

STUDIO DI GEOLOGIA

BARSANTI, SANI & ASSOCIATI

via Buiamonti 29 - 55100 LUCCA - C.F. e P.I.: 01134410461
Tel. 0583/467427 Fax. 0583/91090 e-mail: bar-sani@geoprove.com

REGIONE TOSCANA COMUNE DI CASTELNUOVO DI GARFAGNANA

MICROZONAZIONE SISMICA DEL COMUNE DI CASTELNUOVO DI GARFAGNANA - PROVINCIA DI LUCCA

Relazione illustrativa

Rev. Settembre 2016

Il Geologo:

INDICE

INTRODUZIONE	3
DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO	5
ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA	11
Stratigrafia	11
Tettonica	15
Geomorfologia	16
DATI GEOTECNICI E GEOFISICI	17
Dati puntuali	17
Dati lineari	17
UNITÀ GEOTECNICHE	17
Terreni di copertura	18
Substrato sismico rigido	18
MODELLO DEL SOTTOSUOLO	19
INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE	19
METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI	20
ELABORATI CARTOGRAFICI	20
Carta delle indagini	20
Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica	20
Carta delle frequenze fondamentali del sottosuolo	22
Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)	29
COMMENTI FINALI E CRITICITÀ	34
CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI	34
BIBLIOGRAFIA	35

INTRODUZIONE

Il territorio comunale di Castelnuovo di Garfagnana si colloca nell'area della Garfagnana che da tempo è oggetto di approfonditi studi di tipo geologico, strutturale e idrogeologico; le prime cartografie che interessano almeno in parte il Comune di Castelnuovo di Garfagnana risalgono infatti alla fine del 19° - inizio del 20° secolo ad opera di COCCHI, 1873, DE STEFANI, 1878, SACCO, 1895, ZACCAGNA, 1899 e ZACCAGNA, 1932. Si tratta essenzialmente di cartografie geologiche a piccola scala (da 1:25.000 fino a 1:250.000), generalmente con sezioni, che rappresentano i rapporti formazionali senza contenere informazioni strutturali o tettoniche che al tempo non erano ancora sviluppate. Successivamente si assiste ad una stasi della ricerca scientifica fino all'inizio degli anni 60, quando riprendono ad opera della "scuola di Pisa" con NARDI, 1961; NARDI, 1965 con lavori che trattano invece più compiutamente l'aspetto strutturale, seguendo le nuove teorie che indicavano le varie serie impilate in falde da una tettonica compressiva a formare la catena appenninica, in seguito interessate da una fase distensiva che avrebbe portato all'individuazione della vallata del Serchio. Più recentemente, dagli anni 80 in poi inizia un rilevamento di dettaglio dell'area di tipo geologico-geomorfologico, finalizzato alla redazione di carte di stabilità dei versanti (NARDI & ALII, 1985-1989), che in seguito verrà ripreso ed ampliato dall'Autorità di Bacino del F. Serchio.

Per la redazione della carta geologica di base, sono state quindi raccolte informazioni da queste cartografie, per quanto aggiornabili, oltre a quelle presenti a supporto degli Strumenti Urbanistici.

Sono stati inoltre visionati il Portale del Servizio Geologico d'Italia, in particolare per l'archivio delle Indagini del sottosuolo (L.464/84) e delle Faglie capaci (ITHACA); gli Archivi della Regione Toscana per la Banca Dati del sottosuolo (dati disponibili anche presso il Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Lucca), per la Banca dati indagini geotematiche, la Banca dati stratigrafica della Toscana, la banca dati corpi idrici sotterranei, la Banca dati geotermia la Banca dati concessioni acque minerali e termali (dati disponibili anche presso il Servizio Difesa del Suolo della Provincia di Lucca), la Carta geologica regionale e la Banca dati frane e coperture.

Il Progetto IFFI, primo inventario omogeneo e aggiornato dei fenomeni franosi sull'intero territorio nazionale è stato visionato ma risulta, alla scala della carta che si vuole costruire, meno completo ed aggiornato rispetto agli archivi provinciale e regionale.

La raccolta dei dati si è inoltre rivolta a quanto presente nei Piani sovraordinati (Regione Toscana, Provincia di Lucca, Autorità di Bacino del F. Serchio) e alla cartografia geologica del Progetto CARG.

Le aree urbanizzate maggiormente significative del Comune di Castelnuovo di Garfagnana sono comprese nei seguenti Fogli scala 1: 10.000 della CTR Regione Toscana: 250050 e, in minima parte, nel 250060 e 250090.

E' inoltre disponibile un rilievo tipo LiDAR con maglia di 1 m esteso su aree di pianura e di fondovalle per complessivi 30.000 ettari, eseguito per conto dell'Autorità di Bacino del F. Serchio e disponibile nei seguenti formati:

- modello digitale delle superfici (DSM)
- modello digitale delle superfici depurato dalla vegetazione (DTMI)
- modello digitale del terreno (DTM).

In seguito ai numerosi eventi significativi di piena verificatisi nel periodo dicembre 2008-dicembre 2009, l'Autorità di Bacino ha commissionato un nuovo rilievo LiDAR dell'asta principale del Serchio, finalizzato ad evidenziare e quantificare gli effetti degli eventi stessi sulle aree d'alveo e di pertinenza fluviale.

Sul sito web della Regione Toscana (www502.regione.toscana.it/geoscopio/fototeca.html) sono presenti le foto aeree disponibili per l'area o parte di essa e riferibili agli anni 1954, 1976, 1978, 1979, 1980, 1987, 1988, 1994, 1995, 1996, 2000, 2006, 2010, 2013. Sono disponibili infine le ortofoto in scala 2k riferite all'anno 2010 e in scala 10k riferite agli anni 1954, 1978, 1988, 1996, 2000, 2005, 2009, 2010, 2013.

Tutti i prodotti forniti con questa relazione sono restituiti sia nel sistema di riferimento WGS84 UTM Zone 33N - EPSG 32633 con altezze ellissoidiche, sia nel sistema nazionale Monte Mario Italy 1 - EPSG 3003 con quote ortometriche. La cartografia utilizzata è quella in formato DXF disponibile sul sito della Regione Toscana.

Il presente rapporto è stato redatto recependo il parere e le osservazioni del Settore Sismica Regionale – Prevenzione Sismica del 05/07/2016 ed in ossequio allo *Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica per la Microzonazione sismica – Versione 2.0* del Dipartimento Protezione Civile (dicembre 2012).

DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

Al fine di ricostruire la storia sismica di Castelnuovo di Garfagnana, è stata eseguita una ricerca degli eventi storici con risentimento nel territorio comunale, all'interno dei cataloghi sismici pubblicati da vari enti di ricerca. Tra i Cataloghi consultabili si annoverano:

1. CFTI Med 4.0: Catalogo dei forti terremoti 461 a.C.-1997 (Boschi et alii, 2000) Consta di circa 650 eventi tra il 461 A.C. e il 1997.
3. CPTI11. Catalogo Parametrico Dei Terremoti Italiani versione CPTI11 (a cura di A. Rovida, R. Camassi, P. Gasperini e M. Stucchi) INGV, Milano – Bologna 2011. Rielabora ed omogenizza i dati contenuti nei precedenti cataloghi (CFTI e NT) coprendo la finestra temporale dal 217 A.C. al 2006; rappresenta ad oggi il catalogo di riferimento più completo e affidabile.
4. DBM11. Database dei terremoti italiani dal 217 A.C. al 2006 a cura di M. Locati, R. Camassi e M. Stucchi, 2011, la versione 2011 del Database Macrosismico Italiano, sulla base del quale è stato compilato il catalogo CPTI11.
4. DOM 4.1 Database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno (GNDT 1997). Non si tratta di un vero e proprio catalogo ma di un data-base delle osservazioni macrosismiche contenente circa 37.000 osservazioni su circa 10.000 località per 904 terremoti; da tale elaborato deriva la Carta delle Massime Intensità macrosismiche (vedi Fig. 1).

Interrogando il catalogo INGV – DBMI11 sono disponibili per Castelnuovo di Garfagnana n° 24 eventi

Non sono stati rilevati forti terremoti con epicentri localizzati nel territorio comunale di Castelnuovo di Garfagnana: la ricerca degli eventi sismici con risentimento nel territorio comunale (vedi tabella) mostra come gli eventi più recenti con maggior risentimento siano stati i terremoti della Garfagnana del 1740, quello delle Alpi Apuane del 1837, quello della Garfagnana del 1902 e 1914 e naturalmente l'evento del 1920.

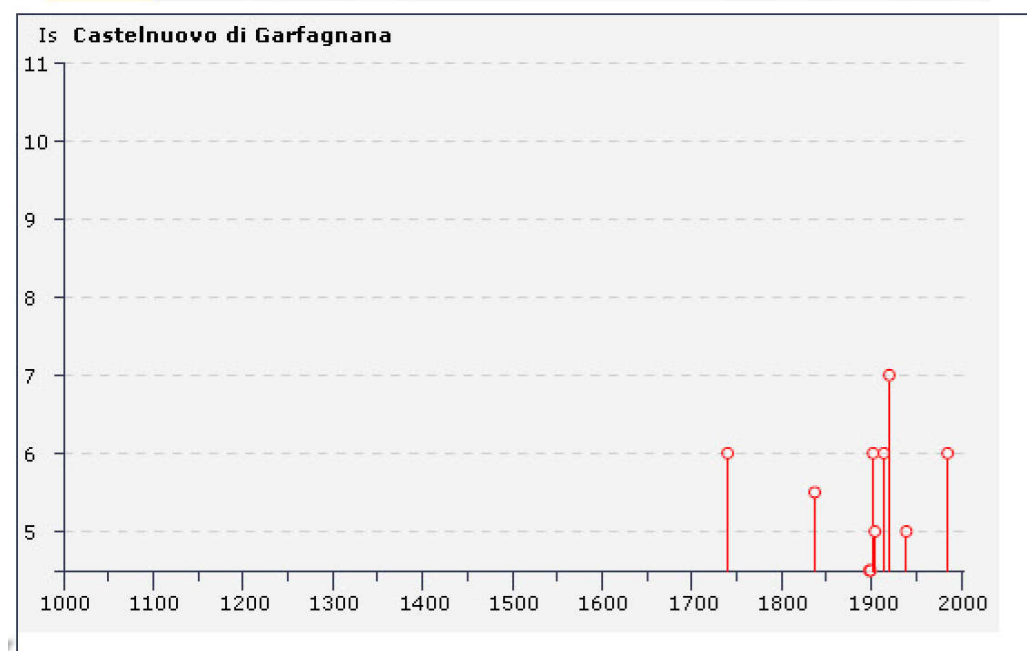
Le sorgenti epicentrali principali che hanno generato eventi con risentimenti nell'area di Castelnuovo di Garfagnana sono quindi individuabili principalmente nelle strutture sismogenetiche della Garfagnana-Lunigiana e subordinatamente in quella del Parmense. Gli epicentri dei sismi catalogati sono per la maggior parte collocati in area appenninica ed in particolare in Garfagnana-Lunigiana che rappresenta l'area sismogenetica più vicina e più attiva, dove si segnalano i terremoti del 1920 con intensità epicentrale del X° MCS che hanno comportato un risentimento (intensità al sito Is) del VII° MCS a Castelnuovo G.na e quelli ancora della Garfagnana del 1740 e del 1985 con risentimento del VI° MCS a Castelnuovo.

Storia sismica di Castelnuovo di Garfagnana [44.109, 10.411]



Numero di eventi: 24

Effetti	In occasione del terremoto del:								
Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Area epicentrale	Np	Ix	Mw
6	1740	03	06	05	15	GARFAGNANA	31	7-8	5.18
5-6	1837	04	11	16	50	ALPI APUANE	50	10	5.65
4	1891	06	07	01	06	Valle d'Illasi	403	9	5.71
4-5	1898	03	04			CALESTANO	260	7	5.07
4-5	1899	06	26	23	17	Valle del Bisenzio	134	7	5.09
6	1902	03	05	07	06	GARFAGNANA	83	7	5.17
4	1903	07	27	03	46	LUNIGIANA	79	7-8	5.15
5	1904	02	25	18	47	Reggiano	62	7	5.13
2-3	1904	06	10	11	15	Frignano	96	7	5.08
3-4	1904	11	17	05	02	PISTOIESE	204	7	5.18
4	1909	01	13	00	45	BASSA PADANA	799	6-7	5.53
3-4	1913	11	25	20	55	VAL DI TARO	73	5	4.85
6	1914	10	27	09	22	GARFAGNANA	618	7	5.79
7	1920	09	07	05	55	Garfagnana	638	10	6.48
4	1921	05	07	06	15	PONTREMOLI	19	7	5.03
3	1925	03	15	17	15	FRASSINORO	16	4-5	4.65
4	1934	06	13	09	06	BORGO VAL DI TARO	29	6	5.22
3	1936	10	18	03	10	BOSCO CANSIGLIO	267	9	5.90
4	1937	12	10	18	04	APPENNINO MODENESE	28	7	5.42
5	1939	10	15	14	05	GARFAGNANA	62	7	5.20
4	1983	11	09	16	29	Parmense	835	7	5.10
NF	1984	04	29	05	02	GUBBIO/VALFABBRICA	709	7	5.68
6	1985	01	23	10	10	GARFAGNANA	73	6	4.69
4	1995	10	10	06	54	LUNIGIANA	341	7	5.04



In particolare il terremoto del 7 settembre 1920 causò effetti distruttivi in un'area di circa 160 km² andando ad interessare le province di Lucca, Massa Carrara e in misura minore, quella di Reggio Emilia.

I massimi effetti furono del X grado MCS e furono rilevati a Capraia e Villa Collemandina, in Garfagnana, e a Montecurto e Vigneta, in Lunigiana, che furono quasi completamente distrutti. In altri quattro paesi (Agliaio, Cortia, Regnano e Sassalbo) quasi tutte le case crollarono, totalmente o parzialmente, o divennero inabitabili. Oltre a questi otto paesi quasi completamente rasi al suolo, altri 110 (fra cui Fivizzano e Piazza al Serchio) riportarono crolli estesi a gran parte del patrimonio edilizio, con effetti di grado VIII-IX o IX MCS. In altri 145 paesi i crolli totali di edifici furono più limitati, ma ci furono numerosi crolli parziali e gravi danni estesi a gran parte del patrimonio edilizio (effetti di grado VIII o appena inferiore). Inoltre, circa 130 località riportarono danni di media entità (gradi VII e VI-VII MCS), mentre danni più leggeri (effetti intorno al grado VI MCS) furono riscontrati in una settantina di centri toscani, emiliani e liguri.

Nel territorio lucchese il comune più colpito fu Villa Collemandina, seguito da Camporgiano, Minucciano e Piazza al Serchio e, via via con effetti minori, Sillano, Vagli di Sotto, San Romano in Garfagnana, Barga. Gli altri comuni della Garfagnana, come quelli del circondario di Castelnuovo di Garfagnana (Vergemoli, Trassilico, Molazzana, Galliciano, Fosciandora e lo stesso Castelnuovo) furono colpiti in modo meno distruttivo, anche se, in alcuni casi subirono danni gravi con effetti fino al grado VIII MCS.

A Castelnuovo di Garfagnana, il centro più noto e rappresentativo della vallata, la scossa causò danni e lesioni alle case, rendendole qualcuna temporaneamente inabitabile. Gli effetti non superarono il VII grado MCS, facendo di questa importante cittadina un'isola scampata in mezzo a tante distruzioni.

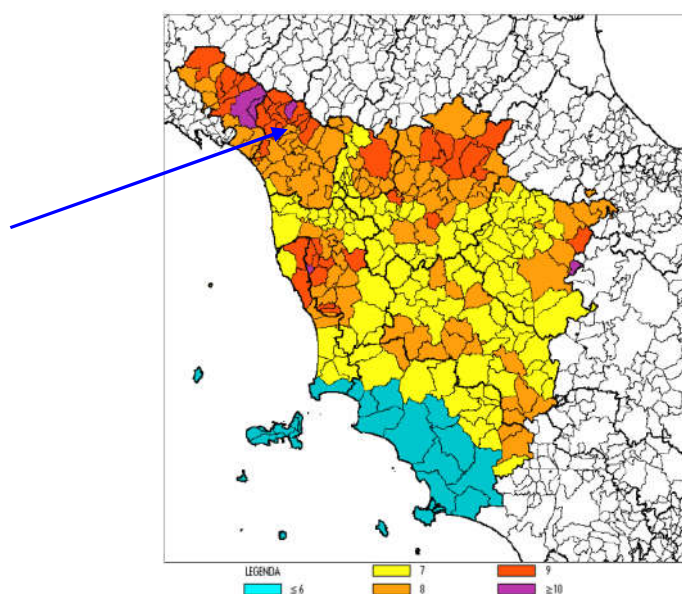


Fig. 1 – Massime intensità macrosismiche osservate nei comuni toscani valutate a partire dalla banca dati macrosismici del GNDT e dai dati del Catalogo dei Forti Terremoti dell'INGV marzo 1996

Dalla Carta delle massime Osservazioni macrosismiche rilevate nei comuni italiani si deduce invece come il massimo storicamente osservato per il Comune di Castelnuovo di Garfagnana sia l'VIII° MCS (vedi Fig. 1).

Con la pubblicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003, "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" (Supplemento Ordinario n. 72 della G.U. n. 105 del 8.05.2003) è finalmente entrata in vigore la nuova Classificazione Sismica del Territorio Italiano, basata sulle indicazioni del Gruppo di Lavoro del Dipartimento della Protezione Civile del 1998: la nuova classificazione è stata recepita dalla Regione Toscana con D.G.R.T. n. 751 del 28 luglio 2003, in base alla quale il territorio del Comune di Castelnuovo di Garfagnana è stato definito sismico di Zona 2, equiparabile alla II Categoria della precedente classificazione sismica.

Successivamente la Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile ha approvato, nella seduta del 6 aprile 2004, la nuova Mappa di Pericolosità sismica del Territorio Nazionale (vedi Fig. 2 e 3): questa è stata recepita dalla O.P.C.M. n° 3519 del 28 Aprile 2006 ed è divenuta infine la mappa di riferimento prevista dal D.M. 14 Gennaio 2008 - Norme tecniche per le costruzioni.

Con Decreto del 14 Gennaio 2008, pubblicato sulla G.U. n. 29 del 4.02.2008 suppl. ord. n° 30, sono state infine approvate le nuove Norme tecniche per le costruzioni, entrate in vigore il 23 Marzo 2008 ma prorogate successivamente fino alla definitiva scadenza del 30 giugno 2009. Da tale data, la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido, viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più "zona dipendente": in altre parole, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, questo sarà sempre compreso tra 4 dei 10751 punti della griglia di accelerazioni (Tab 1 del D.M. 14 Gennaio 2008), e, tramite media pesata, ad esso competerà un valore specifico di accelerazione.

Nel territorio del comune di Castelnuovo di Garfagnana ricade un solo punto della griglia delle accelerazioni: n° 18492 con 1,951 g/10 (vedi Fig. 4).

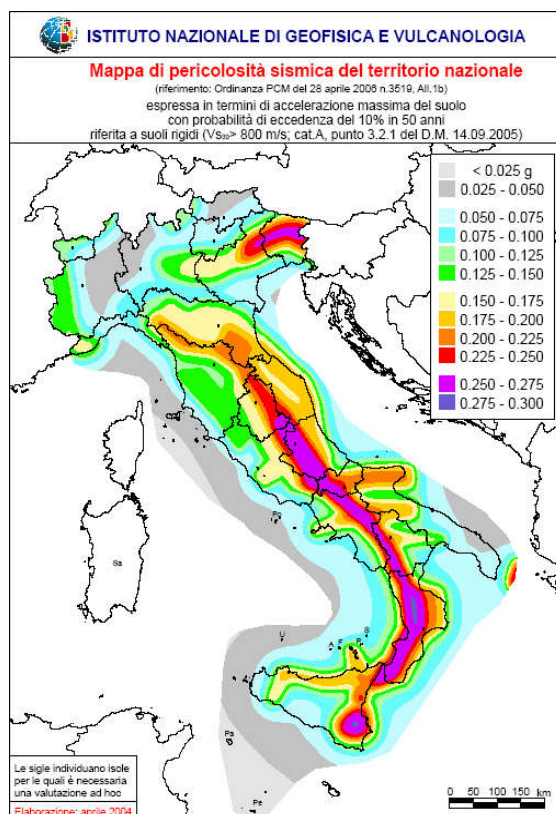


Fig. 2 – Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

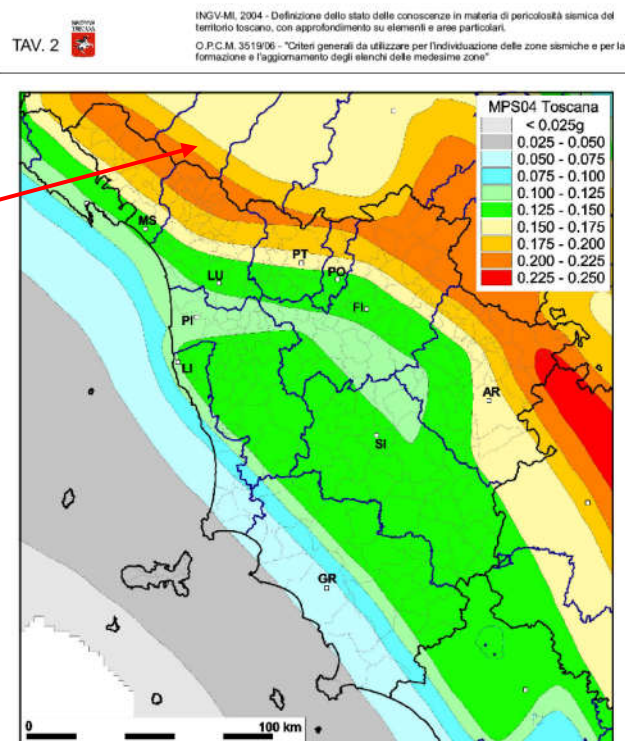


Fig. 3 – Mappa di pericolosità sismica del territorio regionale

La classificazione sismica regionale e la suddivisione in zone rimangono pertanto al solo fine di disciplinare le modalità di controllo dei progetti. In tal senso

la DGRT 8 Ottobre 2012 n. 878 ha confermato il territorio del Comune di Castelnuovo di Garfagnana in Zona 2 (vedi Fig. 5).

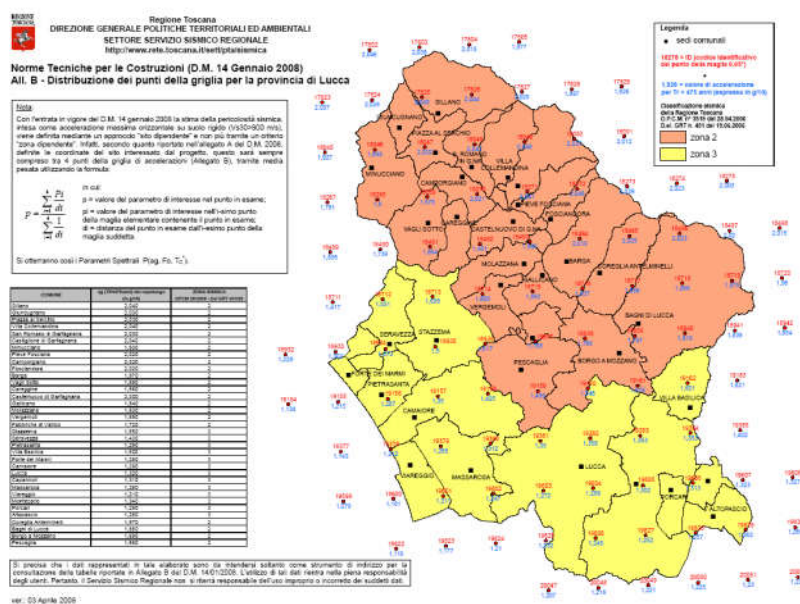


Fig. 4 – Classificazione sismica del territorio della Provincia di Lucca e griglia delle accelerazioni

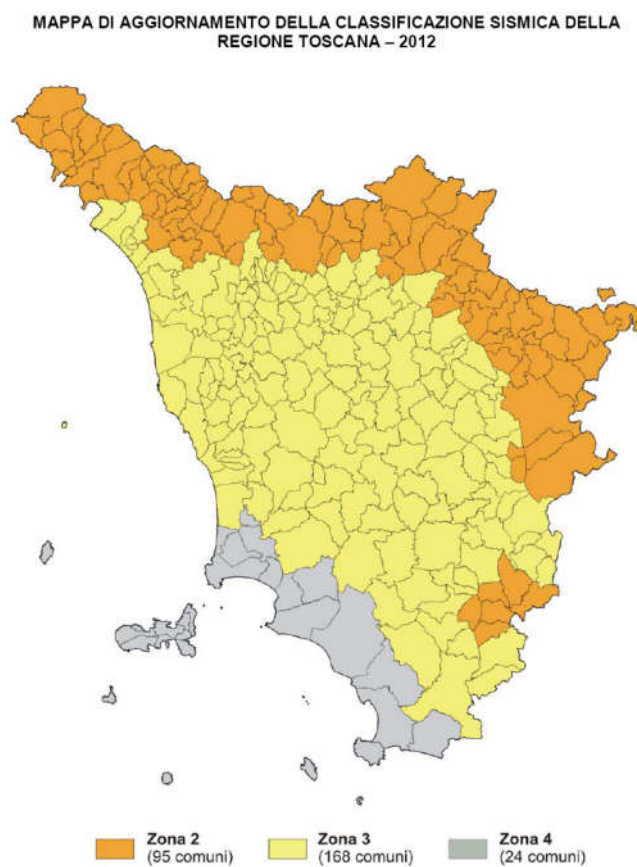


Fig. 5 – Classificazione sismica del territorio regionale

ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Stratigrafia

Il territorio comunale è caratterizzato dalla presenza delle formazioni più recenti della Successione Toscana, che costituiscono l'ossatura principale dei rilievi appenninici. Su di queste, nelle zone di fondovalle, si ritrovano, più o meno estesamente rappresentate, porzioni di sedimenti lacustri e fluviali, corrispondenti ai depositi fluvio-lacustri del bacino di Castelnuovo-Barga, di età pliocenica e pleistocenica.

L'evoluzione di questo bacino è stata dettagliatamente ricostruita da PERILLI N., PUCCINELLI A., SARTI G. & D'AMATO AVANZI G. (2004), secondo i quali la formazione delle "Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga" giace in discordanza sul substrato costituito da unità toscane metamorfiche e non metamorfiche e, subordinatamente, da unità liguri e subliguri; essa è caratterizzata prevalentemente da litofacies fini, con livelli di accumulo organico e di orizzonti pedogenetici e intercalazioni di conglomerati. La formazione dei "Conglomerati di Barga" è invece costituita da litofacies conglomeratiche, con sporadiche intercalazioni siltoso-sabbiose, a cui talvolta si associano paleosuoli e rari livelli di accumulo organico. La formazione dei "Conglomerati di Barga" giace in possibile discordanza sulle "Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga", anche se le cattive condizioni di affioramento non permettono di escludere a priori un possibile passaggio stratigrafico. Le due formazioni vengono attribuite a due sistemi fluviali distinti, ambedue ad andamento circa nord-sud.

Dopo il parziale riempimento del lago con depositi fini (argille e sabbie), si verifica quindi l'innalzamento del massiccio apuano, dal quale giunge un forte apporto di ghiaie e conglomerati calcarei. Successivamente una fase di innalzamento del crinale appenninico produce un deposito a prevalenti ciottoli di Macigno, che forma una ampia conoide appoggiata stavolta sui rilievi orientali, successivamente incisa e terrazzata. Questa ultima fase di innalzamento presenterebbe evidenze di attività anche recente, con dislocazioni anche all'interno dei depositi pleistocenici.

LANDI & AL. (2003) evidenziano invece, in diverse posizioni stratigrafiche, le interazioni tra due sistemi di corsi d'acqua che, durante il Villafranchiano, scorrevano longitudinalmente e trasversalmente (alimentati sia dal margine apuano che da quello appenninico). In questa ricostruzione, la soglia di M. Perpoli di PUCCINELLI (1987) invece che limite tra il lago di Barga con quello di Castelnuovo, assume il ruolo di *by-pass* sedimentario fin dall'impostazione dei due bacini.

Riassumendo, nel territorio oggetto di studio, il quadro delle formazioni presenti è il seguente:

SUCCESSIONE TOSCANA NON METAMORFICA

Calcarei e marne a *Rhaetavicula contorta* (RET-*cR*) - Risultano costituiti da calcari e calcari marnosi grigio scuri, alternati con straterelli di marne grigie e nerastre, alterate in giallo. Localmente sono presenti livelli di calcari organogeni. Lo spessore della formazione si aggira sui 100 m. Età: Retico.

Calcarei massicci (MAS-*cm*) - In questa zona il calcare massiccio presenta la seguente successione: calcari dolomitici e dolomie grigie chiaro e rosate, non stratificate, nella parte inferiore; calcari grigi più o meno cupi, massicci nella parte mediana; procedendo verso l'alto, il calcare mantenendo lo stesso colore, presenta segni sempre più evidenti di stratificazione fino a divenire, nella parte superiore, decisamente un calcare grigio stratificato. Il passaggio alla formazione superiore (calcarei ad *Angulati*) è segnato dalla comparsa di marne grigie scure, alterate in giallo, alternate ai calcari. Lo spessore della formazione si aggira sui 150 m. Età: Lias inf.; Hettangiano.

Marne a *Posidonomya* (POD-*mp*) - Si tratta di marne e argilliti marnose grigio giallastre e rossastre, talora con strati di calcareniti gradate e di calcari marnosi. Lo spessore massimo della formazione si aggira sui 150 m, ma essendo la formazione plastica, questa è stata soggetta a notevoli riduzioni e laminazioni per motivi plicativi e cause tettoniche. Età: Lias superiore.

Calcarei grigio scuri a selci nere (SVL-*cs2*) - Affiorano solo localmente e per piccolo spessore. I motivi di tale piccolo spessore in questa zona sono probabilmente da ricercare nell'eteropia con le sottostanti marne a *Posidonomya* e a cause tettoniche, oltre che nelle cattive esposizioni di affioramento. Sono costituiti da calcari e calcareniti gradate grigio-scure, cupe, a volte bluastre, con liste e noduli di selce nera. Lo spessore della formazione in quest'area sembra essere inferiore ai 50 m. Età: Dogger sup. - Malm p.p. .

Calcareniti di Montegrossi - STO3 - *Nu* - Formazione costituita da più litofacies non distinguibili cartograficamente con predominante un membro calcarenitico-ruditico. Età: Cretaceo inf. p.p. - Oligocene.

Macigno (MAC-*mg*) - Si presenta come un'arenaria quarzoso feldspatica, micacea, torbiditica con strati gradati, caratterizzati da una granulometria più grossolana alla base e più fine al tetto per la presenza di livelli argillitici, siltitici, siltitico-marnosi; sono presenti alla base degli strati controimpronte dovute sia a corrente sia a carico. Il colore dell'arenaria è grigio-chiaro su superfici fresche, giallo-rossiccio su quelle alterate. Età: Oligocene sup.- Miocene inf.

SUCCESSIONE SUBLIGURE - UNITÀ DI CANETOLO

Argille e calcari (ACC-ac) - Argilliti scure alternate a calcari e calcareniti. Età: Paleocene-Eocene medio.

UNITA' LIGURI s.l.

Complesso di base (CCVa-cb) - Si tratta di una formazione eterogenea, ad assetto caotico, costituita prevalentemente da argilliti grigie, nere e rossastre prive di stratificazione con inclusi blocchi calcarei a frattura concoide (tipo "palombino"), arenarie grigio-verdi a cemento calcareo e calcareniti grigiastre ("argille scagliose" p.p. Auctt.) (cb). Il complesso include localmente zolle e blocchi di calcari bianchi stratificati tipo "Alberese" (alb) (età Paleocene - Eocene inf./medio), diabasi massicci e a pillow lavas (**BAS-Δ**) (Giurese sup.) e brecce ofiolitiche (**CCVc-br**) (Cretaceo). Nella zona in esame gli affioramenti di "cb" si trovano sempre su versanti fortemente franosi e non si osservano mai tagli abbastanza profondi da avere la certezza di osservare la struttura originaria della roccia, non disturbata da franamenti superficiali. Inoltre è quasi sempre presente una copertura detritica e/o di alterazione di 1÷2 m di spessore. Lo spessore della formazione è valutato intorno a qualche centinaio di metri. Età Cretaceo - Eocene.

Flysch ad Elmintoidi (OTO-fh) - Affiora esclusivamente, in sponda destra del Serchio. Si tratta di calcari marnosi, marne calcaree, argilliti, siltiti e arenarie in sequenze turbiditiche. Gli affioramenti in quest'area sono molto scarsi e non danno utili informazioni sulla litologia predominante. Età: Cretaceo Superiore

DEPOSITI FLUVIO-LACUSTRI AUCCT. DEL BACINO DI BARGA-CASTELNUOVO

Argille, sabbie e conglomerati di Fornaci di Barga (AFB-arg) - Si tratta in genere di argille, argille sabbiose bluastre e sabbie da grigie ad ocracee (depositi fini di tracimazione fluviale) con sottili livelli lenticolari di conglomerati minuti poligenici dispersi in matrice sabbiosa e orizzonti pedogenizzati e a luoghi lignitiferi. All'interno dei livelli argillosi e limo-argillosi si rinvencono resti di gasteropodi, bivalvi e ostracodi. Blocchi di lignite sono presenti lungo il T. Dezza, ma l'unica zona - oggetto nel passato di lavori di escavazione in galleria - dove la lignite costituisce banchi continui di un certo spessore alla base della formazione, è quella in loc. S. Maria. Sia lateralmente che superiormente le argille passano a termini clastici, prevalentemente conglomerati calcarei, talvolta ad elementi di arenaria. Età: Pliocene medio (?) sup. - Villafranchiano

Conglomerati di Barga (PLB-cg). Trattasi di depositi alluvionali conoidali ad alimentazione prevalentemente apuana, costituiti da una alternanza, irregolare per spessore e continuità laterale, di conglomerati con ciottoli embricati e conglomerati ricchi di matrice con sporadiche intercalazioni siltoso-sabbiose, a cui talvolta si

associano paleosuoli e rari livelli di accumulo organico (PERILLI N. & Al, 2004). Il deposito è poco classato ed i ciottoli, provenienti da formazioni appartenenti alla Successione Toscana Metamorfica e non, sono spesso prevalentemente calcarei. Le dimensioni dei ciottoli sono variabili da 1,5÷2,0 cm a 15÷20 cm. Il deposito presenta normalmente un buon grado di cementazione o, in assenza di questa, un buon grado di addensamento. Le caratteristiche deposizionali indicano un sistema fluviale a “prevalente trasporto al fondo” (LANDI & Al., 2003). Lo spessore massimo della formazione è stimato, secondo vari Autori, in circa 120 - 170 metri. Età: Villafranchiano.

Depositi alluvionali terrazzati antichi (bn2-at, ct/mg). Depositi prevalentemente conoidali costituiti da ciottoli provenienti quasi esclusivamente dalla formazione del “Macigno” – ovvero di derivazione appenninica - immersi in una matrice sabbiosa di colore variabile dal giallo ocra al ruggine. Tali depositi formano le estese spianate di Pian della Pieve. Le dimensioni dei ciottoli sono molto variabili (da alcuni cm a qualche dm, fin oltre il metro), ma in genere grossolani, con forma da ellissoidale ad appiattita, da sub-arrotondati ad arrotondati. Nel complesso il grado di addensamento è scarso, suggerendo un meccanismo deposizionale tipo *debris-flow*. Lo spessore del deposito è variabile (da pochi metri a circa 40 m). Età: sulla base di valutazioni indirette (PUCCINELLI, 1987), Pleistocene medio-sup.

DEPOSITI QUATERNARI

Depositi antropici (h5-rp). Rappresentano i riporti di terreno effettuati per la realizzazione del piano di imposta di edifici ed infrastrutture ed accumuli di discariche di inerti. I maggiori esempi si riscontrano lungo i fondovalle a costituire i rilevati stradali e ferroviario.

Depositi alluvionali attuali e recenti (b-all2). Ghiaie eterometriche, talora debolmente embricate, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica. Questi depositi sono presenti sul fondovalle del F. Serchio e dei suoi affluenti principali.

Depositi detritici (aa-dt). Accumuli di frammenti litici eterometrici, frequentemente monogenici, con matrice sabbiosa o sabbioso-limosa, in quantità variabile; possono essere organizzati in falde.

Depositi alluvionali terrazzati attuali (bn1-all, all1, at, ct, pall). Ghiaie, sabbie e limi di composizione poligenica. Questi depositi, in genere sopraelevati da alcuni decimetri a diversi metri sulle sottostanti alluvioni attuali, si ritrovano più estesamente per lo più lungo il F. Serchio ed in subordine lungo i tratti terminali degli affluenti maggiori.

Frequenti, in corrispondenza dello sbocco dei solchi minori sulle principali aste vallive del F. Serchio e del T. Turrone, sono i conoidi alluvionali relativamente recenti, con la tipica forma a ventaglio in conseguenza di una rapida e per lo più caotica deposizione di materiale fluitato a seguito di una repentina diminuzione di pendenza. Tutte le conoidi censite risultano attualmente inattive e talora in fase di reincisione.

Tettonica

L'assetto tettonico dell'area in esame è legata alla successione di due importanti eventi deformativi di cui il primo - databile fra l'Oligocene superiore ed il Miocene inferiore – avente carattere compressivo ed il secondo – con inizio databile al Miocene medio – caratterizzato da un carattere distensivo.

Più in particolare la prima fase deformativa polifasata (fase *sin-nappe*), conseguente alla chiusura del bacino oceanico ligure-piemontese, alla successiva collisione continentale ed all'innescarsi di una zona di taglio ensialica, ha portato all'accavallamento della Successione Toscana sul Dominio Toscano Esterno, producendo il metamorfismo di grado più alto del Complesso Apuano.

Con la seconda fase deformativa (fase *post-nappe*), connessa con l'apertura dell'area tirrenica, ha luogo una tettonica di tipo distensiva che produce, con inizio dalla Toscana meridionale in estensione verso nord - nord/est, ampi bacini neogenici fino a formare le depressioni tettoniche della Toscana settentrionale, fra le quali anche la fossa tettonica del Serchio.

Tale fossa corrisponde ad una stretta depressione tettonica allungata in direzione NO-SE: un sistema di faglie appenniniche, fra di loro parallele, immerge infatti verso est e caratterizza il lato occidentale della depressione, mentre sul lato orientale si allinea con la stessa direzione una serie di faglie immergenti verso occidente. Alcune dislocazioni trasversali alle precedenti individuarono invece soglie tettoniche, che funzionarono come sbarramento dei bacini lacustri (di Castelnuovo e di Barga-Ghivizzano) che, a partire dal Villafranchiano si impostarono nella fossa tettonica; la soglia del lago di Castelnuovo risulta in particolare ubicabile presso Monteperpoli. Questi bacini furono comunque soggetti ad un colmamento relativamente rapido (dal Pliocene al Pleistocene medio superiore), in conseguenza dei cospicui apporti provenienti dall'erosione dei rilievi in sollevamento.

Questa ultima fase di innalzamento presenterebbe evidenze di attività anche recente, con dislocazioni anche all'interno dei depositi pleistocenici.

I depositi villafranchiani presentano uno spessore massimo nell'area tra la zona industriale di Castelnuovo fino a Carbonaia; il cratere che li contiene è limitato da faglie con direzione N-S dislocate e limitate da altre con direzione SW-NE.

Geomorfologia

La morfologia, come sovente accade, è strettamente connessa con le caratteristiche geologiche del territorio ed è ripartibile anch'essa in tre zone principali:

- l'area collinare-montuosa, prevalentemente in destra del F. Serchio, caratterizzata da pendenze elevate e da profonde vallate, talvolta incassate tra i versanti, che si raccorda dolcemente con il fondovalle;
- l'ampia spianata del Pian della Pieve, caratterizzata da pendenze blande verso O-SO sulle spianate, limitata da scarpate ad elevata pendenza;
- la fascia della piana del Serchio tra il bacino di Pontecosì e la confluenza del T. Turrite.

I fattori morfoevolutivi di maggior rilievo sono, come del resto in tutti i sistemi climatici temperati, quelli legati all'azione gravitativa lungo i versanti e all'azione delle acque correnti superficiali. Sono quindi presenti dal punto di vista geomorfologico essenzialmente dissesti di versante, principalmente lungo le scarpate delle conoidi e, nell'area montuosa, nelle aree a maggior tettonizzazione e processi e depositi legati all'azione fluviale.

Sul totale del territorio oggetto di microzonazione, le aree interessate da frana coprono una superficie totale di 97 ha, delle quali 49 ha riferibili a frane attive per una percentuale del 6,6 %. La maggior parte delle frane rilevate sono di modesta estensione e si sviluppano sulle coperture detritiche o depositi sciolti (di tipologia indifferenziata, ma classificabili per lo più come frane di *scorrimento rotazionale* o talvolta di *scorrimento traslazionale* quando la superficie di scorrimento passa al contatto con la roccia sottostante).

DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per il reperimento dei dati geognostici di base da utilizzare ai fini della costruzione del modello geologico di riferimento per le operazioni di MS, si è fatto riferimento alle istruzioni riportate nell'Appendice 1 alle “Nuove specifiche tecniche” regionali per la realizzazione dei suddetti studi di MS.

Sono stati pertanto visionati il Portale del Servizio Geologico d'Italia e gli Archivi delle banche dati della Regione Toscana. Sono stati reperiti dati di base provenienti dall'archivio della Regione Toscana relativi ai Progetti VEL e DOCUP, nonché dai dati di archivio degli scriventi e dai dati recuperati presso l'archivio dell'UTC.

Si tratta in particolare di:

Dati puntuali

Sono stati raccolti n.119 dati puntuali, dei quali 35 misure di rumore sismico appositamente realizzate, nonché n. 5 CPT, n. 9 CPT-DPSH, n. 33 sondaggi a carotaggio continuo, n.1 sondaggi a distruzione di nucleo, n. 22 sondaggi con prova sismica in foro tipo Downhole.

Di questi, provengono dalle indagini VEL n. 9 sondaggi e dalle indagini DOCUP n. 5 sondaggi.

Dati lineari

Sono state riportate n. 69 dati lineari, tra i quali le prospezioni del progetto VEL (n. 25 prospezioni sismiche P e Sh) e le prospezioni del progetto DOCUP (n. 9 prospezioni sismiche P e Sh).

UNITÀ GEOTECNICHE

L'elaborazione dei parametri geotecnici derivati da tali dati hanno permesso di distinguere le seguenti unità geotecniche relative ai terreni di copertura e al substrato geologico rigido.

Terreni di copertura

RI - Terreni contenenti resti di attività antropica (**h5-rp**)

GW - Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie: sono stati associati a questa categoria le alluvioni recenti ed i depositi di conoide (**b-all2**)

GP - Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie: sono stati associati a questa categoria le alluvioni attuali dei corsi d'acqua (**bn1-all1**)

GM - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo: sono stati associati a questa categoria le alluvioni antiche dei terrazzi fluviali più bassi e le coperture detritiche (**bn1-at, ct; aa-dt**)

GC - Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla: sono stati associati a questa categoria i ciottolami ad elementi di arenaria dei terrazzi fluviali di ordine superiore (**bn2-at, ct/mg**)

SM - Sabbie limose, miscela di sabbia e limo: sono stati associati a questa categoria i depositi alluvionali presenti all'interno di paleovalli (**bn1-pall**)

Substrato sismico rigido

LP – Substrato Lapideo: sono state associate a questa categoria le formazioni rocciose compatte (**Calcari e marne a Rhaetavicula contorta - RET-cR; Calcari massicci - MAS-cm, Calcari grigio scuri a selci nere SVL-cs2, diabasi massicci e a pillow lavas BAS-Δ, breccie ofiolitiche CCVc-br, Calcareni di Montegrossi - STO3 - Nu**)

AL – Substrato alternanza di litotipi: è stata associata a questa categoria la formazione “caotica” del **Complesso di base CCVa-cb**

LPS – Substrato Lapideo stratificato: è stato associato a questa categoria la formazione rocciosa stratificata del **Macigno MAC-mg**

ALS - Substrato alternanza di litotipi stratificati: sono state associate a questa categoria le formazioni costituite da alternanze di litotipi come **Argille e calcari ACC-ac, Marne a Posidonomya POD-mp, Flysch ad Elmintoidi OTO-fh**

GR - Granulare cementato: sono stati associati a questa categoria i conglomerati calcarei del ciclo lacustre che al loro interno possono contenere intercalazioni di argille e argille sabbiose del ciclo lacustre (**CO**)

CO - Coesivo sovraconsolidato: sono state associate a questa categoria le argille e argille sabbiose del ciclo lacustre che al loro interno possono contenere intercalazioni di conglomerati calcarei del ciclo lacustre (**GR**)

MODELLO DEL SOTTOSUOLO

I dati raccolti evidenziano un modello di sottosuolo caratterizzato dalla presenza di un substrato sismico non roccioso dello spessore variabile da alcuni metri ad alcune decine, costituito da argille molto dure e conglomerati cementati, sovrastato con buona continuità da una copertura costituita da miscela di ghiaie e ciottoli con sabbia e limo o sabbia ed argilla.

In alcuni sondaggi e prospezioni sismiche si rileva la stessa successione stratigrafica generale, con il substrato roccioso che non viene raggiunto nonostante che la profondità dell'esplorazione superi spesso alcune decine di metri, mentre in alcune aree marginali si rilevano profondità di pochi metri fino ad affioramenti diretti del substrato roccioso, generalmente molto alterato e fratturato.

Il modello complessivo del sottosuolo dell'area studiata conferma nelle grandi linee la presenza di un basso tettonico (Graben della Valla del Serchio) limitato ad est e ad ovest da famiglie di faglie dirette, con la presenza di un cratere locale definito da faglie con direzione N-S dislocate e limitate da altre con direzione SW-NE.

In questo basso ha avuto luogo, in età pleistocenica, la sedimentazione di ghiaie ed argille lacustri che attualmente possono essere considerati, per le loro caratteristiche meccaniche, il substrato sismico non roccioso dell'area studiata.

INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

I dati raccolti, sia di tipo puntuale che lineare, provengono per lo più dagli archivi dei progetti VEL e DOCUP della Regione Toscana, mentre gli altri sono stati realizzati seguendone comunque le specifiche tecniche per ottenere dei prodotti di qualità comparabile.

Per le misure di rumore sismico sono state riportate le Classi di qualità della misura secondo i criteri di SESAME 2004, Albarello et alii (2011) e Albarello e Castellaro (2011), da cui si evince la buona affidabilità delle stesse.

METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Con l'elaborazione dei dati disponibili sono state evidenziate le maggiori criticità del territorio in esame. In particolare si evidenziano le instabilità di versante per le quali l'estensione e lo stato di attività sono state mutate dalla cartografia del PAI del F. Serchio.

Sulla base degli studi e delle considerazioni di Puccinelli at Al., relativi all'andamento delle faglie dirette che dislocano il bacino lacustre di Castelnuovo, è stata effettuata una ulteriore distinzione delle stratigrafie a seconda che vi sia o meno la presenza di notevoli spessori di depositi argillosi-ghiaiosi, in affioramento o al di sotto delle coperture superficiali.

ELABORATI CARTOGRAFICI

Carta delle indagini

Nella carta delle indagini sono riportati i dati geotecnici già illustrati al Cap. 4 "Dati geotecnici e geofisici".

Per la rappresentazione di diverse indagini puntuali relative ad un singolo sito sono state seguite le istruzioni presenti nella cartella messa a disposizione dal DPC e dal CNR-IGAG a corredo degli *Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica per la Microzonazione sismica _ Versione 2.0.*

Carta geologico tecnica per la microzonazione sismica

Nella carta Geologico-tecnica sono riportati tutti gli elementi puntuali, lineari ed areali utili per la successiva valutazione delle microzone omogenee.

In particolare sono distinte le coperture in funzione della composizione e della granulometria del materiale presente. Le classi riconosciute (già ricordate tra le unità geotecniche) sono le seguenti:

RI - Terreni contenenti resti di attività antropica (**h5-rp**)

GW - Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie: sono stati associati a questa categoria le alluvioni recenti ed i depositi di conoide (**b-all2**)

GP - Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie: sono stati associati a questa categoria le alluvioni attuali dei corsi d'acqua (**bn1- all1**)

GM - Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo: sono stati associati a questa categoria le alluvioni antiche dei terrazzi fluviali più bassi e le coperture detritiche (**bn1- at, ct; aa-dt**)

GC - Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla: sono stati associati a questa categoria i ciottolami ad elementi di arenaria dei terrazzi fluviali di ordine superiore (**bn2 - at, ct/mg**)

SM - Sabbie limose, miscela di sabbia e limo: sono stati associati a questa categoria i depositi alluvionali presenti all'interno di paleovalli (**bn1- pall**)

Anche il substrato (che per lo più è anche substrato sismico, in quanto presenta $V_s > 800$ m/s) è stato distinto in varie classi in funzione delle caratteristiche litostratigrafiche e meccaniche:

LP – Substrato Lapideo: sono state associate a questa categoria le formazioni rocciose compatte (Calcari e marne a Rhaetavicula contorta - RET-*cR*; Calcari massicci - MAS-*cm*, Calcari grigio scuri a selci nere SVL-*cs2*, diabasi massicci e a pillow lavas BAS-*Δ*, breccie ofiolitiche CCVc-*br*, Calcareniti di Montegrossi - STO3 - *Nu*)

AL – Substrato alternanza di litotipi: è stata associata a questa categoria la formazione “caotica” del Complesso di base CCVa-*cb*

LPS – Substrato Lapideo stratificato: è stato associato a questa categoria la formazione rocciosa stratificata del Macigno MAC-*mg*

ALS - Substrato alternanza di litotipi stratificati: sono state associate a questa categoria le formazioni costituite da alternanze di litotipi come Argille e calcari ACC-*ac*, Marne a Posidonomya POD-*mp*, Flysch ad Elmintoidi OTO-*fh*

GR - Granulare cementato: sono stati associati a questa categoria i conglomerati calcarei del ciclo lacustre che al loro interno possono contenere intercalazioni di argille e argille sabbiose del ciclo lacustre (CO)

CO - Coesivo sovraconsolidato: sono state associate a questa categoria le argille e argille sabbiose del ciclo lacustre che al loro interno possono contenere intercalazioni di conglomerati calcarei del ciclo lacustre (GR)

Sono poi indicate tutte le forme di instabilità presenti nell'area in studio ed in particolare le instabilità di versante (suddivise in instabilità attiva e instabilità quiescente)

Sono poi cartografati i conoidi alluvionali, gli orli di scarpata morfologica e gli orli di terrazzo fluviale.

Sono riportate infine le giaciture degli strati, la profondità dei sondaggi che non hanno raggiunto il substrato rigido, nonché la profondità del substrato stesso, quando raggiunto dalla perforazione.

Carta delle frequenze fondamentali del sottosuolo

La valutazione preliminare degli effetti locali o di sito viene rappresentata attraverso la realizzazione di uno studio di microzonazione (Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica - MOPS). Propedeutica a questo studio è la realizzazione di un congruo numero di misure della/e frequenza/e fondamentale/i del sottosuolo.

La tecnica utilizzata per la redazione della Carta delle frequenze fondamentali del sottosuolo si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nogoshi & Igarashi (1970) o tecnica dei rapporti spettrali HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), in seguito ripresa e perfezionata da Nakamura (1989).

L'individuazione della frequenza fondamentale del sottosuolo o frequenza caratteristica di risonanza del sito rappresenta un parametro fondamentale per evidenziare la presenza di contrasti di impedenza sismica tra coperture e bedrock e/o all'interno delle coperture stesse, contrasti che sono i principali responsabili dei fenomeni amplificativi del moto sismico in superficie. L'individuazione della frequenza caratteristica di risonanza del sito permette inoltre di valutare la possibilità di insorgenza del pericoloso fenomeno della "doppia risonanza", che si manifesta quando la frequenza propria di vibrazione dei fabbricati replica (o comunque approssima) quella propria del terreno.

E' evidente quindi l'utilità della Carta delle frequenze anche nell'indirizzare le scelte urbanistiche sia in termini di altezza delle costruzioni (da cui dipende essenzialmente il valore della frequenza propria di vibrazione), sia in termini di tipologie strutturali.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato artificialmente, come ad esempio nella sismica attiva. Anche il debole rumore sismico infatti, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartato dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione si ritrova all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli, informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle frequenze naturali fn di vibrazione del deposito

$$f_n = 1 / T_n = (V_s * (2n - 1)) / (4 * H)$$

Conoscendo la velocità V_s , l'interpretazione delle curve H/V consente di correlare il valore di picco dello spettro con la profondità ove si manifesta un contrasto di velocità significativo all'interno dei depositi di copertura, ovvero di individuare la profondità del substrato roccioso compatto (bedrock sismico caratterizzato da velocità $V_s > 800$ m/s) conoscendo la velocità della copertura.

Per le analisi del microtremore sismico è stato utilizzato un tromografo digitale della ditta Micromed (Tromino modello TRZ-0101/01-10) con software di elaborazione dedicato. Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate le curve H/V utilizzando i seguenti parametri:

- Tempo di acquisizione: 40 min
- Frequenza di campionamento: 128 Hz
- Larghezza delle finestre d'analisi: 30 s
- Lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo e nella stima dello spessore e delle velocità delle onde S della “copertura”, qualora si abbiano a disposizione sufficienti dati sismo-stratigrafici al contorno.

Sono state effettuate, dalla Geoprove S.a.S. di Lucca (vedi All. 1, cui si rimanda per tutti i dettagli sulle modalità di esecuzione ed interpretazione), n. 35 misure di rumore sismico ambientale a stazione singola localizzate come da tabella seguente, con i relativi valori della frequenza fondamentale e del rapporto HVSR (quando tale rapporto è >2); nell'ultima colonna è riportata la Classe di qualità della misura secondo i criteri di SESAME 2004, Albarello et alii (2011) e Albarello e Castellaro (2011). Sono stati evidenziati solo i valori di frequenza interessanti ai fini ingegneristici civili, compresi tra 1 Hz e ≈ 20 Hz. Si ricorda comunque che l'assenza di picchi $H/V > 2$ all'interno dei *ranges* considerati non significa automaticamente l'assenza di fenomeni amplificativi, dato che possono comunque essere presenti fenomeni di origine bi e tridimensionale (2D÷3D) che la tecnica HVSR non è in grado di risolvere. Tali problematiche devono quindi essere affrontate in sede di indagini di MS di Livello 2 e, particolarmente, di Livello 3. Su quest'ultimo aspetto, anche ai fini della valutazione della pericolosità sismica del territorio in sede di redazione della prossima revisione del Regolamento Urbanistico, di particolare importanza è il recente studio realizzato dal Dipartimento di Ingegneria dell'Energia, dei Sistemi, del Territorio e delle Costruzioni – Gruppo di lavoro Prof. Diego Carlo Lo Presti e Ing. Ilaria Giusti “*Analisi di Risposta Sismica 1D e 2D*” che ha interessato le località Capoluogo e Torrite.

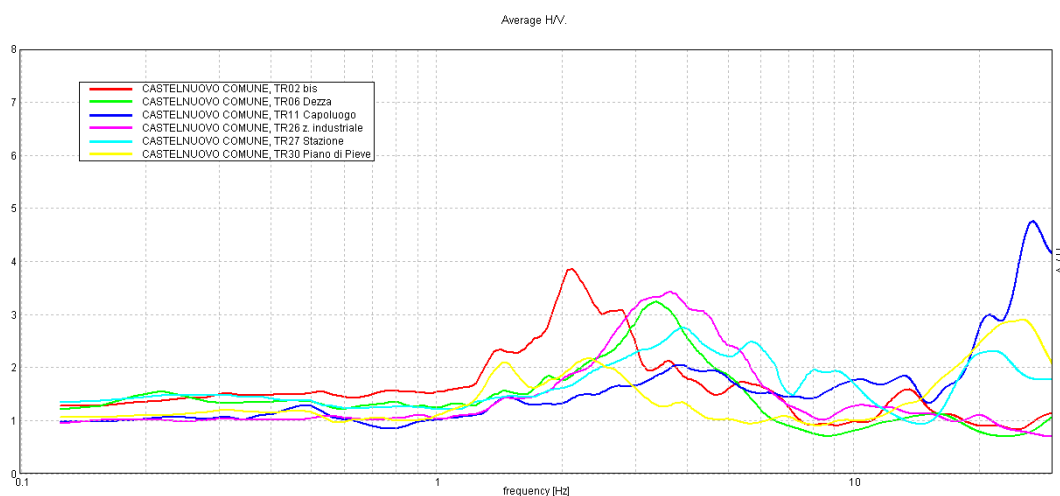
Numero Misura	Località di rilevamento	Picchi tra 0.1 e 20 Hz				Classe
		Principali		Secondari		
		Freq (Hz)	Ampiezza	Freq (Hz)	Ampiezza	
Tr 1	Gragnanella	-	-	-	-	A
Tr 2bis	Pocchera	2,09	3,86	-	-	B
Tr 3bis	Pettinella	-	-	-	-	B
Tr 4bis	Sasso	8,13	2,30	-	-	B
Tr 5	Il Colletto	4,66	4,42	-	-	A
Tr 6	Dezza	3,38	3,24	-	-	A
Tr 7	S. Maria	12,69	3,29	1,38	2,54	B
Tr 8	Capoluogo	4,81	2,41	-	-	B
Tr 9	Capoluogo	16,56	4,10	4,4	2,3	A
Tr 10bis	Capoluogo	4,06	2,26	2	2,1	B
Tr 11	Capoluogo	3,88	2,04	-	-	A
Tr 12	Monte Alfonso	5,63	2,92	-	-	B
Tr13bis	Ai Cerri	11,22	3,33	-	-	B
Tr14	Pasquigliora	5,28	3,55	-	-	A
Tr15	Scepato	5,28	2,69	-	-	B
Tr16	Torrite	16,47	3,77	-	-	A
Tr17	Perdonica	-	-	-	-	A
Tr 18	Cecchetti	18,03	5,34	-	-	A
Tr 19	San Carlo	19,38	3,93	3,75	2,62	A
Tr 20	Antisciana	8,11	2,42	0,7	2,1	B
Tr 21	Debbia	4,88	3,75	-	-	A
Tr 22	Capoluogo	-	-	-	-	B
Tr 23	Saiona	-	-	-	-	B
Tr 24	S. Lucia	19,06	2,75	11,56	2,6	A
Tr 25	Zona industriale	17,16	2,28	-	-	B
Tr 26	Zona industriale	3,59	3,42	-	-	A
Tr 27	Stazione ferroviaria	3,91	2,75	-	-	B
Tr 28bis	Ospedale	15,94	3,44	-	-	B
Tr 29	Le Lame	-	-	-	-	A
Tr 30	Piano di Pieve	2,31	2,17	23	2,9	A
Tr 31	Piano di Pieve	-	-	-	-	B
Tr 32	Piano di Pieve	20,00	4,19	2,47	2,52	A
Tr 33	Piano di Pieve	18,59	3,31	-	-	A
Tr 34	Zona industriale	18,13	3,54	10	2,8	B
Tr 35	Capoluogo	-	-	-	-	B

Per meglio descrivere il significato dei picchi di risonanza del sottosuolo alle varie frequenze, le misure di frequenza realizzate sono state accorpate in 4 set dalle caratteristiche simili. Lo scopo di questi raggruppamenti è di mettere in evidenza gli aspetti salienti delle risonanze del sottosuolo indagato e le possibili correlazioni tra risonanze rilevate e variazioni nella stratigrafia del sottosuolo così come sono note dai dati geologici e stratigrafici (cartografie geologiche, sondaggi,

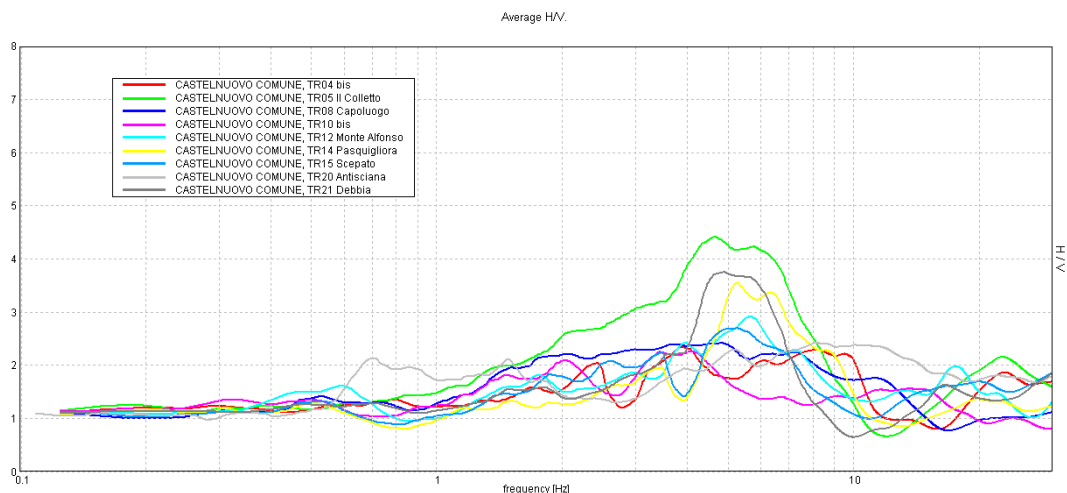
prove penetrometriche, ecc.) alla luce anche degli altri dati sismici (rifrazione, downhole, MASW) disponibili sull'area, come si può desumere dalla relazione della ditta Geoprobe sas (All. 1) della quale si riportano di seguito le conclusioni.

Ogni set contiene spettri H/V relativi a siti con risonanze del sottosuolo a frequenze simili e per ognuno di essi vengono discusse le possibili correlazioni tra risonanze rilevate e variazioni nella stratigrafia del sottosuolo così come sono note dai dati geologici e stratigrafici (cartografie geologiche, sondaggi, prove penetrometriche, ecc.) alla luce anche degli altri dati sismici (sismica a rifrazione, downhole) disponibili sull'area. I nomi e le sigle formazionali adottati nelle descrizioni seguenti sono quelli della Carta Geologica della Regione Toscana alla scala 1:10 000.

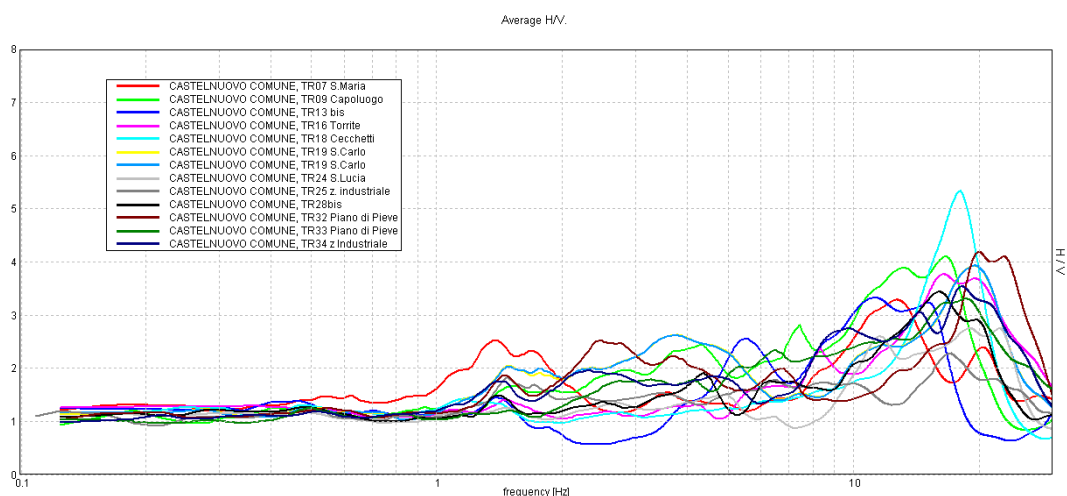
Il set 1 include tutte le curve H/V caratterizzate da un picco di risonanza significativo (H/V maggiore di 2) nell'intervallo di frequenze compreso tra 2 e 4 Hz. I picchi osservati sono correlabili con contrasti di impedenza sismica a profondità di qualche decina di metri correlabili probabilmente con il passaggio tra i depositi della *Formazione di Casanova/membro-CCV2*, appartenente all'Unità di Ottone del Dominio Ligure Esterno, e la *Formazione Macigno-MAC* della Falda Toscana (ad esempio sotto la verticale delle misure TR2 e TR6) oppure con il passaggio tra la *Formazione Macigno* ed il *Membro delle Calcareni di Montegrossi-STO3* (Nummulitico *Auctt.*) (esempi: misure TR11 e TR27)



Il set 2 raggruppa le curve con picchi di risonanza a frequenze maggiori di 4 Hz e minori di 10 Hz, legati a salti di impedenza a profondità comprese tra una decina e poche decine di metri, attribuibili a seconda dei casi ad una delle seguenti contesti stratigrafici: passaggio tra depositi alluvionali recenti e le sottostanti *Formazione dei Conglomerati di Barga-PBL* e *Formazione delle Argille, sabbie e Conglomerati di Fornaci di Barga-AFB*, entrambe appartenenti ai Depositi Fluvio-Lacustri del Bacino di Barga e di Castelnuovo di Garfagnana (es. misura TR12); variazioni di granulometria e/o addensamento all'interno della *Formazione di Casanova* (misura TR4); passaggio tra la *Formazione Macigno* e le *Calcareni di Montegrossi* (es. TR5).

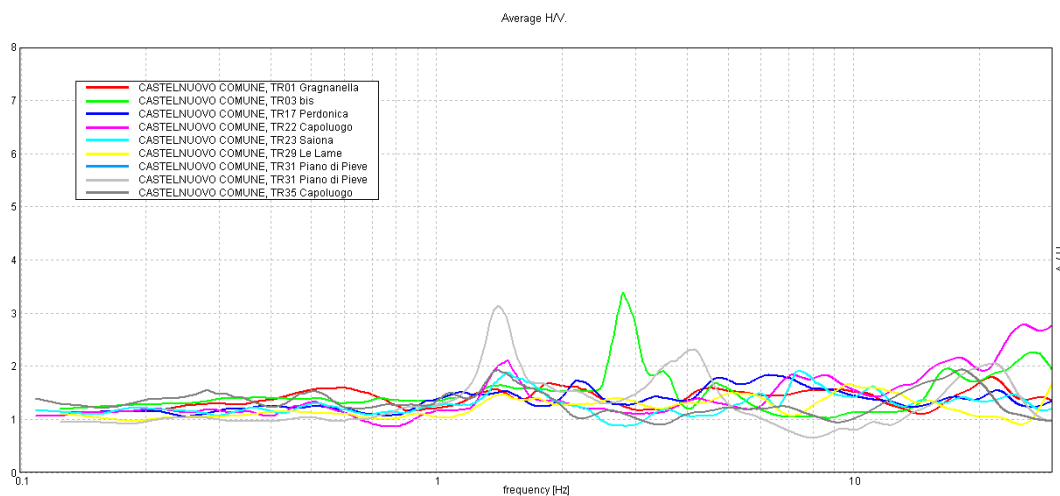


Il set 3 include le curve H/V caratterizzate da picchi di risonanza significativi compresi tra 10 e 20 Hz generati, quindi, da salti di impedenza sismica a deboli profondità, comprese tra pochi metri e 10 metri. Questi contrasti di impedenza sono generati al contatto tra i sedimenti alluvionali attuali/recenti o le coperture detritiche con i sottostanti depositi, sismicamente molto più rigidi, costituiti dalla successione torbiditica oligo-miocenica della *Formazione Macigno* (es. TR24 e TR25) oppure dalla successione clastica plio-pleistocenica appartenente al *Ciclo Fluvio-Lacustre* (TR7).



Il set 4 infine evidenzia situazioni, in cui non sono state rilevate risonanze significative del sottosuolo nell'intervallo di frequenze 0.1-20 Hz. L'assenza di risonanza suggerisce un graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni con la profondità.

I risultati sopra esposti, basati sui rapporti H/V, sono in grado di evidenziare solo gli



effetti dell'amplificazione sismica locale generati da contrasti di impedenza sismica legati a variazioni verticali nella stratigrafia del sottosuolo indagato (effetti 1D). L'esistenza di probabili geometrie complesse nel substrato roccioso sepolto e, di conseguenza, nei depositi elastici più recenti che vi poggiano sopra, suggerisce la possibile esistenza di importanti effetti 2D e 3D che possono concorrere in maniera significativa alla risposta sismica locale.

A titolo di esempio e confronto si riporta la valutazione dei fattori amplificativi effettuata nel citato studio di Lo Presti – Giusti lungo la sezione A-A' in loc. Torrite.

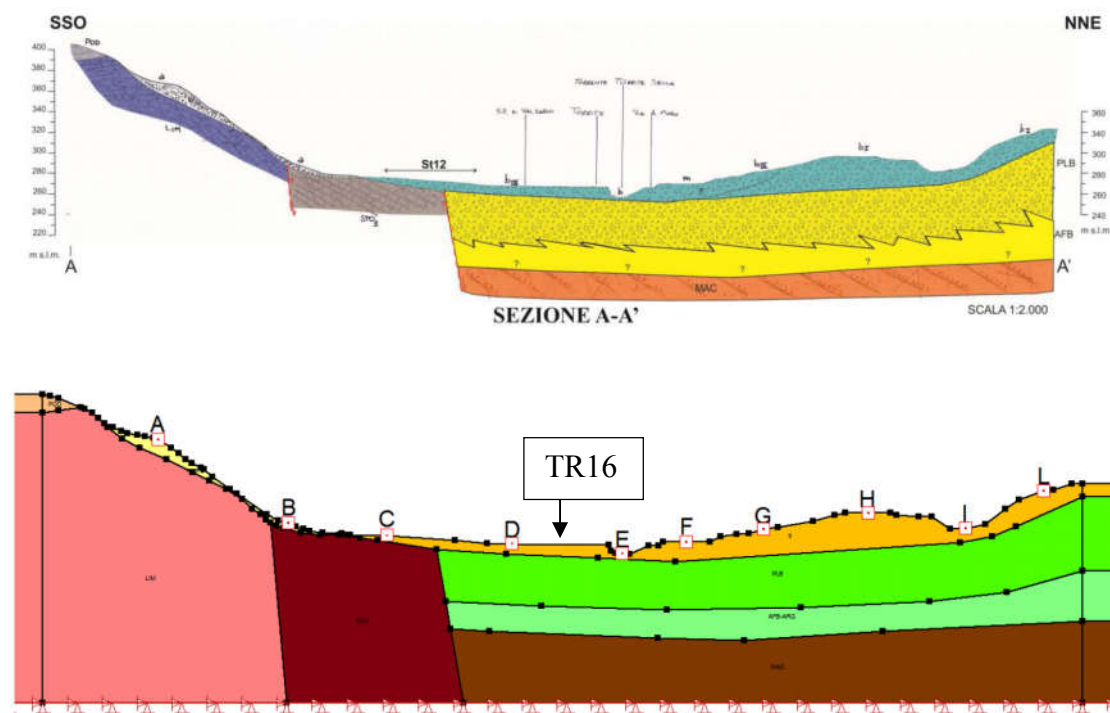


Figura 40: Ubicazione dei nodi analizzati per la sezione A-A', Torrite.

Sia l'analisi 1D, sia quella 2D indicano fattori amplificativi F_a di entità non trascurabile. In particolare, tra il nodo D ed il nodo E, dove è stata effettuata per il presente studio di MS di 1° livello la misura di rumore TR16, il fattore amplificativo risulta compreso tra 2.5 e 3. Di conseguenza ci si aspetterebbe che anche la misura H/V evidenziasse un contrasto di impedenza sismica tra circa 2.3 e 3.8 Hz, considerando un modello semplice con copertura omogenea di spessore compreso tra i 30 ed i 50 m e velocità media $V_s = 450$ m/s.

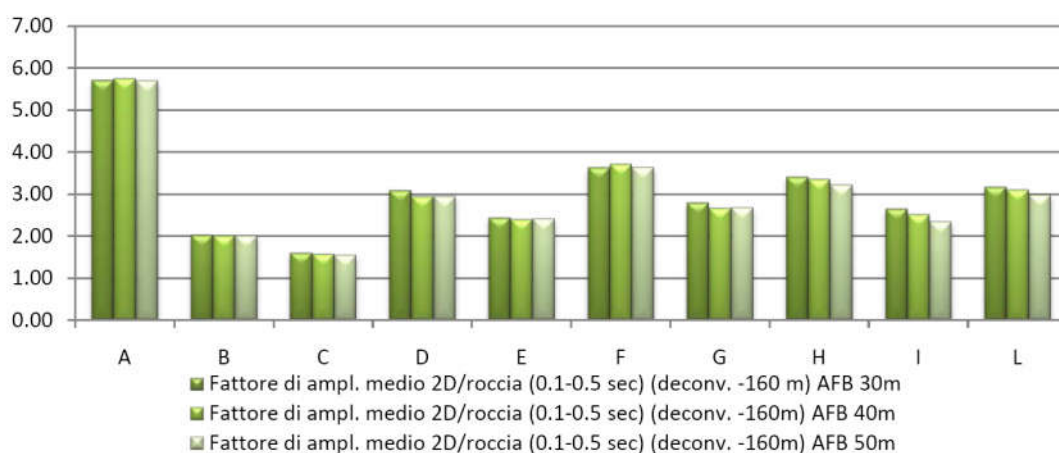


Figura 42: Fattori di amplificazione 2D/roccia medi per la sezione A-A relativi alle diverse profondità del substrato roccioso.

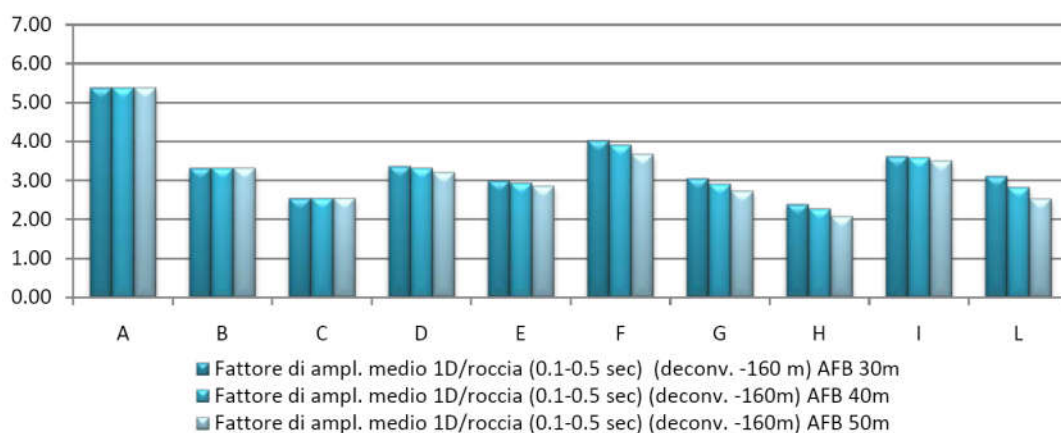
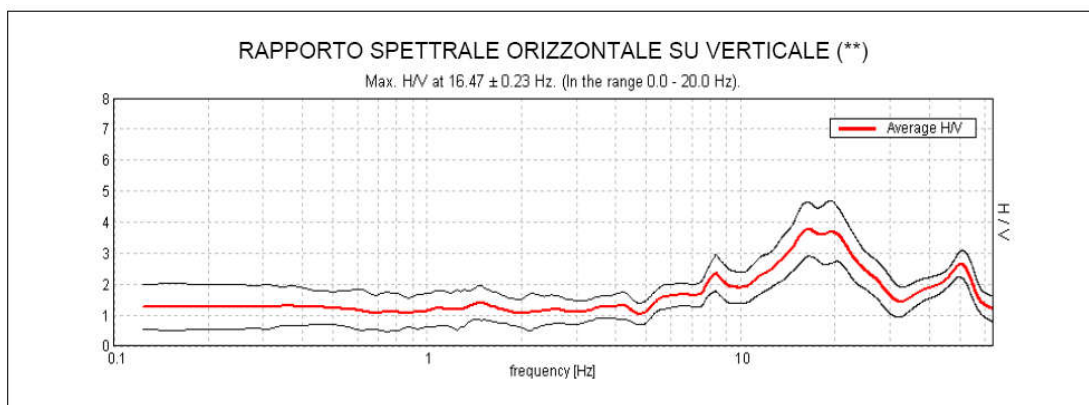


Figura 43: Fattori di amplificazione 1D/roccia medi per la sezione A-A relativi alle diverse profondità del substrato roccioso.

La misura TR16 mostra invece solo un picco intorno a 17-18 Hz, quindi riferibile al contrasto di impedenza sismica tra esile copertura alluvionale e sottostanti depositi fluviolacustri. La discrepanza è in parte spiegabile considerando la presenza di effetti 2D non rilevabili con le misure H/V. Permangono delle discrepanze al confronto tra misure H/V e analisi di amplificazione 1D, probabilmente imputabili alla sismostratigrafia interpretativa assunta come riferimento per le analisi.



Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)

La valutazione preliminare degli effetti locali o di sito ai fini della riduzione del rischio sismico ha consentito di rappresentare:

1. i probabili fenomeni di amplificazione stratigrafica, topografica e per morfologie sepolte;
2. la presenza di faglie e/o strutture tettoniche;
3. i contatti tra litotipi a caratteristiche fisico-meccaniche significativamente differenti;
4. l'accentuazione della instabilità dei pendii;
5. i terreni suscettibili a liquefazione e/o addensamento;
6. i terreni soggetti a cedimenti diffusi e differenziali.

Le situazioni alle quali si assimilano le stratigrafie di riferimento più indicative sono le seguenti:

A. Zone stabili suscettibili di amplificazione topografica, sono le zone dove è affiorante il substrato (geologico e sismico, con eventuale copertura fratturata ed alterata fino ad uno spessore di 3 m) con morfologia inclinata (pendii con inclinazione maggiore di 15°):

Zona 1 (2001): Substrato lapideo **LP** con morfologia non definibile pianeggiante o poco inclinata (spessore >100m)

Zona 2 (2002): Substrato alternanza di litotipi **AL** con morfologia non definibile pianeggiante o poco inclinata (spessore >100m)

Zona 3 (2003): Substrato lapideo stratificato **LPS** con morfologia non definibile pianeggiante o poco inclinata (spessore >100m)

Zona 4 (2004): Substrato alternanza di litotipi stratificati **ALS** con morfologia non definibile pianeggiante o poco inclinata (spessore >100m)

B. Zone stabili suscettibili di amplificazioni stratigrafiche, nelle quali sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della situazione litostratigrafica e morfologica locale. Sono le zone dove sono presenti terreni di copertura o di alterazione con spessori superiori ai 3 m

Zona 5 (2005): Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo **GM** (0-15 m) su substrato lapideo **LP** (spessore >100 m)

Zona 6 (2006): Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo **GM** (0-15 m) su substrato geologico rigido molto fratturato **SF** (0-10 m) su substrato lapideo stratificato **LPS** (spessore >100 m)

Zona 7 (2007): Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo **GM** (0-15 m) su substrato rigido molto fratturato **SF** (0-10 m) su substrato alternanza di litotipi stratificato **ALS** (spessore >100 m)

Zona 8 (2008): Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo **GM** (0-15 m) su substrato granulare cementato **GR** (0->100 m) con possibili intercalazioni di argille e argille sabbiose del ciclo lacustre (**CO**) su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 9 (2009): Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie **GP** (0-15 m) su substrato granulare cementato **GR** (0->100 m) con possibili intercalazioni di argille e argille sabbiose del ciclo lacustre (**CO**) su substrato alternanza di litotipi stratificato **ALS** (spessore >100 m)

Zona 10 (2010): Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo **GM** (0-15 m) su argille sabbiose del ciclo lacustre **CO** (0->100 m) con possibili intercalazioni di granulare cementato **GR** su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 11 (2011): Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie **GP** (0-15 m) su argille sabbiose del ciclo lacustre **CO** (0->100 m) con possibili intercalazioni di granulare cementato **GR** su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 12 (2012): Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie **GW** (0-5 m) su ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie **GP** (0-15 m) su substrato granulare cementato **GR** (0->100 m) con possibili intercalazioni di argille e argille sabbiose del ciclo lacustre (**CO**) su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 13 (2013): argille sabbiose del ciclo lacustre **CO** (0->100 m) con possibili intercalazioni di granulare cementato **GR** su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 14 (2014): substrato granulare cementato **GR** (0->100 m) con possibili intercalazioni di argille e argille sabbiose del ciclo lacustre (**CO**) su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 15 (2015): Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla **GC** (0-15 m) su substrato granulare cementato **GR** (0->100 m) con possibili intercalazioni di argille e argille sabbiose del ciclo lacustre (**CO**) su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 16 (2016): Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla **GC** (0-15 m) su argille sabbiose del ciclo lacustre **CO** (0->100 m) con possibili intercalazioni di granulare cementato **GR** su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 17 (2017): Terreni contenenti resti di attività antropiche **RI** (0-2 m) su ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo **GM** (5-10 m) su substrato granulare cementato **GR** (0->100 m) con possibili intercalazioni di argille e argille sabbiose del ciclo lacustre (**CO**) su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 18 (2018): Terreni contenenti resti di attività antropiche **RI** (0-2 m) su ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie **GP** (5-10 m) su substrato granulare cementato **GR** (0->100 m) con possibili intercalazioni di argille e argille sabbiose del ciclo lacustre (**CO**) su substrato alternanza di litotipi stratificato **ALS** (spessore >100 m)

Zona 19 (2019): Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla **GC** (0-15 m) su argille sabbiose del ciclo lacustre **CO** (0->100 m) con possibili intercalazioni di granulare cementato **GR** su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 20 (2020): Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla **GC** (0-15 m) su Substrato alternanza di litotipi **AL** (>100 m) con eventuale copertura fratturata ed alterata fino ad uno spessore di 3 m

Zona 21 (2021): Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie **GW** (0-5 m) su ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie **GP** (0-15 m) su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 22 (2022): Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie **GP** (0-2 m) su substrato granulare cementato **GR** (0-4 m) su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 23 (2023): Terreni contenenti resti di attività antropiche **RI** (0-2 m) su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 24 (2024): Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla **GC** (0-15 m) su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m) con eventuale copertura fratturata ed alterata fino ad uno spessore di 3 m

Zona 25 (2025): Substrato rigido molto fratturato **SF** (3-20 m) su substrato alternanza di litotipi **AL** (> 100 m)

Zona 26 (2026): Substrato rigido molto fratturato **SF** (3-20 m) su substrato Lapideo stratificato **LPS** (> 100 m)

Zona 27 (2027): Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbie **GP** (0-3 m) su substrato alternanza di litotipi **AL** (>100 m)

Zona 28 (2028): Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie **GW** (0-2 m) su substrato alternanza di litotipi **AL** (>100 m)

Zona 29 (2029): Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo **GM** (0-15 m) su substrato alternanza di litotipi **AL** (>100 m)

Zona 30 (2030): Terreni contenenti resti di attività antropiche **RI** (0-2 m) su substrato lapideo **LP** (>100 m)

Zona 31 (2031): Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie **GW** (0-5 m) su ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di

ghiaia e sabbie **GP** (0-15 m) su argille sabbiose del ciclo lacustre **CO** (0->100 m) con possibili intercalazioni di granulare cementato **GR** su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 32 (2032): Sabbie limose, miscela di sabbia e limo **SM** (0-15) su substrato granulare cementato **GR** (0->100 m) con possibili intercalazioni di argille e argille sabbiose del ciclo lacustre (**CO**) su substrato lapideo stratificato **LPS** (>100 m)

Zona 33 (2033): Sabbie limose, miscela di sabbia e limo **SM** (0-15) su substrato geologico rigido molto fratturato **SF** (0-10 m) su substrato lapideo stratificato **LPS** (spessore >100 m)

Zona 34 (2034): Substrato rigido molto fratturato **SF** (3-20 m) su substrato alternanza di litotipi stratificato **ALS** (> 100 m)

C. zone di attenzione per instabilità, nelle quali gli effetti sismici attesi e predominanti sono riconducibili a deformazioni permanenti del territorio (non sono naturalmente esclusi per queste zone anche fenomeni di amplificazione del moto).

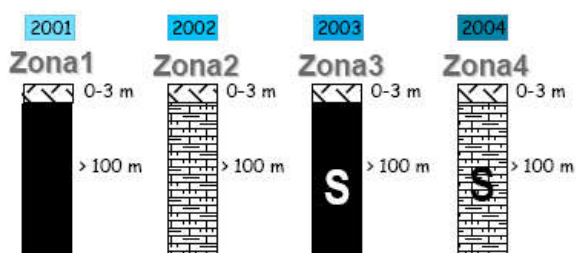
3015 Corpi franosi attivi

3025 Corpi franosi quiescenti

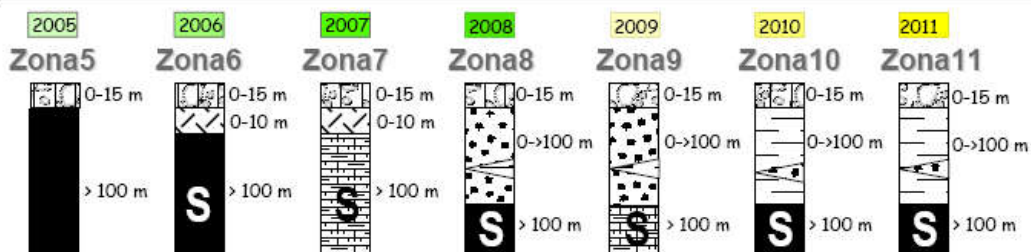
3035 Corpi franosi inattivi

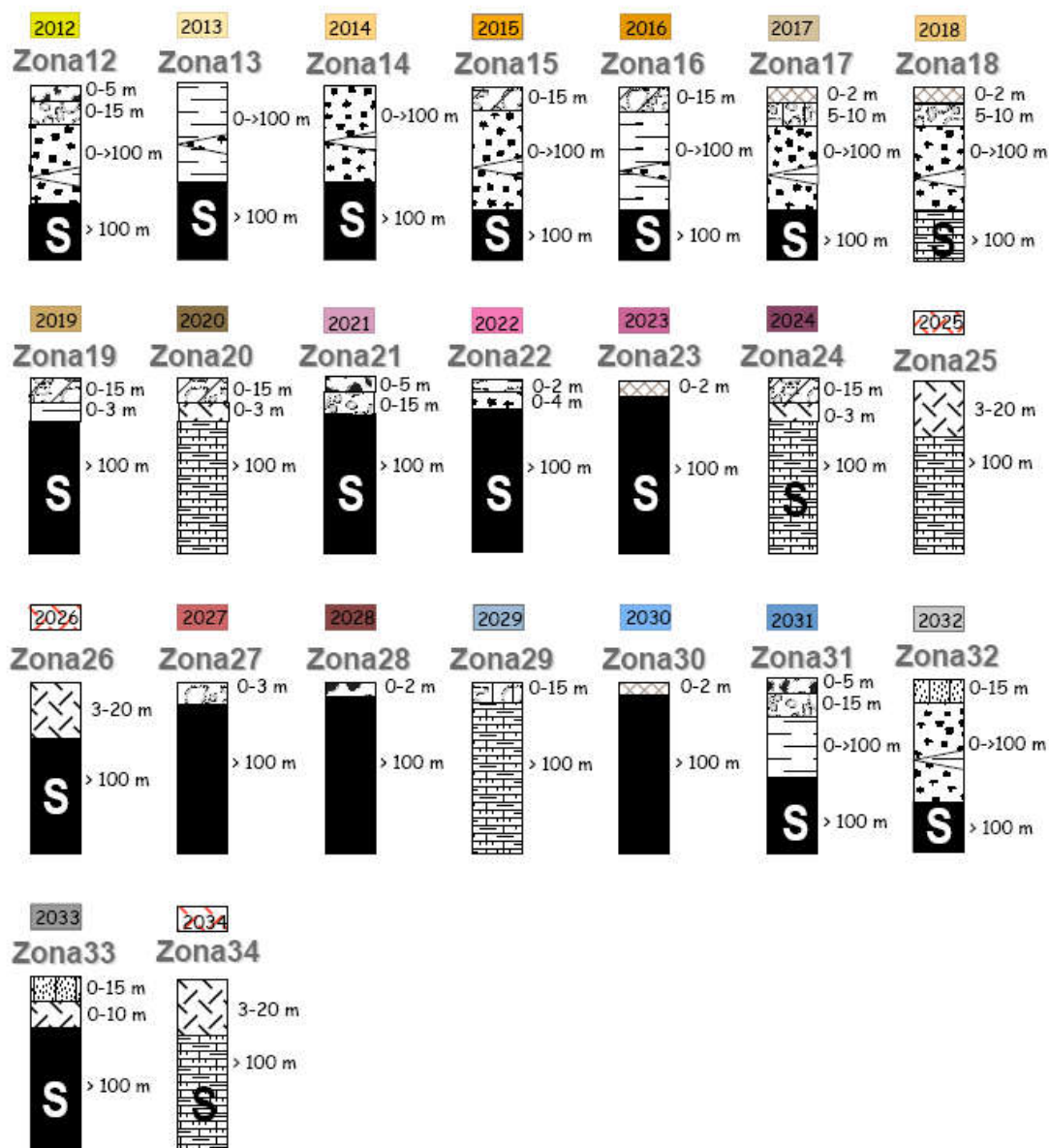
Per una migliore comprensione dei rapporti stratigrafici all'interno delle tre tipologie di zone, vengono riportate di seguito le colonne sintetiche per ogni combinazione rilevata, con i relativi spessori:

Zone stabili suscettibili di amplificazione topografica



Zone stabili suscettibili di amplificazione stratigrafica





Le simbologie utilizzate per gli schemi dei rapporti litostratigrafici sono le seguenti:

LP		Substrato lapideo	CO		Substrato coesivo sovraconsolidato
AL		Substrato alternanza di litotipi	GP		Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
LPS		Substrato lapideo stratificato	GC		Ghiaie argillose, miscela di sabbia, ghiaia e argilla
ALS		Substrato alternanza di litotipi stratificato	GM		Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
SF		Substrato geologico rigido molto fratturato	GW		Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia
GR		Substrato granulare cementato	SM		Sabbie limose miscela di sabbia e limo
			RI		Terreni contenenti resti di attività antropica

Per cinque zone significative dal punto di vista geologico e che interessano le aree a maggior urbanizzazione, sono state riprese dal progetto VEL, con alcune modifiche dettate dalle misure di rumore eseguite, le sezioni geologiche rappresentative allegate (a cura di M. Baglione, V. D'Intinosante, F. Vannini), per evidenziare le correlazioni orizzontali tra le varie zone.

COMMENTI FINALI E CRITICITÀ

Questo lavoro è stato realizzato in continuità con lo Strumento Urbanistico del Comune di Castelnuovo di Garfagnana, realizzato anch'esso dagli scriventi. La collaborazione dell'Ufficio Tecnico comunale è stata quindi ampia e costante, in particolare sulla disponibilità di nuovi dati conoscitivi relativi a indagini e alle segnalazioni di nuovi dissesti.

La predisposizione di un numero congruo di misure di rumore sismico ha permesso di affinare i numerosi dati geotecnici e geofisici già disponibili, la cui qualità è garantita dalla provenienza dalla banca dati dei progetti VEL e DOCUP.

Restano da definire con maggior precisione alcuni aspetti legati alla distribuzione del substrato roccioso, in alcuni casi sovrapponibile sismicamente ai livelli più cementati dei conglomerati pleistocenici. Particolari condizioni topografiche o da paleomorfologie sepolte possono infatti contribuire all'amplificazione sismica locale a causa di effetti bidimensionali e tridimensionali non rilevabili con le misure di microtremore a stazione singola.

CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Le modificazioni urbanistiche degli ultimi 50 anni, evidenti in particolare nelle aree a destinazione industriale, non permettono esaurienti confronti tra la distribuzione dei danni del terremoto del 1920, come illustrato nel Cap. 2, e la parametrizzazione della pericolosità sismica individuata nel presente studio.

Naturalmente più precisi confronti potrebbero essere effettuati tenendo dovuto conto di eventuali differenze nelle tipologie costruttive, anche per aggiornare la vulnerabilità ai fini della risposta sismica locale.

BIBLIOGRAFIA

- AUTORITÀ DI BACINO DEL F. SERCHIO: *Carta della franosità del Bacino del F. Serchio* (scala 1:10.000).
- COCCHI I.: *Carta Geologica delle Alpi Apuane*. Scala 1: 50.000, Castelnuovo di Garfagnana, 1873
- COLTORTI M. & PIERUCCINI P.: *The record of Plio-Pleistocene Uplift and Mountain Building in the fluvial sequence of Barga Basin (Northern Apennines, Tuscany). Quaternary International - Proceedings of the International Meeting & apos; FLAG-SEQS 2004"*. Siena, set. 2004.
- D'AMATO AVANZI G. & PUCCINELLI A.: *La valle villafranchiana della Turrice di Galliciano (Val di Serchio) e le sue implicazioni neotettoniche*. Suppl. Geogr. Fis. Din. Quat. Vol. 1, 1988.
- DE STEFANI C.: *Carta Geologica di parte delle Alpi Apuane*. Scala 1:75.000, 1878
- LANDI E., RAVANI S. SARTI G. & SODINI M.: *The Villafranchian deposits of the Castelnuovo Garfagnana and the Barga Basin (Lucca, Tuscany, Italy): facies analysis and paleoenvironmental reconstruction*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem,108, 2002-2003.
- NARDI R.: *Carta geologica della zona tra Pania della Croce, Galliciano e Castelnuovo di Garfagnana (Alpi Apuane)*. Boll. Soc. Geol. It vol.LXXX fasc.2, scala 1:25.000, 1961.
- NARDI R.: *Schema geologico dell'Appennino Tosco-emiliano tra il M. Cusna e il M. Cimone*. Boll. Soc. Geol. It vol. LXXXIV fasc.5, scala 1:100.000, 1965.
- NARDI R., POCHINI A., PUCCINELLI A.: *Carta geologica e geomorfologica della Garfagnana (Lucca) con indicazioni di stabilità*. Elementi vari - in: Progetto di Terremoto in Garfagnana e in Lunigiana. C.N.R., Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti e Regione Toscana. 1985-1989.
- PERILLI N., PUCCINELLI A., SARTI G. & D'AMATO AVANZI G. : *Villafranchian deposits of the Barga and Castelnuovo Garfagnana basin (Tuscany, Italy): lithostratigraphy and sedimentary features*: Il Quaternario, 17 (2/1), 2004.
- PUCCINELLI A.: *Un'esempio di tettonica recente nella Valle del Serchio: il sollevamento di M. Perpoli*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat. Mem., Ser. A, 94, 1987.
- REGIONE TOSCANA: *Banca dati geologici su web. Elementi 250050, 250060, 250090, 250100*.

- SACCO F.: *La Toscana centrale ed occidentale. Abbozzo di carta geologica.* Scala 1: 100.000, Carte geologiche Torino, 1895.
- ZACCAGNA D.: *Carta geologica delle Alpi Apuane e regioni limitrofe.* Scala 1:250.000, Regio Ufficio geologico, 1899
- ZACCAGNA D.: *Descrizione geologica delle Alpi Apuane.* Memorie descrittive della Carta Geologica d'Italia. Vol. XXV, 1932.

ALLEGATI

INDAGINI GEOFISICHE GEOPROVE S.A.S.

CARTA DELLE INDAGINI - Scala 1: 5.000

CARTA GEOLOGICO-TECNICA - Scala 1: 5.000

CARTA DELLE FREQUENZE FONDAMENTALI DEL SOTTOSUOLO - Scala 1: 5.000

CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA - Scala 1: 5.000