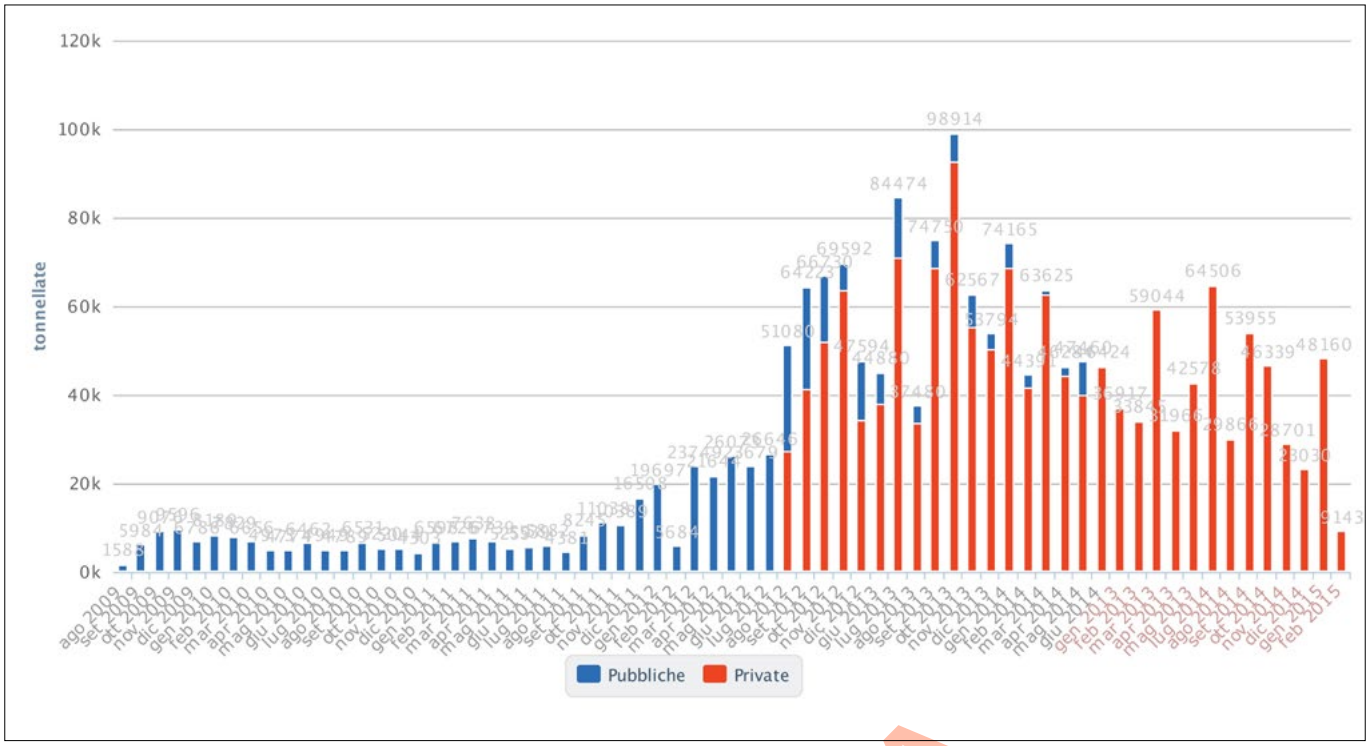


Figura 5 – DWM sisma Abruzzo - grafico dei rifiuti rimossi. Fonte: www.commissarioperlaricostruzione.it)

spettivamente per la gestione delle macerie della filiera pubblica e per la gestione delle macerie della filiera privata, basato su un sistema informatico, integrato con dispositivo "on board" per i mezzi di trasporto privati.

2.2. Il sisma Emilia Romagna 2012

Nel maggio 2012 si è verificata una serie di eventi sismici localizzati nelle province di Modena, Ferrara, Bologna e Mantova. La scossa più forte (magnitudo 5.9) è avvenuta il 20 maggio con epicentro in Finale Emilia. A seguito del sisma hanno perso la vita 29 persone e circa 390 sono rimaste ferite. Le persone direttamente assistite ed ospitate in campi di accoglienza, alberghi o strutture al coperto sono state oltre 16.000. L'area colpita è notoriamente una zona con un elevato grado di industrializzazione, agricoltura molto sviluppata e alto tasso di occupazione, dove si produce circa il 2% del PIL nazionale. Dall'esito delle verifiche di agibilità eseguite su circa 39.000 edifici, è emerso che, di quelli ad uso abitativo, circa il 18% risultava temporaneamente o parzialmente inagibile, il 36% inagibile, il 5% inagibile per rischio esterno (*Fig.* 6).

A seguito della dichiarazione dello stato di emergenza, è stato definito il quadro delle disposizioni normative emergenziali con il D.L. 74/2012, convertito in Legge 122/2012. In particolare, con l'Ordinanza del Capo del Dipartimento della Protezione Civile (OCDPC) 3/2012 è stata istituita una Direzione di Comando e Controllo presso l'Agenzia regionale di protezione civile della Regione Emilia Romagna, quale organismo di coordinamento delle componenti e strutture operative del Servizio Nazionale della Protezione Civile.

Contrariamente a quanto disposto per la gestione del sisma Abruzzo del 2009, non è stata istituita una Funzione Tutela Ambientale, poiché le connesse problematiche sono state seguite, sin dalle prime fasi, dal Presidente della Regione Emilia Romagna in qualità di Commissario delegato.

Al fine di garantire la rimozione in tempi rapidi delle macerie derivanti dai crolli degli edifici e quelle derivanti dalle attività di demolizione e abbattimento di strutture pericolanti, il D.L. 74/2012 ha definito diverse disposizioni urgenti anche in campo ambientale. In particolare sono state individuate deroghe alla disciplina relativa alla gestione dei rifiuti e alle disposizioni in tema di Autorizzazione Integrata Ambientale. In primo luogo, è stato stabilito che i materiali derivanti dal crollo parziale o totale degli edifici, nonché quelli derivanti dalle attività di demolizione e abbattimento degli edifici pericolanti, disposti dai Comuni interessati dagli eventi sismici, nonché da altri soggetti competenti o comunque svolti su incarico dei medesimi Comuni, dovevano essere classificati, in deroga alla normativa vigente e in analogia al caso del sisma aquilano, come rifiuti urbani con codice CER 20.03.99, limitatamente alle fasi di raccolta e trasporto da effettuarsi verso impianti di deposito temporaneo.

Il D.L. 74/2012 ha individuato otto impianti presso i quali conferire i rifiuti, garantendo la possibilità di trasportarvi i rifiuti prodotti anche in ambiti territoriali diversi, senza necessità di preventivo accordo tra province interessate, in deroga all'autorizzazione vigente e senza lo svolgimento di analisi preventive. Tali impianti sono stati autorizzati ex lege ad effet-



Figura 6 – La torre dei Modenesi di Finale Emilia, dopo la prima scossa del 20 maggio 2012)

BOZZA

tuare operazioni di deposito preliminare (D15), messa in riserva (R13), nonché operazioni di selezione meccanica e cernita (D13 e R12) mediante impianti mobili a titolarità propria o di imprese terze convenzionate, anche in deroga a quanto previsto dalla Parte Seconda del D. Lgs. 152/2006 e dall'art. 208 del citato decreto. I gestori sono stati obbligati a predisporre specifiche registrazioni dei flussi di rifiuti in ingresso ed in uscita dagli impianti, per garantire la tracciabilità dei rifiuti conferiti, e a provvedere alla selezione e cernita delle matrici recuperabili, dei rifiuti pericolosi e dei RAEE, nonché il loro avvio a smaltimento/recupero.

Il decreto legge poneva un limite alle deroghe e alle procedure individuate, in quanto disponeva espressamente il rinvio alla disciplina ordinaria nelle situazioni in cui sarebbe stato possibile effettuare una raccolta selettiva in condizioni di sicurezza. Venivano comunque esclusi dall'ambito derogatorio i materiali costituiti da lastre o materiale da coibentazione contenente amianto, se facilmente individuabili, i quali dovevano essere rimossi secondo modalità specificate dal decreto legge stesso. La normativa emergenziale ha inoltre previsto la possibilità di stipulare appositi accordi con privati per la messa a disposizione di mezzi idonei alla rimozione e trasporto dei rifiuti qualora i gestori del servizio pubblico non ne fossero stati in possesso. Le successive circolari e ordinanze emanate dal Commissario delegato hanno delineato nel dettaglio l'iter procedurale per le diverse fasi (operative, gestionali ed economiche), sintetizzabile come segue.

a) Istanza di rimozione: ai sensi della Circolare 2/12, I proprietari degli immobili segnalavano ai propri Comuni la necessità di rimozione delle macerie.
b) Sopralluogo in cantiere: sulla base delle segnalazioni, i Sindaci definivano, insieme al gestore del servizio pubblico dei rifiuti, la lista di priorità e valutavano quantità e qualità del materiale da rimuovere.
c) Attività di trasporto: il gestore del servizio pubblico organizza le operazioni di trasporto verso gli impianti; qualora lo stesso non è provvisto dei mezzi necessari, può stipulare accordi dedicati a seguito della consultazione di cinque ditte aventi i requisiti soggettivi previsti dalla normativa vigente per i contratti pubblici, con particolare riferimento alla documentazione antimafia. I provvedimenti di rimozione sono monitorati settimanalmente dalla Direzione generale difesa del suolo della Regione Emilia Romagna.
d) Avvio agli impianti di prima destinazione: il gestore dell'impianto pesa i rifiuti in ingresso e li registra in un apposito registro di impianto. Tali informazioni sono validate via web sia dal trasportatore, sia dal gestore dell'impianto di ricezione.
e) Gestione negli impianti di prima destinazione: una volta giunti all'impianto, i rifiuti sono sottoposti a selezione e trattamento propedeutici alle successive operazioni di recupero. Le informazioni relative ai flussi in ingresso ai depositi temporanei e ai quantitativi dei rifiuti avviati a recupero e smaltimento sono acquisite su base settimanale. È acquisita anche copia del registro di impianto.
f) Atti di liquidazione: inizialmente la Circolare n. 2/12 aveva definito in 50 €/tonnellata quale tetto massimo del costo di gestione complessiva dei rifiuti. Tali costi sono stati rimodulati successivamente, definendo un modello di rendicontazione sia per il trasporto, sia per la successiva fase di trattamento, sia per la fase finale di trasporto ad impianti di recupero/smaltimento. L'ordinanza n. 79/2012 ha poi definito i costi puntuali di gestione per ciascuna delle fasi operative, per un totale di 22 milioni di euro per 656.000 tonnellate di rifiuti.

2.3. Il sisma Centro Italia 2016

Il 24 agosto 2016, alle ore 03:36, un sisma di magnitudo 6.0 ha colpito una vasta porzione della catena appenninica dell'Italia Centrale. La zona interessata dall'evento sismico e dalla successiva sequenza sismica è situata ai confini delle regioni Abruzzo, Lazio, Marche e Umbria, tra i comuni di Norcia e Amatrice (*Fig.* 7). Nel mese di ottobre 2016, la stessa regione è stata colpita da altri due eventi sismici. La scossa del 30 ottobre 2016 di magnitudo 6.5 è la più forte registrata in Italia negli ultimi trent'anni. Le vittime sono state 299. Circa 32.000 persone sono state ospitate in strutture provvisorie o temporanee. Il numero di sopralluoghi per verifiche di agibilità, particolarmente elevato a causa dell'estensione temporale e spaziale della sequenza sismica, è pari a circa 200.000 (dato aggiornato ad agosto 2017). Circa il 44% degli edifici risulta agibile, il 42% circa non agibile a vario titolo, mentre le restanti strutture non hanno ancora una classificazione di agibilità definitiva.

Con la delibera del Consiglio dei Ministri del 25 agosto 2016 è stato dichiarato lo stato d'emergenza per i territori colpiti dai suddetti eventi sismici e, sulla base di quanto previsto all'art. 2 dell'OCDPC 388/2016, è stata istituita la Direzione di Comando e Controllo (DiComaC), con sede a Rieti. Nello specifico, le attività di tutela ambientale sono state coordinate nell'ambito della Funzione di supporto "Tecnica e di Pianificazione".

L'OCDPC 391/2016 (modificata e integrata da successive ordinanze) ha definito le modalità operative relative alla gestione dei materiali prodotti dal crollo degli edifici a seguito del sisma per la prima fase emergenziale. Tale norma è stata condivisa con le Amministrazioni statali, regionali e locali competenti in materia di gestione dei rifiuti. Il percorso delineato con le OCDPC ha tenuto in considerazione le esperienze pregresse, ma ha considerato anche la specificità degli eventi in questione, che hanno interessato un territorio più vasto costituito da numerose frazioni e tipologie di strutture differenti.

Particolare attenzione è stata dedicata anche all'elaborazione di norme di carattere derogatorio (limitatamente alle tempistiche di intervento) per la rimozione dei materiali contenenti amianto. Le OCDPC individuano le Regioni interessate quali soggetti responsabili dell'intera filiera, avvalendosi anche dei Comuni, nei propri ambiti territoriali. In particolare i materiali derivanti dal crollo parziale o totale degli edifici pubblici e privati e quelli derivanti dalle attività di demolizioni e abbattimento degli edifici pericolanti, analogamente a quanto disposto nelle precedenti emergenze sismiche,



Figura 7 – Il centro storico di Amatrice, dopo il terremoto del 24 agosto 2016)

ANTEPRIMA

sono stati classificati come rifiuti urbani con il codice CER 20.03.99, limitatamente alle fasi di raccolta e trasporto ai siti di deposito temporaneo, in deroga all'art. 184 del D. Lgs. 152/2006.

Le operazioni di raccolta e trasporto dei suddetti materiali ai siti di deposito temporaneo sono state affidate alle aziende titolari del servizio di gestione integrata dei rifiuti urbani o a imprese di trasporto incaricate tramite procedura negoziata. Per tali soggetti sono state previste deroghe agli ordinari adempimenti normativi previsti dal D. Lgs. 152/2006 relativamente all'iscrizione all'albo nazionale dei gestori ambientali, ai registri di carico e scarico, al documento di trasporto e al SISTRI. È importante sottolineare che non sono stati considerati rifiuti i resti dei beni di interesse architettonico, artistico e storico separati all'origine e gestiti secondo le disposizioni del Ministero dei Beni Culturali. La suddetta ordinanza ha affidato, inoltre, la vigilanza delle iniziative intraprese all'ARPA e alle AUSL territorialmente competenti.

Altra problematica affrontata è stata quella relativa alla rimozione delle autovetture danneggiate. Anche in questo caso, sulla base dell'esperienza sisma Abruzzo del 2009, è stata avviata una procedura finalizzata a sottoscrivere una convenzione tra Dipartimento della Protezione Civile e Automobile Club d'Italia per attribuire all'ACI la gestione delle attività di censimento, recupero, trasporto e rottamazione dei veicoli distrutti o danneggiati.

Sulla base del disposto normativo emergenziale e di analisi territoriali appositamente condotte, le Regioni hanno individuato siti di deposito temporaneo nei seguenti comuni: Posta e Accumoli (Lazio), Monteprandone, Tolentino, San Ginesio e Arquata del Tronto (Marche), Norcia (Umbria), Montorio Al Vomano e Capitignano (Abruzzo). La gestione di tali siti e il trasporto delle macerie è stato affidato prevalentemente con procedure di gara svolte a cura delle amministrazioni regionali e, in talune circostanze, avvalendosi delle deroghe normative, all'Esercito.

A seguito della sequenza sismica, la Regione Lazio ha stimato che il quantitativo di macerie da gestire è pari a circa 1.300.000 tonnellate, principalmente concentrate nei comuni di Amatrice e Accumoli. Quantità analoghe sono state valutate anche dalla Regione Marche, su un'area però molto più estesa. L'Umbria e l'Abruzzo hanno prodotto valutazioni rispettivamente pari a 100.000 tonnellate e 150.000 tonnellate. Gli interventi di DWM hanno riguardato principalmente le cosiddette "aree rosse" e le macerie classificabili come pubbliche ai sensi della normativa emergenziale suddetta, specialmente per finalità di messa in sicurezza di emergenza e di ripristino della viabilità locale. Resta ancora da gestire la maggior parte dei quantitativi, trattandosi essenzialmente di macerie classificabili come private, la gestione delle quali è pertanto strettamente connessa con l'avvio della fase di ricostruzione.

Nessuna delle quattro Regioni interessate ha finora realizzato un sistema di tracciabilità dei rifiuti pubblici e privati, che possa anche consentire un'informazione al pubblico sull'avanzamento dei lavori di rimozione.

3. UNA POSSIBILE SINTESI CONCETTUALE

I casi di studio riportati, oltre che l'ampia letteratura disponibile a livello internazionale nel settore del DWM, consentono di individuare sia i fattori che predispongono ad una gestione ottimale dei rifiuti da disastro, sia le conseguenze attese a fronte di un determinato quadro organizzativo di riferimento.

Gli eventi calamitosi possono essere considerati come agenti di pressione che impattano in misura differente su specifici contesti sociali e ambientali, a loro volta differenti per disponibilità di risorse, aspetti culturali, governance, sicurezza, livello di sviluppo delle infrastrutture. Se in alcuni contesti il quadro normativo, le strutture organizzative e i meccanismi di finanziamento necessari al sistema generale di risposta all'emergenza non sono ben definiti nell'ambito di un'attività preventiva di pianificazione di ruoli e responsabilità, si è costretti ad operare secondo disposizioni ordinarie o, come visto per i casi analizzati, definire ed implementare sistemi di gestione estemporanei fondati su norme a carattere straordinario.

Ancorchè tali sistemi emergenziali possano rivelarsi efficaci e anche efficienti, la definizione di un nuovo quadro istituzionale e di una struttura organizzativa post-evento si scontra con i tempi molto ridotti tipici delle gestioni emergenziali. Ciò è quanto accaduto soprattutto nel corso del sisma Abruzzo 2009, come testimonia l'adozione di diversi decreti legge e ordinanze derogatorie che hanno mutato più volte il quadro normativo di riferimento e la struttura deputata alla gestione emergenziale.

Emerge quindi chiaramente la necessità di definire un'organizzazione specifica per far fronte a tali problematiche, tipicamente una specifica funzione di coordinamento nell'ambito della più complessa organizzazione deputata alla gestione emergenziale e post-emergenziale, che non può prescindere dal coinvolgimento di personale esperto con adeguate capacità tecniche che gestisce ordinariamente tali problematiche.

Altro fattore dirimente, certamente non soltanto nell'ottica del DWM, è la definizione di meccanismi di finanziamento dell'emergenza e del post-emergenza. Le fonti di finanziamento, possono essere estremamente diversificate ed includere forme assicurative, finanziamenti governativi sia statali, sia regionali, finanziamenti europei e donazioni, contributi pubblici o privati. La natura dei finanziamenti, le modalità e i tempi di assegnazione delle risorse possono incidere significativamente anche sulla velocità e l'efficienza di rimozione e successivo avvio a recupero delle macerie. L'attribuzione, anche in regime derogatorio, del ruolo di produttore dei rifiuti da disastro, consente poi di imputare la titolarità degli oneri finanziari, da rendicontare puntualmente ai fini della loro liquidazione. Le modalità di rendicontazione possono essere anche molto differenti, a seconda che il produttore sia identificato in una Pubblica Amministrazione oppure nell'ambito privato, costituendo un altro fattore rilevante sull'efficienza complessiva del servizio e in particolare sul fattore tempo.

Differenti sistemi di gestione adottati possono avere differenti conseguenze di carattere economico, sociale e ambientale. Ad esempio, la necessità o la volontà di avviare velocemente la fase di ricostruzione post-emergenziale potrebbe incidere negativamente sulle definizione di un ciclo virtuoso finalizzato al recupero ed al riutilizzo dei rifiuti da disastro. Pertanto, incentivare in emergenza una politica volta a massimizzare il recupero dei materiali potrebbe incidere significativamente sul fattore tempo anche in relazione alla presenza o meno di un adeguato mercato dei materiali riciclati.

Se lo smaltimento in discarica potrebbe sembrare l'opzione più facilmente percorribile, sussistono complicazioni dovute alle esigue volumetrie disponibili negli impianti esistenti e ben note difficoltà/impossibilità di crearne di nuovi, specie nei tempi dati dalla gestione di un'emergenza. Anche l'attività di mera rimozione delle macerie può essere fortemente rallentata o impedita dall'assenza di siti di deposito temporaneo pre-individuati e dalla necessità di dover avviare approfondite valutazioni tecniche per stabilire l'idoneità di aree e siti in fase di emergenza e per definire il più generale quadro del ciclo di lavorazione dei rifiuti, volto a massimizzarne il recupero.

Nell'ambito della valutazione dei costi gestionali, occorre considerare non solo i costi diretti legati all'impiantistica, alle attività di trasporto, alle attività di recupero e smaltimento, ma anche quelli indiretti derivanti dalle eventuali attività di bonifica, i costi dei contenziosi, quelli legati agli eventuali ritardi nella ricostruzione e ad altre attività, specie commerciali, che possono essere compromesse.

Nell'approccio al DWM non devono essere trascurate le conseguenze sociali e psicologiche, in quanto la presenza di macerie non rimosse rappresenta per la comunità colpita dal disastro un ricordo visibile e tangibile delle perdite subite. Un caso esemplificativo è quanto accaduto a L'Aquila dopo il sisma del 2009: a undici mesi dall'evento sismico, esasperati dalla lentezza e dalla mancanza

ANTEPRIMA

di una chiara comunicazione delle attività di rimozione delle macerie, i cittadini sono scesi in piazza con attrezzi da lavoro, dando vita al cosiddetto "movimento delle carriole". In quel caso specifico, i ritardi nella rimozione delle macerie sono in parte attribuibili alle difficoltà incontrate nel definire un percorso virtuoso di gestione, volto anche al riutilizzo di beni d'interesse architettonico, artistico e storico, i beni ed effetti di valore anche simbolico, i coppi, i mattoni, le ceramiche, le pietre con valenza di cultura locale, il legno e i metalli lavorati. Molto probabilmente, una soluzione più rapida che non avesse tenuto in debita considerazione anche tali aspetti non sarebbe comunque stata accettata dalla popolazione.

In base a quanto esposto e alle esperienze delle ultime emergenze, è dunque possibile identificare una serie di fattori che concorrono alla definizione e all'attuazione di una strategia efficace di DWM:

- definizione di ruoli e responsabilità, coinvolgendo gli attori aventi ruolo istituzionale in regime ordinario;
- individuazione delle normative nazionali e regionali in materia per la definizione dell'eventuale nuovo quadro legislativo emergenziale;
- stima preventiva delle tipologie e dei quantitativi di rifiuti attesi a fronte di scenari di evento;
- definizione delle necessità e dei requisiti a livello operativo e finanziario, incluso il meccanismo di tracciabilità e contabilità delle macerie;
- identificazione delle attività e dei soggetti da contrattualizzare per le fasi di raccolta, trasporto e trattamento;
- definizione di un piano di comunicazione che preveda adeguati meccanismi di consultazione della popolazione;
- definizione delle opzioni di raccolta delle macerie;
- identificazione dei flussi di materiale pericoloso e delle relative modalità di gestione;
- identificazione delle modalità di gestione dei beni artistici e architettonici;
- individuazione di un idoneo sito per le operazioni di stoccaggio/trattamento in termini di caratteristiche tecniche e logistiche;
- identificazione delle modalità di gestione del sito e del soggetto deputato a tale compito;
- identificazione degli strumenti per incentivare le operazioni di recupero dei materiali riutilizzabili;
- massimizzazione del riciclaggio identificando procedure di recupero anche in funzione dell'impiantistica presente sul territorio;
- identificazione delle più idonee modalità di smaltimento, a valle della verifica dell'impossibilità di operare opzioni di recupero e valutando l'eventuale impatto ambientale.

4. UN MODELLO DI MATURITÀ PER LE REGIONI

Se negli ultimi quindici anni, specie a livello internazionale, si è iniziato a porre una crescente attenzione sulla necessità di una corretta pianificazione del DWM, i documenti disponibili fanno spesso riferimento al quadro normativo, alla struttura di governance e ai meccanismi di finanziamento vigenti in tempo ordinario. Per questo motivo, alla luce delle esperienze acquisite nel corso delle emergenze innanzi menzionate e dei fattori critici individuati, è stata ideata e sviluppata dal Dipartimento della Protezione Civile una specifica linea di ricerca nell'ambito del progetto di Servizio Civile denominato ING-REST.

In particolare, la ricerca ha avuto ad obiettivo la definizione di un modello di maturità per le Regioni quale possibile strumento di autovalutazione della resilienza regionale nell'ambito del DWM. In linea generale, un modello di maturità è una rappresentazione teorica della potenziale evoluzione delle capacità organizzative secondo livelli crescenti, a seguito di un percorso di maturazione desiderato o atteso, e può essere adoperato per diverse finalità:

- descrittiva, ovvero come strumento diagnostico, anche per rapporti ad uso interno o per stakeholder esterni;
- prospettica, individuando un percorso di miglioramento dell'organizzazione;
- comparativa, come termine di confronto oggettivo tra organizzazioni e anche intra-organizzazione.

Concretamente, un modello di maturità è una matrice a doppio ingresso, costituita da componenti/fattori critici e livelli attesi, dove per ciascuna delle possibili intersezioni è definita una lista di aspettative/obiettivi da parte dell'organizzazione. Il modello di maturità elaborato nell'ambito del progetto ING-REST, in fase di approfondimento e revisione grazie alla collaborazione intercorrente con l'Università di Roma "Tor Vergata" - Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa, è costituito da 5 livelli e 21 componenti/fattori critici. La definizione puntuale delle aspettative/obiettivi per ogni livello consentirà di redigere specifiche linee guida ad uso delle Regioni per le componenti ritenute maggiormente significative.

5. BIBLIOGRAFIA ESSENZIALE

Baycan F. (2004), *Emergency Planning for disaster Waste: a proposal based on the experience of the Marmara Earthquake in Turkey*, International Conference and Student Competition on post disaster – reconstruction "Planning for reconstruction", Coventry (Gran Bretagna).

Booth W. (2010), *Haiti faces colossal and costly cleanup before it can rebuilt*, The Washington Post, 17 marzo 2010.

Brown C. (2012), *Disaster waste management: a system approach*, University of Canterbury Civil and Natural Resources Engineering.

D.L. n. 39/2009, convertito in L. n. 77/2009, *Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile.*

D.L. n. 195/2009, convertito in L. n. 26/2010, *Disposizioni urgenti per la cessazione dello stato di emergenza in materia di rifiuti nella regione Campania, per l'avvio della fase post emergenziale nel territorio della regione Abruzzo ed altre disposizioni urgenti relative alla Presidenza del Consiglio dei Ministri ed alla protezione civile.*

D.L. n. 74/2012, convertito in L. n. 122/2012, *Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici che hanno interessato il territorio delle province di Bologna, Modena, Ferrara, Mantova, Reggio Emilia e Rovigo, il 20 e il 29 maggio 2012.*

EPA (1995), *Decision-makers' guide to solid waste management - Volume II*, Office of Solid Waste and Emergency Response.

EPA (2008), *Planning for natural disaster debris*, Office of Solid Waste and Emergency Response.

Luther L. (2008), *Disaster debris removal after hurricane Katrina: status and associated issues*, Congressional Research Service.

OCDPC n. 1/2012, *Primi interventi urgenti per gli eventi sismici che hanno colpito le province di Bologna, Modena, Ferrara e Mantova il 20 maggio 2012.*

OCDPC n. 2/2012, *Procedure per la valutazione della sicurezza e dell'agibilità degli edifici ad uso produttivo in conseguenza agli eventi sismici nelle province di Bologna, Modena, Ferrara, Reggio Emilia, Mantova e Rovigo di maggio 2012.*

OPCM n.3767/2009, *Ulteriori disposizioni urgenti conseguenti agli eventi sismici che hanno colpito la provincia dell'Aquila ed altri comuni della regione Abruzzo il giorno 6 aprile 2009.*

OPCM n. 3923/2011, *Ulteriori interventi urgenti diretti a fronteggiare gli eventi sismici verificatisi nella regione Abruzzo il giorno 6 aprile 2009.*

OPCM n. 4014/2012, *Ulteriori interventi urgenti diretti a fronteggiare gli eventi sismici verificatisi nella regione Abruzzo il giorno 6 aprile 2009.*

Ordinanza commissariale n. 34/2012, *Determinazione delle modalità di monitoraggio delle attività di rimozione delle macerie, autorizzazione alla gestione delle attività ed alla copertura della spesa.*

Ordinanza commissariale n. 79/2012, *Individuazione delle possibili destinazioni della prima quota di macerie raccolte, determinazione del costo di gestione delle macerie, delle modalità di liquidazione e modalità di monitoraggio delle attività di rimozione e gestione delle macerie.*

Taylor A. (2008), *Sichuan's earthquake, six month later*, www.boston.com.

United Nations (2006), *Key propositions for building back better: a report by the UN Secretary-General's Special Envoy for tsunami recovery, William J. Clinton.*

NOTA DEGLI AUTORI

Le fotografie delle *Fgg.* 1, 6 e 7 sono ampiamente diffuse su Internet. Non essendo stato possibile verificare se siano o meno protette da copyright, gli Autori hanno ritenuto che esse siano di pubblico dominio. Ciò nonostante, chiunque ne detenesse il copyright potrà contattare gli Autori, che provvederanno a indicare all'Editore la fonte corretta.

BOZZA

III copertina

Sponsor

II BOZZA

IV copertina

Sponsor

II BOZZA