

Attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n. 77

MICROZONAZIONE SISMICA

Relazione Illustrativa

Regione Toscana Comune di Molazzana (LU)



Regione	Soggetto realizzatore:	Data
Regione Toscana – Settore Sismica	Comune di Molazzana / Servizio Assetto del Territorio/RUP Geom. Irene Bonugli Professionisti incaricati: Dott. Geol. Cristian Pieroni Dott. Geol. Francesco Puccetti	Marzo 2022

Indice generale

1. INTRODUZIONE.....	2
1.1 METODOLOGIA.....	2
2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO.....	6
2.1 SISMICITA' DELL'AREA.....	6
2.2 RISCHIO SISMICO.....	9
2.3 MODELLAZIONE SISMICA.....	13
2.4 PERICOLOSITA' SISMICA.....	16
2.5 VERIFICHE DI PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO.....	22
2.6 LIQUEFAZIONE – BASE TEORICA E VERIFICA PER LOCALITA'.....	30
3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA.....	32
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO.....	32
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NOTAZIONI STRATIGRAFICHE.....	34
3.3 DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI.....	36
3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE.....	39
3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE.....	41
3.6 ACCLIVITA' DEI VERSANTI.....	43
4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI.....	44
5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO.....	50
6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE.....	51
7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	52
8. ELABORATI CARTOGRAFICI.....	53
8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE.....	59
8.2 CARTA DELLE INDAGINI E CARTA DELLE FREQUENZE.....	59
8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA.....	61
8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS).....	66
8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA.....	67
8.6 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI.....	73
9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI.....	75
10. BIBLIOGRAFIA.....	76
11. ALLEGATI.....	77

RELAZIONE ILLUSTRATIVA

1. INTRODUZIONE

La Regione Toscana (Direzione Ambiente ed Energia – Settore Sismica) con proprio Decreto Dirigenziale di G.R.T. n. 16262 del 4 ottobre 2018, ha inserito il Comune di Molazzana nella graduatoria relativa alla erogazione di finanziamenti previsti per la redazione di **indagini e studi di microzonazione sismica sui centri urbani** (studi di MS di livello 3) comunali di cui alla Del. G.R.T. n. 468 del 02.05.2018.

Il presente studio è finanziato ai sensi dell'Ordinanza O.C.D.P.C. n. 344/2016 – art. 2, comma 1 lett. a, che disciplina a livello nazionale i contributi per gli interventi di prevenzione del rischio sismico già previsti all'art. 11 della legge n. 77 del 24 giugno 2009.

Con la delibera di cui sopra, la Regione Toscana ha definito le modalità di finanziamento degli studi Microzonazione Sismica.

Il Comune di Molazzana individuava nel Geologo Cristian Pieroni il “soggetto realizzatore” delle indagini in questione da svolgersi nelle more e modalità previste dalle precipe specifiche tecniche regionali approvate con la citata Del. G.R.T. n. 144 del 23.02.2015 “*Approvazione delle specifiche tecniche regionali per l'elaborazione di indagini e studi di microzonazione sismica*” e con esplicito riferimento agli “*Indirizzi e Criteri Generali per la Microzonazione Sismica*” (in seguito denominati ICMS) – GdLDPC/Regioni. Documento approvato dalla Conferenza dei Presidenti delle Regioni nella seduta del 13 novembre 2008.

1.1 METODOLOGIA

La Regione Toscana, con propria Del. G.R.T. n. 144/2015, ha definito il “programma minimo” di tali studi dettagliando:

- *indicazione delle aree di indagine,*
- *indicazione del quantitativo minimo e delle tipologie di indagine da realizzare,*
- *indicazione della documentazione tecnica da produrre.*

In merito ai tre citati punti si dettaglia quanto segue:

1) Indicazione delle aree di indagine

Secondo quanto indicato dalle istruzioni tecniche in materia le suddette attività devono essere concentrate in corrispondenza dei centri urbani maggiormente significativi che il Comune individua secondo le specifiche di cui al Par. 1.B.1.2 delle ITR (Istruzioni Tecniche Regionali) del Programma VEL e perimetra secondo i criteri definiti dagli ICMS.

L'Amministrazione Comunale di Molazzana, di compendio con la Struttura Regionale deputata alla Prevenzione Sismica (Direzione Ambiente ed Energia – Settore Sismica), ha individuato le seguenti aree:

- capoluogo di Molazzana,
- frazione di Cascio.

Al fine di una migliore rappresentazione delle strutture geologiche e delle fenomenologie geomorfologiche, i tematismi cartografici allestiti sono inoltre stati estesi a quelle porzioni di territorio, in adiacenza ai centri urbani,

per cui fosse disponibile cartografia C.T.R. in scala 1:2.000, ricorrendo talvolta a “mosaici cartografici” con cartografia C.T.R. in scala 1:10.000, in settori ove non fosse disponibile cartografia in scala 1:2.000.

2) Indicazione del quantitativo minimo e delle tipologie di indagine

Relativamente alle cartografie geologiche e geomorfologiche in prima fase si è fatto riferimento alle cartografie originali realizzate nell’ambito del supporto geologico tecnico al vigente Strumento Urbanistico del Comune di Molazzana. Tali cartografie sono state rivisitate mediante le recenti indicazioni della cartografia regionale CARG e con appositi rilievi di campagna geologici e geomorfologici di dettaglio.

Si è provveduto inoltre ad acquisire tutte le indagini geognostiche e geofisiche esistenti sulle porzioni di territorio in esame reperibile presso gli archivi regionale, provinciale e comunale.

Il Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica ha, inoltre, fornito l’indicazione di minima, in funzione del quadro conoscitivo esistente, circa la realizzazione delle seguenti indagini geofisiche minime obbligatorie:

CAMPAGNA DI INDAGINE PROPEDEUTICA AGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 1 – SETTEMBRE 2013

- N. 3 prove sismiche a rifrazione con onde P con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità V_p e V_s nel sottosuolo;
- n. 2 prove sismiche a rifrazione con onde P ed onde Sh, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità V_p e V_s nel sottosuolo;
- n. 5 prospezioni di sismica superficiale attiva di tipo Masw per caratterizzare la velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo e definire la valutazione del V_{s30} ;
- n. 29 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr), e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per la definizione della frequenza naturale dei terreni e per la determinazione dell’eventuale comportamento amplificativo degli stessi.

CAMPAGNA DI INDAGINI PROPEDEUTICA AGLI STUDI DI MICROZONAZIONE SISMICA DI LIVELLO 3 – LUGLIO 2019

- n. 2 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 1 linee di sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità V_p e V_s nel sottosuolo;
- n. 1 indagini sismiche attive- passive congiunte Masw – ESAC per caratterizzare la velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo e definire la valutazione del $V_{sEq,30}$;
- n. 3 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremiti (HVSr), e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per la definizione della frequenza naturale dei terreni e per la determinazione dell’eventuale comportamento amplificativo degli stessi.

3) Indicazione della documentazione tecnica da produrre

La delibera prevede che lo studio di microzonazione sismica restituisca i seguenti elaborati tecnici per ciascuna delle frazioni indagate:

- carta delle indagini
- carta geologico-tecnica con relative sezioni
- carta delle frequenze
- carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (M.O.P.S.) con relative sezioni
- carta di microzonazione sismica

e a compendio delle varie cartografie allestite la presente relazione tecnica illustrativa.

Per le frazioni come sopra dettagliate sono pertanto stati realizzati tutti i tematismi sotto dettagliati su base cartografica C.T.R. in scala 1:5.000 (scala adottata per la restituzione grafica dei tematismi rilevati in scala 1:2.000 di dettaglio).

Vengono di seguito riportati gli elaborati e i tematismi appositamente realizzati per gli studi di Microzonazione Sismica di livello 2.

N° Tavola	Titolo	Scala	Data di emissione
	Relazione tecnica illustrativa		marzo 2022
	Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D)		marzo 2022
	Molazzana – Rincine		
G.01	Carta delle indagini	1:5.000	marzo 2022
G.02	Carta delle frequenze	1:5.000	marzo 2022
G.03	Carta geologico - tecnica	1:5.000	marzo 2022
G.04	Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica	1:5.000	marzo 2022
G.05	Carta di Microzonazione Sismica – FA01-05	1:5.000	marzo 2022
G.06	Sezioni geologico-tecniche con indicazione zone Mops	1:2.000	marzo 2022
	Data base “cartella indagini” contenente certificazioni indagini stratigrafiche, geotecniche e sismiche strutturata come da istruzioni “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per Microzonazione Sismica – Versione 4.2” (in formato digitale)		marzo 2022
Microzonazione sismica di livello 1 - Indagini geofisiche di superficie mediante sismica a rifrazione in onde P e Sh– TGeodes			settembre 2022
Microzonazione sismica di livello 1 - Indagini geofisiche di sismica passiva con prove di tipo Hvsr – Geodes			settembre 2022
Microzonazione sismica di livello 3 – Relazione Indagini geofisiche – Geol. Cristian Pieroni & Geol. Francesco Puccetti.			Marzo 2020
Microzonazione sismica di livello 3 – Report Sondaggi (Schede stratigrafiche e documentazione fotografica)			Marzo 2019

Occorre sottolineare che la cartografia realizzata nel presente studio di “microzonazione sismica” costituisce implementazione e adeguamento del quadro conoscitivo del supporto geologico – tecnico agli strumenti urbanistici del Comune di Molazzana, ai sensi dell'ex Regolamento Regionale n. 53/R e del Regolamento Regionale n. 5/R, e risulta di fondamentale importanza per improntare future eventuali scelte secondo il principio dello sviluppo sostenibile.

A questo scopo è importante evidenziare che tutta la cartografia tematica elaborata è georeferenziata nel sistema di riferimento Gauss Boaga, e perciò coerente con la topografia della Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000 / 1:2.000 ed è presentata anche nel sistema WGS84UTM33N.

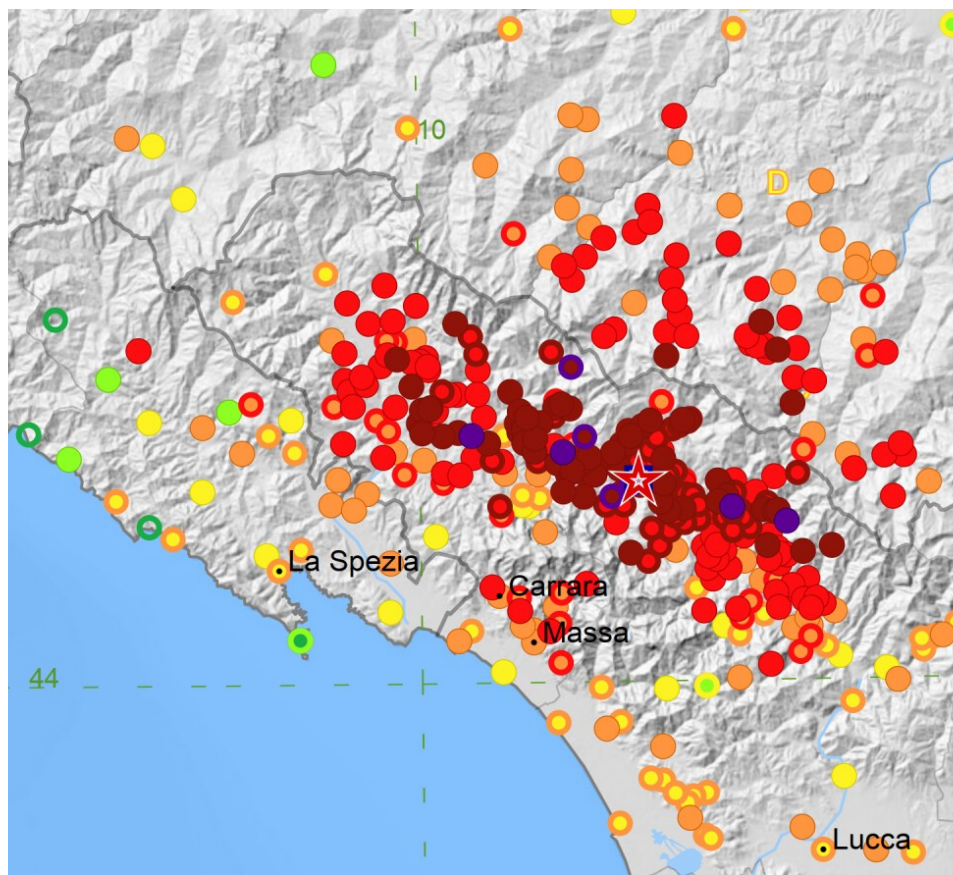
I dati tematici sono tutti vettoriali ed inseriti all'interno di una Banca Dati GIS facilmente interrogabile e aggiornabile, in ottemperanza a quanto richiesto nell'art. 28 della L.R. 1/2005; in particolare, i dati consegnati alla amministrazione comunale sono in formato sia "shape" che "pdf".

Le note illustrative, relative alle tavole elencate, sono contenute nel presente fascicolo **"Relazione illustrativa"**.

2. DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITA' DI BASE E DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

2.1 SISMICITA' DELL'AREA

La sismicità storica del Comune di Molazzana è stata ricostruita con la consultazione del “Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 Release v2.0 - Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli, B., Gasperini P., 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2>.



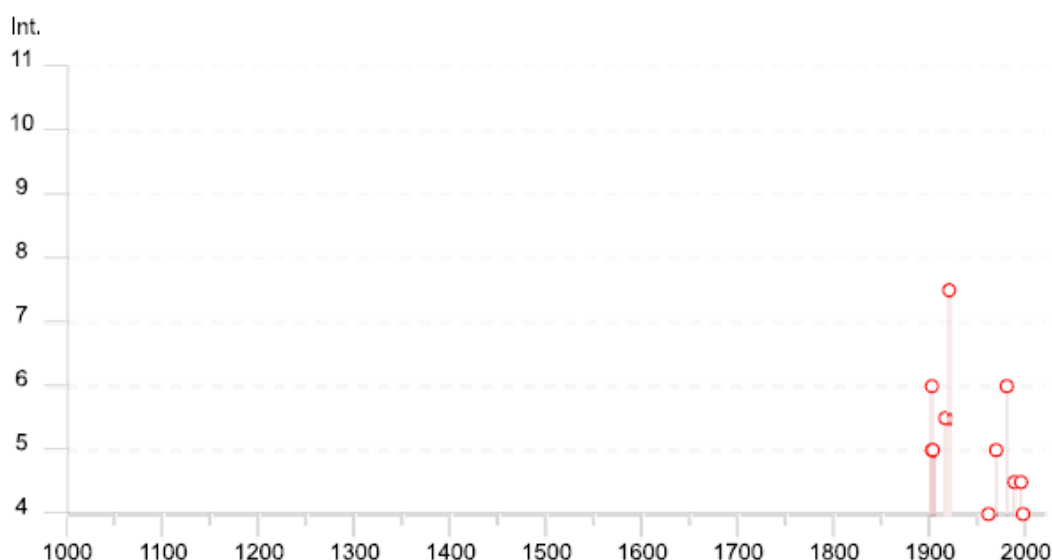
*Localizzazione degli eventi macrosismici a livello regionale nel territorio circostante il Comune di Molazzana
(Periodo 1005 – 2017)*

In particolare gli effetti macrosismici che hanno interessato il Comune di Molazzana sono riconducibili a n. 20 eventi sismici, verificatisi dal 1895 al 2005, con vario grado di intensità sismica. (cfr. Database Macrosismico Italiano DBMI15 - Release v2.0 - Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Antonucci A.. DBMI15, the version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. [doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15](http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15).

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6	1902	03	05	07	06		Garfagnana	83	7	4.98
5	1902	08	04	22	36	1	Lunigiana	60	6	4.78
5	1903	07	27	03	46		Lunigiana	79	7-8	5.19
5-6	1916	07	27	18	38		Garfagnana	22	5-6	4.56
7-8	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
4	1961	08	03	10	26	2	Lunigiana	22	5	4.18
5	1969	01	06	22	03	2	Appennino pistoiese	74	6-7	4.67
6	1980	06	07	18	35	0	Garfagnana	102	6-7	4.64
3	1987	02	10	21	20	1	Lunigiana	54	5	4.09
4-5	1988	02	08	11	24	4	Garfagnana	75	6	4.34
3	1992	05	20	01	21	1	Garfagnana	14	4-5	3.14
4-5	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
NF	1996	07	11	19	09	2	Lunigiana	80	5	4.06
4	1997	12	24	17	53	1	Garfagnana	98	5	4.33
2	2000	10	03	01	12	3	Frignano	62	5	4.22
NF	2002	06	08	20	13	0	Frignano	115	4	4.23

Eventi macrosismici riportati nel DBMI15

La maggiore intensità sismica percepita in questo territorio raggiunge il grado 7-8 MCS nel terremoto avvenuto in Garfagnana nel 1920 (Mw = 6,53).



Distribuzione temporale ed intensità degli eventi macrosismici nel periodo 1850-2020

Analizzando il catalogo delle sorgenti sismogenetiche (DISS - Database of Individual Seismogenic Sources - Basili R., G. Valensise, P. Vannoli, P. Burrato, U. Fracassi, S. Mariano, M.M. Tiberti, E. Boschi, 2008) si

osserva che il territorio del Comune di Molazzana si colloca all'interno dell'area sismogenetica composite codificata come ISS330 “ITIS 050 Garfagnana Nord ”, caratterizzata dai seguenti parametri:

Strike (angolo rispetto al nord):	305°
Dip (inclinazione rispetto al piano campagna):	40°
Profondità min - max:	1 –8.3 km
Magnitudo massima (Mw):	6,5

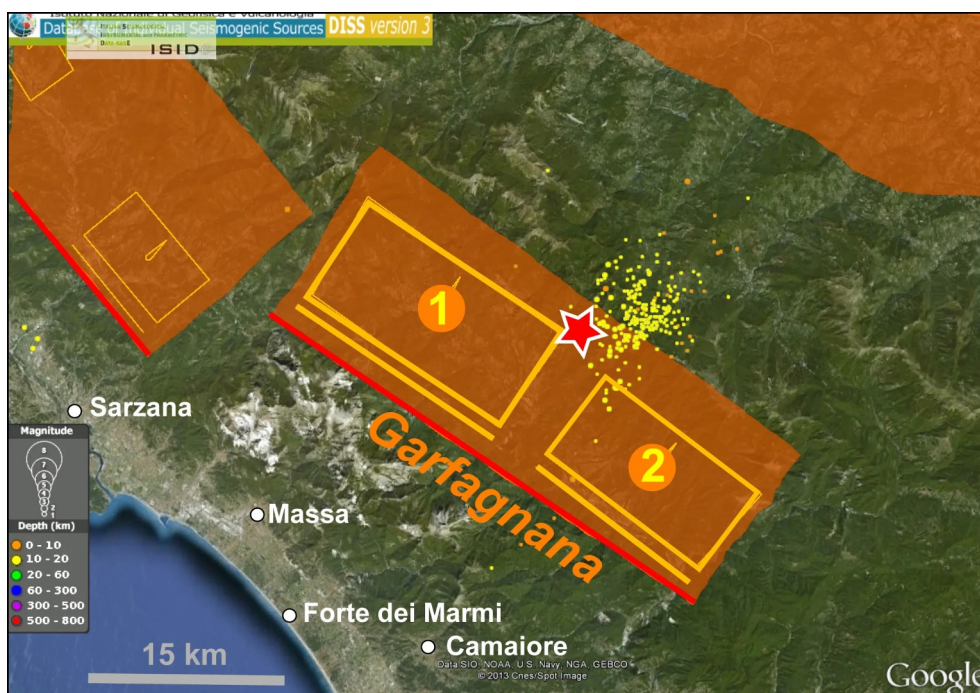
Questa struttura composita corre per oltre 18 km lungo la dorsale dell'Appennino settentrionale, dai settori dell'Appennino Massese (a nord-ovest) verso l'alta valle del Fiume Serchio (a sud-est), .

Contestualmente abbiamo l'area sismogenetica codificata come ISS330 “ITIS 0510 Garfagnana Sud ”, caratterizzata dai seguenti parametri:

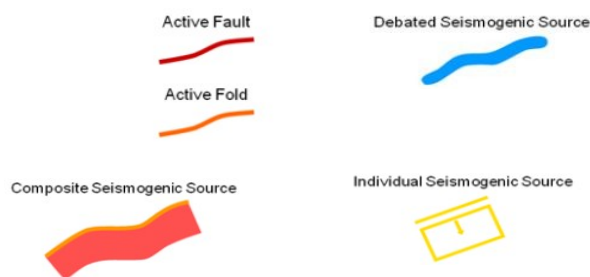
Strike (angolo rispetto al nord):	307°
Dip (inclinazione rispetto al piano campagna):	40°
Profondità min - max:	1 –7.4 km
Magnitudo massima (Mw):	6,5

Questa struttura composita corre per oltre 15 km lungo la dorsale dell'Appennino Lucchese Alta valle del Serchio , dai settori dell'Appennino Lucchese(a nord-ovest) verso l'alta valle del Fiume Lima (a sud-est), .

*Database
of
Individual*



Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0



Potenziali sorgenti sismiche per terremoti con $M > 5.5$

2.2 RISCHIO SISMICO

Il rischio sismico nella accezione corrente rappresenta il probabile danno che un determinato sito può subire in occasione di un sisma. In maniera analitica può essere espresso come il prodotto della pericolosità sismica, della vulnerabilità sismica e della quantificazione economica delle realtà danneggiate. La pericolosità sismica può essere direttamente riferita alla vibrazione che un sito può subire durante un sisma, mentre la vulnerabilità definisce lo stato di conservazione del patrimonio edilizio e delle strutture sociali potenzialmente rese inattive dal sisma. Il parametro relativo alla quantificazione economica delle realtà danneggiate è di difficilissima valutazione poiché comprende, oltre a edifici, strutture produttive ed infrastrutture, anche vite umane e beni artistici e culturali.

La *valutazione del rischio sismico*, in aree ad estensione regionale, viene effettuata mediante la **macrozonazione sismica**, definita come l'individuazione di aree che possano essere soggette, in un dato intervallo di tempo, ad un terremoto di una certa intensità.

All'interno di queste aree si possono valutare, con maggior dettaglio, le differenze di intensità massima dovute a differenti situazioni geologiche locali attraverso procedure il cui insieme costituisce la **microzonazione sismica**. Infatti l'esame della distribuzione dei danni prodotti da un terremoto nello stesso territorio dimostra che le azioni sismiche possono assumere anche a distanze di poche decine di metri caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni locali (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, etc.).

La microzonazione sismica mira ad individuare gli strumenti necessari a prevedere e a mitigare gli effetti sismici in una zona di dimensioni urbane, tramite opportuni criteri d'uso del territorio.



Le indagini per la *valutazione del rischio sismico* sono, pertanto, suddivise in due fasi.

Macrozonazione sismica

Fornisce un quadro generale del potenziale sismico e quindi della pericolosità sismica di una regione, con l'individuazione delle aree sismiche e di quelle non soggette a sisma.

Nell'ambito dell'Ordinanza P.C.M. n. 3274/03 si sono individuate 4 zone, delle quali le prime tre coincidono con quelle (Categorie) individuate dalla L.n. 64/74 e successivi D.M. ad essa collegati, mentre la quarta è di nuova

costituzione. In quest'ultima zona le regioni possono imporre l'obbligo della progettazione antisismica e stabilire norme e criteri specifici.

Sulla scorta di questa nuova classificazione il territorio del Comune di Molazzana è inserito in Zona 2.

La OPCM n. 3519 del 28 aprile 2006 disciplina i criteri alla base degli studi per la definizione della pericolosità sismica utili alla riclassificazione sismica del territorio nazionale, ma definisce anche con:

- la lett. g) la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle zone sismiche che dovranno prevedere:
- la discretizzazione dell'elaborato di riferimento rispetto ai confini dei comuni. E' opportuno a tale proposito che il passaggio fra zone sismiche territorialmente contigue sia definito in termini gradualità, sia all'interno di ciascuna regione che al confine di regioni diverse.
- la definizione di eventuali sottozone nell'ambito di uno stesso comune e secondo quanto previsto alla lett. a) per descrivere meglio l'azione sismica, soprattutto in relazione alle esigenze di valutazione e di recupero degli edifici esistenti.
- la lett. c) - sulla base della valutazione di a_g l'assegnazione di un territorio ad una delle zone sismiche potrà avvenire, secondo la tab. di cui alla lett. a), con la tolleranza di 0,025 a_g .

Il territorio comunale di Molazzana rimane in **zona 2 nella più recente classificazione regionale**.

Zona sismica	Descrizione	accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni $[a_g]$	accelerazione orizzontale massima convenzionale (Norme Tecniche) $[a_g]$	numero comuni con territori ricadenti nella zona (*)
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	$a_g > 0,25 \text{ g}$	0,35 g	703
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	$0,15 < a_g \leq 0,25 \text{ g}$	0,25 g	2.224
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	$0,05 < a_g \leq 0,15 \text{ g}$	0,15 g	3.002
4	E' la zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	$a_g \leq 0,05 \text{ g}$	0,05 g	1.982

Microzonazione sismica

Individua le risposte sismiche locali nell'ambito di una zona dell'ordine di grandezza di un comune o di una città metropolitana, fornendo informazioni di dettaglio relative agli effetti locali, ottimizzando quindi i dati rilevati tramite la macrozonazione.

Compito precipuo della microzonazione è quello di individuare terreni dinamicamente instabili e stimare le accelerazioni che si possono verificare in terreni dinamicamente stabili, poiché condizioni geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche particolari possono determinare variazioni nella risposta sismica locale e di conseguenza sulla pericolosità del sito.

NTC

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 – Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) e successivamente del D.M. 17 gennaio 2018 – Nuove norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), viene definita mediante un approccio "sito-dipendente" e non più tramite un criterio "zona-dipendente".

Secondo l'approccio "zona dipendente", adottato dalla precedenti normative nazionali in campo antisismico, l'accelerazione di base a_g , senza considerare l'incremento dovuto ad effetti locali dei terreni, derivava direttamente dalla Zona sismica di appartenenza del comune nel cui territorio è localizzato il sito di progetto.

Pertanto, la classificazione sismica del territorio è scollegata dalla determinazione dell'azione sismica di progetto, mentre rimane il riferimento per la trattazione di problematiche tecnico-amministrative connesse con la stima della pericolosità sismica. Pertanto, secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, la stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (tabella 1, allegato B del D.M. 14 gennaio 2008).

Tale griglia è costituita da 10.751 nodi (distanziati di non più di 10 km) e copre l'intero territorio nazionale ad esclusione delle isole (tranne Sicilia, Ischia, Procida e Capri) dove, con metodologia e convenzioni analoghe vengono forniti parametri spettrali costanti per tutto il territorio (tabella 2 ,allegato B del D.M. 14 gennaio 2008); tale considerazione riguarda anche le isole dell'arcipelago toscano. La Toscana è interessata da 936 nodi.

Per ciascuno dei nodi della griglia vengono forniti, per 9 valori del periodo di ritorno (da 30 anni a 2.475 anni), i valori dei parametri a_g (espresso in $g/10$), F_0 (adimensionale) e T^*c (espresso in secondi) necessari per la definizione dell'azione sismica.

Secondo quanto riportato nell'allegato A del D.M. 14 gennaio 2008, definite le coordinate del sito interessato dal progetto, sarà possibile il calcolo dei suddetti parametri spettrali (per uno dei tempi di ritorno forniti) tramite media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni (Tabella 1 in Allegato B) che comprendono il sito in esame. Qualora il tempo di ritorno richiesto sia differente da uno dei 9 tempi di ritorno forniti in tabella, sarà possibile ricavare il valore del parametro di interesse mediante interpolazione tra i valori dei parametri corrispondenti ai due tempi di ritorno (dei nove forniti per ognuno dei nodi del reticolo di riferimento) che comprendono il tempo di ritorno necessario.

A tale proposito sono state predisposte dal Servizio Sismico della Regione Toscana, le mappe di pericolosità relative alla distribuzione dei nodi della griglia per ciascuna delle dieci province.

Per ogni territorio comunale è riportata inoltre la classificazione sismica (Del. GRT n. 431 del 19 giugno 2006) sia in mappa che in forma tabellare. Infine, sempre in tabella, è illustrato a titolo indicativo anche il valore di accelerazione (a_{g475}), calcolato in corrispondenza della sede comunale.

Si ricorda che i valori di accelerazione vanno divisi per 10. Pertanto, i valori di accelerazione del settore nord del territorio comunale sono compresi tra 0,175 e 0,200 g ,

L'attività di valutazione su un territorio (alla scala comunale) delle modificazioni apportate allo scuotimento del suolo dalle condizioni geologico-tecniche locali e dalle condizioni topografiche locali viene chiamata **microzonazione sismica (MS)**.

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.

Si definiscono “**condizioni locali di sito**”:

- la geologia e la geomorfologia locale;
- condizioni geotecniche e stratigrafiche locali;
- prossimità ad una faglia sismicamente attiva.

Le condizioni locali di sito sono responsabili degli effetti locali di sito che possono schematicamente essere così riassunti:

- modifica delle caratteristiche dello scuotimento rispetto a quanto definito in termini di pericolosità di base;
- fenomeni di instabilità del terreno.

Per ciò che attiene alla modifica del moto sismico, si tratta di definire la **pericolosità sismica locale**. Ciò comporta in generale un’amplificazione del moto sismico, la cui causa è riconducibile a motivi stratigrafici (presenza di depositi soffici poggianti su substrato roccioso), topografici (amplificazione del moto sismico lungo pendii o alla sommità di scarpate o pendii) oppure riferibile alla presenza di particolari geometrie sepolte, in grado di modificare le caratteristiche del moto sismico sia in termini di intensità sia per quanto concerne il contenuto spettrale.

Per quanto concerne i fenomeni di instabilità dei terreni e delle rocce gli aspetti rilevanti sono quelli che riguardano:

- liquefazione e/o densificazione dei depositi sabbiosi;
- eccessivi cedimenti e deformazioni permanenti del suolo;
- instabilità di pendio in terreni e roccia;
- attività di faglia.

Danni consistenti possono ricorrere quando la frequenza di risonanza di un terreno raggiunta durante un evento sismico corrisponde a quella propria dell’edificio (fenomeno della doppia risonanza).

La pericolosità di base è di norma definita mediante approccio di tipo probabilistico. In generale, per la determinazione della pericolosità di base è necessario definire:

- la sismicità storica;
- le zone sismogenetiche;
- le relazioni di attenuazione;
- le leggi di ricorrenza.

A tal fine è necessario raccogliere e interpretare dati e informazioni riguardanti la sismicità regionale, la sismo-tettonica, dati e registrazioni ottenuti da reti sismiche nazionali e locali.

Per quanto riguarda la stima della pericolosità sismica locale, essa è da ricondurre ad una serie di caratteri geologico-tecnici di un’area più o meno ampia che viene presa in esame. Tali caratteri geologico tecnici come è

noto riguardano: la morfologia di superficie, la morfologia sepolta, le litologie, le caratteristiche fisico meccaniche, le condizioni idrogeologiche s.l. Queste condizioni infatti oltre ad essere causa di possibile amplificazione degli effetti sismici possono provocare i cosiddetti fenomeni indotti, quali: attivazione e rimobilizzazione di fenomeni gravitativi, liquefazione in terreni granulari saturi, deformazioni permanenti in terreni di fondazione.

La **valutazione degli effetti locali** di amplificazione del moto sismico e quindi la pericolosità sismica locale sono di norma valutati attraverso analisi di risposta sismica locale dei depositi di terreno.

A riguardo la normativa di riferimento (D.M. 14.09.2008) consente di valutare gli effetti locali di amplificazione del moto sismico sia in modo semplificato, sia con modalità analitiche più rigorose.

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 V_s , cioè della velocità delle onde di taglio.

2.3 MODELLAZIONE SISMICA

Per valutare se un'opera strutturale è sicura bisogna far riferimento a degli *stati limite*, che possono verificarsi durante un determinato *periodo di riferimento* della stessa opera. Quindi per poter stimare l'azione sismica, che dovrà essere utilizzata nelle verifiche agli stati limite o nella progettazione, bisognerà stabilire:

- in primo luogo la *vita nominale* dell'opera, che congiuntamente alla *classe d'uso*, permette di determinare quel *periodo di riferimento*;
- una volta definito il periodo di riferimento e i diversi stati limite da considerare, una volta definite le relative *probabilità di superamento*, è possibile stabilire il *periodo di ritorno* associato a ciascun stato limite;
- a questo punto è possibile definire la **pericolosità sismica di base** per il sito interessato alla realizzazione dell'opera, facendo riferimento agli studi condotti sul territorio nazionale dal Gruppo di Lavoro 2004 nell'ambito della convenzione-progetto S1 DPC-INGV 2004-2006 e i cui risultati sono stati promulgati mediante l'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006.

VITA NOMINALE, CLASSI D'USO E PERIODO DI RIFERIMENTO

Nelle NTC il periodo di riferimento, che non può essere inferiore a 35 anni, è dato dalla seguente relazione:

$$V_R = V_N \times C_U \quad (2.1)$$

dove:

V_R = *periodo di riferimento*

V_N = *vita nominale*

C_U = *coefficiente d'uso*

La vita nominale di un'opera strutturale V_N , secondo le NTC, è definita come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata e viene definita attraverso tre diversi valori, a seconda dell'importanza dell'opera e perciò delle esigenze di durabilità:

$V_N \leq 10$ anni per le opere provvisorie, provvisionali e le strutture in fase costruttiva che però abbiano una durata di progetto ≥ 2 anni.

$VN \geq 50$ anni per le opere ordinarie, ponti, infrastrutture e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale.

$VN \geq 100$ anni per grandi opere, ponti, infrastrutture e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica.

In esempio $VN = 50$ anni.

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Le NTC prevedono quattro classi d'uso a ciascuna delle quali è associato un valore del coefficiente d'uso:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli. $CU = 0.7$;

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso *III* o in Classe d'uso *IV*, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti. $CU = 1.0$;

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso *IV*. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso. $CU = 1.5$;

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie, ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica. $CU = 2.0$;

In esempio viene presa in considerazione la **classe d'uso II** a cui è associato il coefficiente d'uso $CU = 1$.

Una volta ottenuti VN e CU , è possibile calcolare il periodo di riferimento VR , che ad esempio vale:

$$VR = 50 * 1 = 50 \text{ anni.}$$

STATI LIMITE, PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO E PERIODO DI RITORNO

Le NTC prendono in considerazione 4 possibili *stati limite* (SL) individuati facendo riferimento alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti: due sono *stati limite di esercizio* (SLE) e due sono *stati limite ultimi* (SLU). Uno stato limite è una condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

Più in particolare le opere e le varie tipologie strutturali devono essere dotate di capacità di garantire le prestazioni previste per le condizioni di esercizio (sicurezza nei confronti di SLE) e di capacità di evitare crolli, perdite di equilibrio e di dissesti gravi, totali o parziali, che possano compromettere l'incolumità delle persone o comportare la perdita di beni, oppure provocare gravi danni ambientali e sociali, oppure mettere fuori servizio l'opera (sicurezza nei confronti di SLU).

Gli stati limite di esercizio sono:

Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;

Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:

Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le NTC, in presenza di azioni sismiche, richiedono le verifiche allo SLO solo per gli elementi non strutturali e per gli impianti di strutture di classi d'uso III e IV. Lo SLO si utilizza anche come riferimento progettuale per quelle opere che devono restare operative durante e subito dopo il terremoto. Le verifiche allo SLC sono, invece, richieste solo per le costruzioni o ponti con isolamento e/o dissipazione.

Ad ogni stato limite è associata una *probabilità di superamento PVR*, ovvero la probabilità che, nel periodo di riferimento VR, si verifichi almeno un evento sismico ($n \geq 1$) di ag prefissata (ag = accelerazione orizzontale massima del suolo) avente frequenza media annua di ricorrenza $\lambda = 1/TR$ (TR = periodo di ritorno).

Stati limite e rispettive probabilità di superamento, nel periodo di riferimento VR

Stati limite			PVR
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	81%
	Stato limite di danno	SLD	63%
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	10%
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	5%

Fissati VR e PVR associata ad ogni stato limite, è possibile calcolare il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni, mediante l'espressione riportata nell'Allegato A delle NTC08:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} \quad (3.1)$$

Tale relazione tra PVR (probabilità) e TR (statistica) risulta biunivoca poiché utilizza la distribuzione discreta Poissoniana.

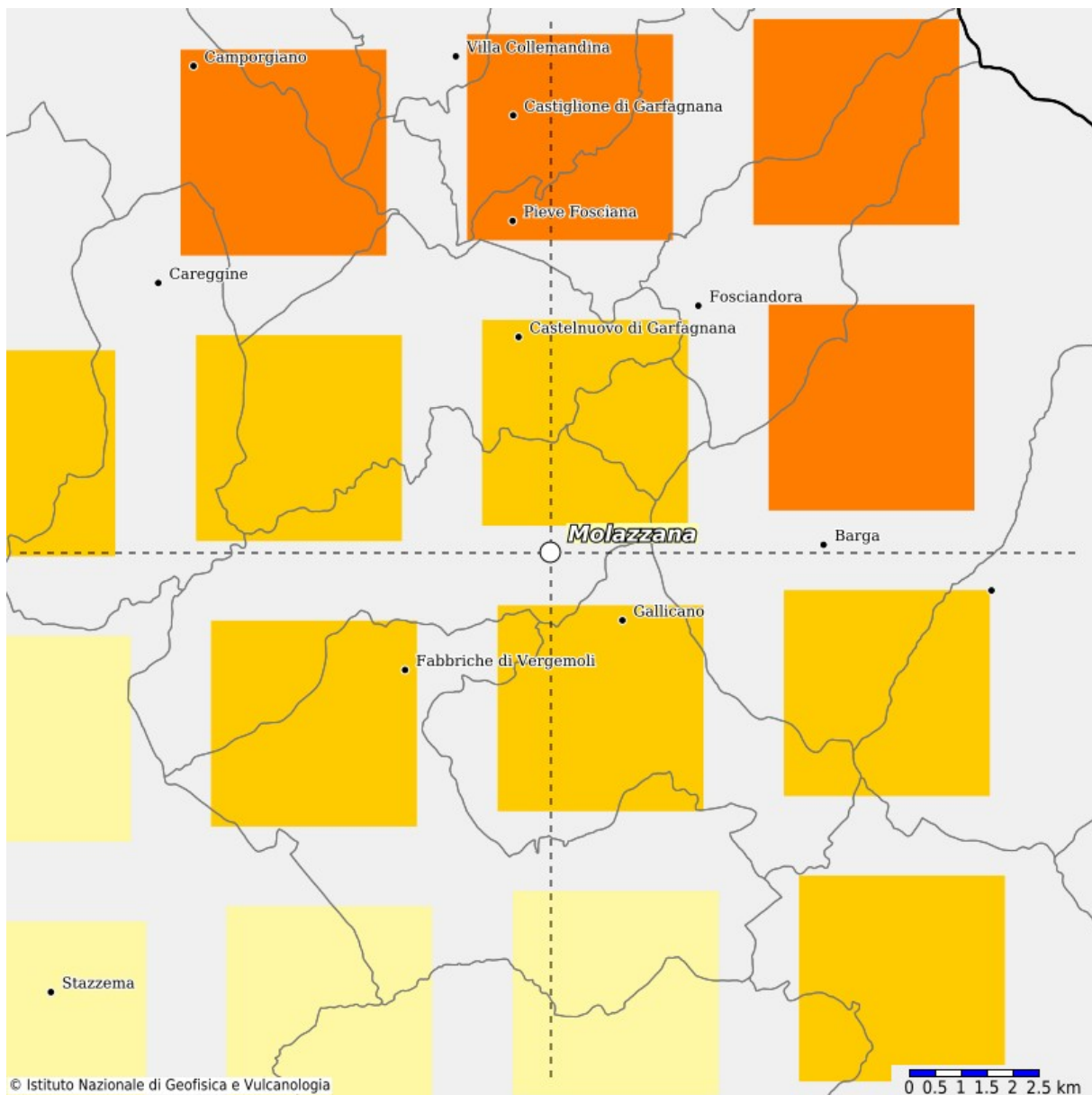
Poiché è **VR = 50 anni**, il tempo di ritorno TR sarà:

Stati limite e rispettivi tempi di ritorno, nel periodo di riferimento VR

Stati limite			TR
Stati limite di esercizio	Stato limite di operatività	SLO	30
	Stato limite di danno	SLD	50
Stati limite ultimi	Stato limite di salvaguardia della vita	SLV	475
	Stato limite di prevenzione del collasso	SLC	975

2.4 PERICOLOSITA' SISMICA

In termini generali la pericolosità sismica dell'area di intervento è valutabile facendo riferimento agli studi condotti dal “Gruppo di Lavoro MPS, 2004” nell’ambito della “Convenzione - Progetto “S1” DPC - INGV 2004-2006” i cui risultati sono stati promulgati mediante l’Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri (OPCM) 3519/2006 (cfr. Mappa MPS04-S1).



Mappa di pericolosità sismica - Accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi ($V_s > 800$ m/s; cat.A) – da INGV

DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione “Mappe interattive della pericolosità sismica”.

Secondo le NTC le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A alle NTC08:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_0 e T_c^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

I valori di questi parametri vengono forniti nella seguente tabella, contenuta nell'Allegato B delle NTC08, per i 10751 punti di un reticolo di riferimento in cui è suddiviso il territorio nazionale, identificati dalle coordinate geografiche longitudine e latitudine.

ID	LON	LAT	TR = 30			TR = 50			TR = 72			TR = 101		
			a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*	a_g	F_0	T_c^*
13111	6.5448	45.1340	0.263	2.500	0.180	0.340	2.510	0.210	0.394	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13333	6.5506	45.0850	0.264	2.490	0.180	0.341	2.510	0.210	0.395	2.550	0.220	0.469	2.490	0.240
13555	6.5564	45.0350	0.264	2.500	0.180	0.340	2.510	0.200	0.393	2.550	0.220	0.466	2.500	0.240
13777	6.5621	44.9850	0.263	2.500	0.180	0.338	2.520	0.200	0.391	2.550	0.220	0.462	2.510	0.240
12890	6.6096	45.1880	0.284	2.460	0.190	0.364	2.510	0.210	0.431	2.500	0.220	0.509	2.480	0.240
13112	6.6153	45.1390	0.286	2.460	0.190	0.366	2.510	0.210	0.433	2.500	0.220	0.511	2.480	0.240
13334	6.6210	45.0890	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.434	2.500	0.220	0.511	2.490	0.240
13556	6.6268	45.0390	0.288	2.460	0.190	0.367	2.510	0.210	0.433	2.510	0.220	0.510	2.490	0.240
13778	6.6325	44.9890	0.288	2.460	0.190	0.366	2.520	0.210	0.430	2.510	0.220	0.507	2.500	0.240
14000	6.6383	44.9390	0.286	2.470	0.190	0.363	2.520	0.210	0.426	2.520	0.220	0.502	2.500	0.240
14222	6.6439	44.8890	0.284	2.470	0.190	0.360	2.530	0.210	0.421	2.530	0.220	0.497	2.500	0.240
12891	6.6803	45.1920	0.306	2.430	0.200	0.389	2.500	0.210	0.467	2.470	0.230	0.544	2.490	0.230
10228	6.6826	45.7940	0.283	2.420	0.200	0.364	2.460	0.220	0.430	2.460	0.240	0.505	2.440	0.250
13113	6.6860	45.1430	0.309	2.430	0.200	0.391	2.510	0.210	0.470	2.470	0.230	0.546	2.490	0.230
10450	6.6885	45.7450	0.278	2.440	0.200	0.356	2.480	0.220	0.415	2.500	0.230	0.485	2.470	0.250
13335	6.6915	45.0930	0.310	2.430	0.200	0.392	2.510	0.210	0.470	2.480	0.230	0.546	2.500	0.230
10672	6.6942	45.6950	0.275	2.450	0.200	0.351	2.490	0.210	0.406	2.520	0.230	0.475	2.490	0.250
13557	6.6973	45.0430	0.311	2.440	0.200	0.392	2.520	0.210	0.469	2.480	0.230	0.545	2.500	0.230

13779	6.7029	44.9930	0.310	2.440	0.200	0.391	2.520	0.210	0.467	2.480	0.230	0.543	2.500	0.230
-------	--------	---------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Stralcio della tabella contenuta nell'Allegato B delle NTC08, che fornisce i 3 parametri di pericolosità sismica, per diversi periodi di ritorno e per ogni nodo del reticolo che viene identificato da un ID e dalle coordinate geografiche.

Qualora la pericolosità sismica del sito sul reticolo di riferimento non consideri il periodo di ritorno T_R corrispondente alla VR e PVR fissate, il valore del generico parametro p ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai tempi di ritorno previsti nella pericolosità di base, utilizzando la seguente espressione dell'Allegato A alle NTC08:

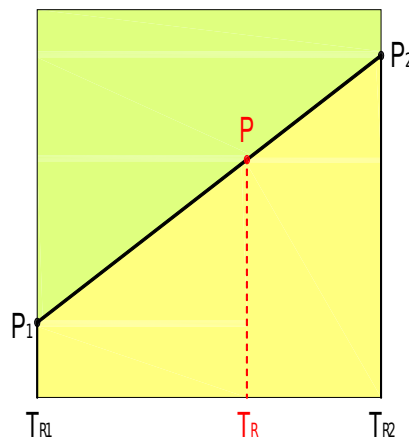
$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \times \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \times \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1} \quad (4.1)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g , F_o , T_C^*) corrispondente al periodo di ritorno T_R desiderato, mentre p_1 , p_2 è il valore di tale parametro corrispondente al periodo di ritorno T_{R1} , T_{R2} .

Per un qualunque punto del territorio non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri p possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando l'espressione dell'Allegato A alle NTC08:

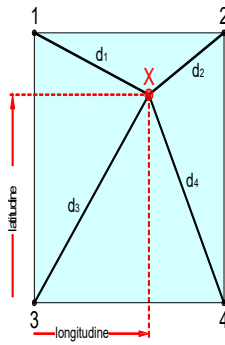
$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}} \quad (4.2)$$

nella quale p è il valore del parametro di interesse (a_g , F_o , T_C^*) corrispondente al punto considerato, p_i è il valore di tale parametro nell' i -esimo vertice della maglia elementare contenente il punto in esame e d_i è la distanza del punto in esame dall' i -esimo vertice della suddetta maglia.



Interpolazione dei periodi di ritorno, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

La procedura per interpolare le coordinate geografiche è schematizzata nella figura che segue.



Interpolazione delle coordinate geografiche, per ottenere i parametri di pericolosità sismica, in accordo alla procedura delle NTC08.

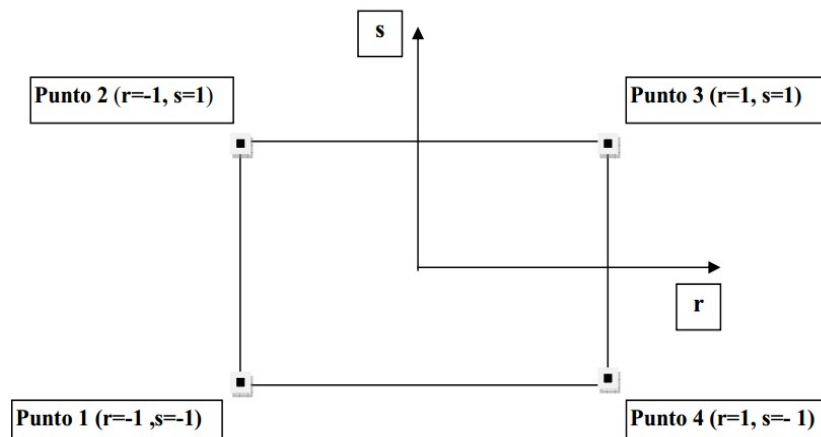
Pertanto per poter procedere all'interpolazione delle coordinate geografiche, in accordo alla procedura delle NTC08, bisogna calcolare le distanze che intercorrono tra i 4 punti del reticolo e il punto di interesse. Questo calcolo può essere eseguito approssimativamente utilizzando le formule della trigonometria sferica, che danno la distanza geodetica tra due punti, di cui siano note le coordinate geografiche. Utilizzando quindi il teorema di Eulero, la distanza d tra due punti, di cui siano note latitudine e longitudine, espresse però in radianti, si ottiene dall'espressione seguente:

$$d = R \cdot \arccos[\sin(lat\beta) \cdot \sin(lata) + \cos(lat\beta) \cdot \cos(lata) \cdot \cos(lon\alpha - lon\beta)] \quad (4.3)$$

dove $R = 6371$ è il raggio medio terrestre in km, mentre $lata$, $lon\alpha$, $lat\beta$ e $lon\beta$ sono la latitudine e la longitudine, espresse in radianti, di due punti A e B di cui si vuole calcolare la distanza.

La formula di interpolazione sopra proposta, semplice da usare, presenta però l'inconveniente di condurre a valori di pericolosità lievemente diversi per punti affacciati ma appartenenti a maglie contigue. La modestia delle differenze (scostamenti in termini di PGA dell'ordine di $\pm 0,01g$ ossia della precisione dei dati) a fronte della semplicità d'uso, rende tale stato di cose assolutamente accettabile.

Qualora si vogliano rappresentazioni continue della funzione interpolata, si dovrà ricorrere a metodi di interpolazione più complessi, ad esempio i polinomi di Lagrange.



Applicazione dell'interpolazione bilineare.

Definiti i 4 vertici di una generica maglia i polinomi di Lagrange sono così determinati:

$$h_1 = (1-r)(1-s)/4 \quad (4.4)$$

$$h_2 = (1-r)(1+s)/4 \quad (4.5)$$

$$h_3 = (1+r)(1+s)/4 \quad (4.6)$$

$$h_4 = (1+r)(1-s)/4 \quad (4.7)$$

Tra le coordinate x,y di un punto generico e le coordinate r, s dello stesso punto valgono le seguenti relazioni:

$$4x = \sum_{i=1}^4 h_i x_i = [(1-r)(1-s)x_1 + (1-r)(1+s)x_2 + (1+r)(1+s)x_3 + (1+r)(1-s)x_4] \quad (4.8)$$

$$4y = \sum_{i=1}^4 h_i y_i = [(1-r)(1-s)y_1 + (1-r)(1+s)y_2 + (1+r)(1+s)y_3 + (1+r)(1-s)y_4] \quad (4.9)$$

La soluzione del sistema di equazioni non lineari è ottenuta iterativamente e, tramite i valori di r ed s, si determinano i parametri a_g , F_0 , T_c^* dall'equazione:

$$4p = \sum_{i=1}^4 h_i p_i = [(1-r)(1-s)p_1 + (1-r)(1+s)p_2 + (1+r)(1+s)p_3 + (1+r)(1-s)p_4] \quad (4.10)$$

Dove p rappresenta il parametro cercato.

PERICOLOSITA' SISMICA DI SITO

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A, definito al § 3.2.2).

COEFFICIENTI SISMICI

I coefficienti sismici orizzontale K_h e verticale K_v dipendono del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi e del tipo di opera da calcolare. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno (TR) dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$TR = -VR / \ln(1-PVR)$$

Con VR vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso VR non può essere inferiore a 35 anni.

STABILITA' DEI PENDII DI FONDAZIONE

Nel caso di stabilità dei pendii i coefficienti K_h e K_v sono così determinati:

$$K_h = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_h$$

Con

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

I valori di β_s sono riportati nella seguente tabella.

Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g(g) \leq 0,2$	0,27	0,24
$a_g(g) \leq 0,1$	0,20	0,20

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa al sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$a_{max} = SS \cdot ST \cdot a_g$

SS (effetto di amplificazione stratigrafica) ($0,90 \leq S_s \leq 1,80$) è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

ST (effetto di amplificazione topografica), varia con il variare delle quattro categorie topografiche:

T1: $ST = 1,0$; T2: $ST = 1,20$; T3: $ST = 1,2$; T4: $ST = 1,40$.

2.5 VERIFICHE DI PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE E DI SITO

Molazzana Settore Pianeggiante

PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Vita nominale (V_n): 50 [anni]
 Classe d'uso: II
 Coefficiente d'uso (C_u): 1
 Periodo di riferimento (V_r): 50 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 50 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 475 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 975 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 44.071442 [°]
 Longitudine (WGS84): 10.417759 [°]
 Latitudine (ED50): 44.072400 [°]
 Longitudine (ED50): 10.418766 [°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]
1	19619	44.043409	10.360743
2	19620	44.094841	10.427348
3	19842	44.045259	10.429921
4	19841	44.092993	10.357998

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.055	2.467	0.261
SLD	50	0.071	2.413	0.269
SLV	475	0.194	2.395	0.287
SLC	975	0.248	2.379	0.304

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.064	2.444	0.261
SLD	50	0.082	2.425	0.266
SLV	475	0.202	2.378	0.288
SLC	975	0.257	2.403	0.289

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.060	2.481	0.262
SLD	50	0.077	2.443	0.271
SLV	475	0.190	2.394	0.288
SLC	975	0.242	2.385	0.304

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.058	2.493	0.261
SLD	50	0.072	2.468	0.271
SLV	475	0.178	2.383	0.292
SLC	975	0.227	2.368	0.308

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.061	2.468	0.261
SLD	50	0.078	2.426	0.269
SLV	475	0.193	2.390	0.288
SLC	975	0.246	2.382	0.302

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.015	0.019	0.056	0.081
kv	0.007	0.009	0.028	0.040
amax [m/s ²]	0.718	0.923	2.272	2.822
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.044	0.088	--
kv	--	0.022	0.044	--
amax [m/s ²]	0.718	0.923	2.272	2.822
Beta	--	0.470	0.380	--

Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.044	0.088	--
kv	--	0.022	0.044	--
amax [m/s ²]	0.718	0.923	2.272	2.822
Beta	--	0.470	0.380	--

Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

3,0 [m]

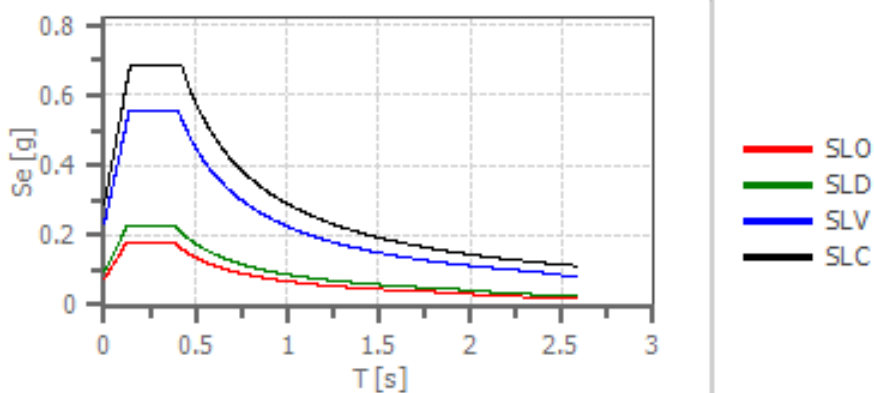
Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.057	0.073	0.180	0.223
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0.718	0.923	2.272	2.822
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.061	2.468	0.261	1.200	1.440	1.000	1.200	1.000	0.125	0.376	1.844	0.073	0.181
SLD	1.0	0.078	2.426	0.269	1.200	1.430	1.000	1.200	1.000	0.128	0.384	1.914	0.094	0.228
SLV	1.0	0.193	2.390	0.288	1.200	1.410	1.000	1.200	1.000	0.135	0.406	2.372	0.232	0.554
SLC	1.0	0.246	2.382	0.302	1.170	1.400	1.000	1.170	1.000	0.141	0.423	2.584	0.288	0.685

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

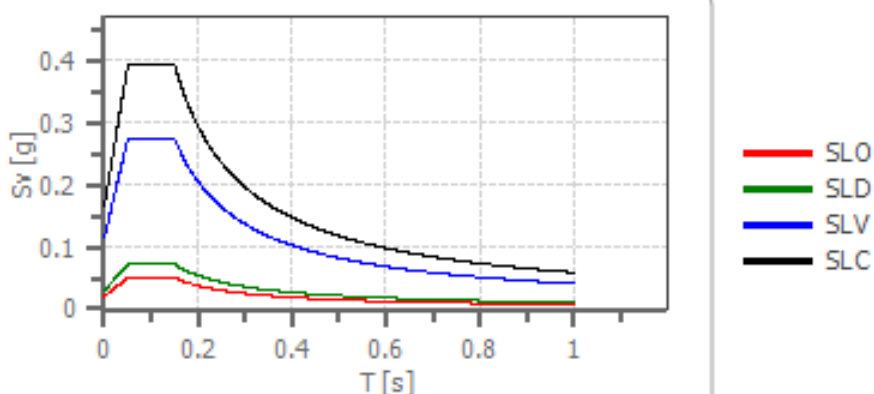
Coefficiente di smorzamento viscoso ξ :

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$:

1,000

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.061	2.468	0.261	1	1.440	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.020	0.050
SLD	1.0	0.078	2.426	0.269	1	1.430	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.030	0.072

SLV	1.0	0.193	2.390	0.288	1	1.410	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.115	0.274
SLC	1.0	0.246	2.382	0.302	1	1.400	1.000	1.000	1.000	0.050	0.150	1.000	0.165	0.392

Molazzana capoluogo – Settori di Versante

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Vita nominale (Vn):	50	[anni]
Classe d'uso:	II	
Coefficiente d'uso (Cu):	1	
Periodo di riferimento (Vr):	50	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLO:	30	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLD:	50	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLV:	475	[anni]
Periodo di ritorno (Tr) SLC:	975	[anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84):	43.8581276	[°]
Longitudine (WGS84):	11.5691023	[°]
Latitudine (ED50):	43.8590813	[°]
Longitudine (ED50):	11.5700788	[°]

Coordinate dei punti della maglia elementare del reticolo di riferimento che contiene il sito e valori della distanza rispetto al punto in esame

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	19619	43.868820	11.548530	2039.03
2	19620	43.869950	11.617860	4016.74
3	19842	43.819970	11.619370	5877.11
4	19841	43.818840	11.550090	4753.00

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC, per i nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento

Punto 1

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.061	2.467	0.261
SLD	50	0.079	2.413	0.269
	72	0.093	2.426	0.272
	101	0.107	2.420	0.275
	140	0.124	2.386	0.280
	201	0.141	2.410	0.283
SLV	475	0.194	2.395	0.287
SLC	975	0.248	2.379	0.304
	2475	0.330	2.424	0.319

Punto 2

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.064	2.444	0.261
SLD	50	0.082	2.425	0.266
	72	0.097	2.422	0.271

	101	0.111	2.414	0.276
	140	0.129	2.387	0.279
	201	0.147	2.404	0.283
SLV	475	0.202	2.378	0.288
SLC	975	0.257	2.403	0.289
	2475	0.342	2.409	0.317

Punto 3

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.060	2.481	0.262
SLD	50	0.077	2.443	0.271
	72	0.091	2.425	0.272
	101	0.105	2.421	0.276
	140	0.121	2.390	0.282
	201	0.138	2.412	0.284
SLV	475	0.190	2.394	0.288
SLC	975	0.242	2.385	0.304
	2475	0.323	2.429	0.321

Punto 4

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.058	2.493	0.261
SLD	50	0.072	2.468	0.271
	72	0.086	2.431	0.275
	101	0.099	2.431	0.277
	140	0.113	2.416	0.283
	201	0.131	2.399	0.286
SLV	475	0.178	2.383	0.292
SLC	975	0.227	2.368	0.308
	2475	0.303	2.417	0.317

Punto d'indagine

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.061	2.469	0.261
SLD	50	0.078	2.431	0.269
SLV	475	0.193	2.389	0.288
SLC	975	0.245	2.383	0.301

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2-Pendii con inclinazione media maggiore di 15°

Muri di sostegno NTC 2018

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.053	0.105	--
kv	--	0.026	0.053	--
amax [m/s²]	0.861	1.104	2.720	3.377
Beta	--	0.470	0.380	--

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.018	0.023	0.067	0.096
kv	0.009	0.011	0.033	0.048
amax [m/s ²]	0.861	1.104	2.720	3.377
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Fronti di scavo e rilevati

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	--	0.053	0.105	--
kv	--	0.026	0.053	--
amax [m/s ²]	0.861	1.104	2.720	3.377
Beta	--	0.470	0.380	--

Paratie NTC 2018

Altezza paratia (H):

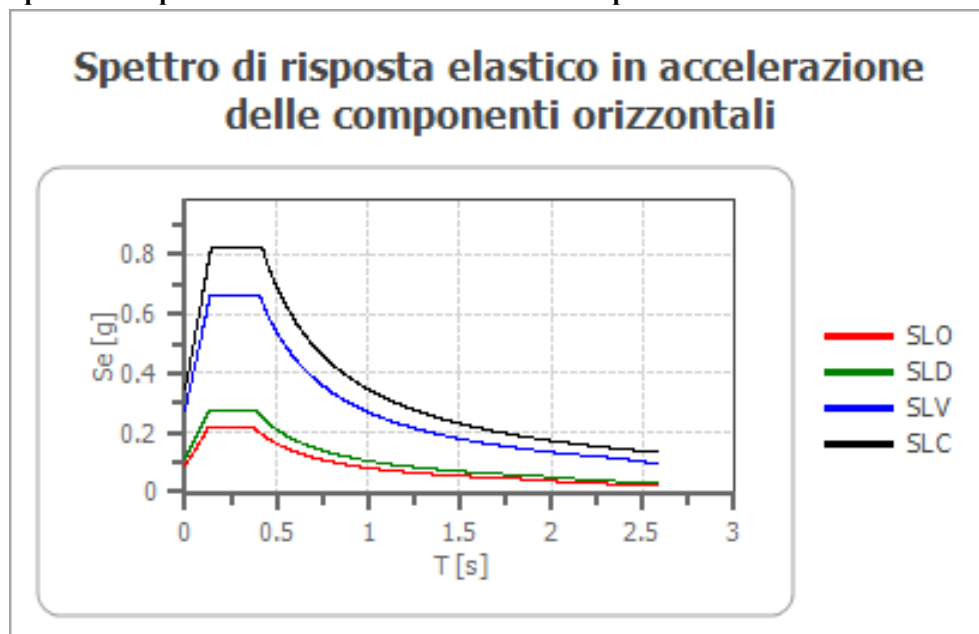
3,0 [m]

Spostamento ammissibile us:

0,015 [m]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.068	0.087	0.215	0.267
kv	--	--	--	--
amax [m/s ²]	0.861	1.104	2.720	3.377
Beta	0.776	0.776	0.776	0.776

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali



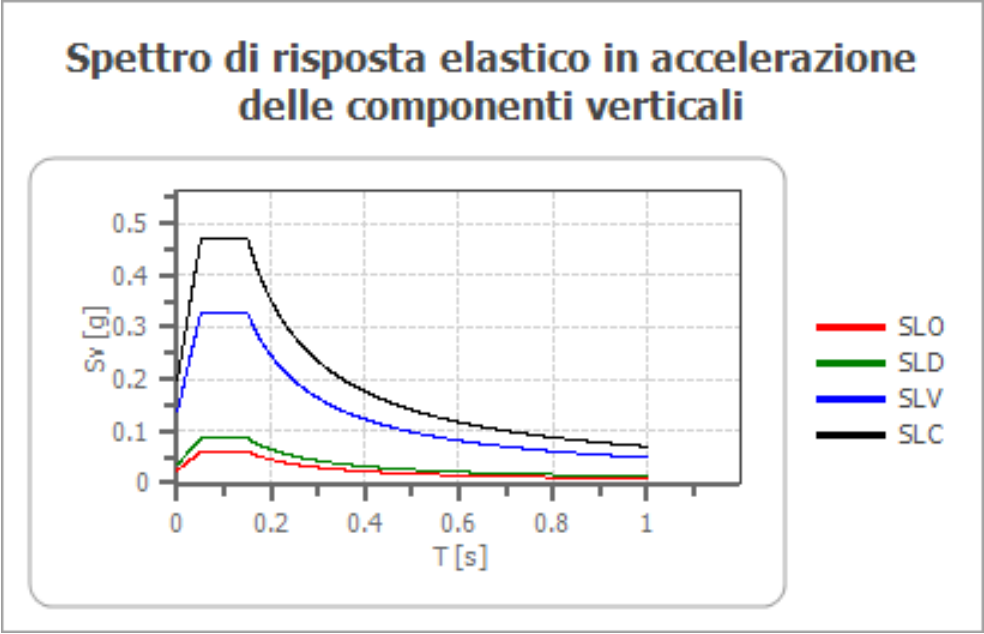
	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.061	2.469	0.261	1.200	1.440	1.200	1.440	1.000	0.125	0.376	1.844	0.088	0.217
SLD	1.0	0.078	2.431	0.269	1.200	1.430	1.200	1.440	1.000	0.128	0.384	1.913	0.113	0.274
SLV	1.0	0.193	2.389	0.288	1.200	1.410	1.200	1.440	1.000	0.136	0.407	2.370	0.277	0.662
SLC	1.0	0.245	2.383	0.301	1.170	1.400	1.200	1.404	1.000	0.141	0.422	2.581	0.344	0.821

Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ:

5 %

Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta=[10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1,000



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
SLO	1.0	0.061	2.469	0.261	1	1.440	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.024	0.060
SLD	1.0	0.078	2.431	0.269	1	1.430	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.035	0.086
SLV	1.0	0.193	2.389	0.288	1	1.410	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.137	0.327
SLC	1.0	0.245	2.383	0.301	1	1.400	1.200	1.200	1.000	0.050	0.150	1.000	0.197	0.469

2.6 LIQUEFAZIONE – BASE TEORICA E VERIFICA PER LOCALITA'

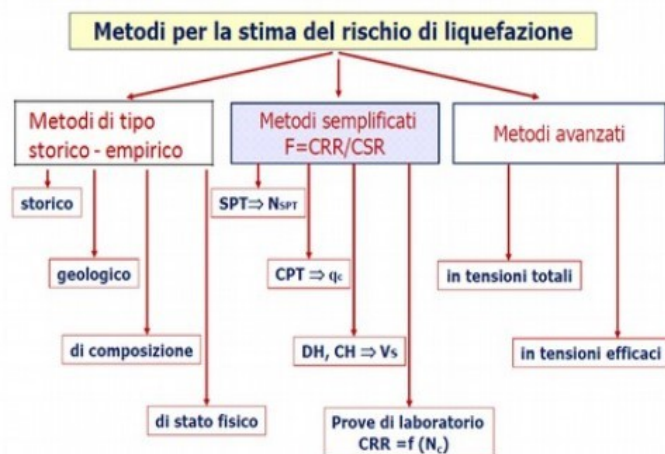
I siti in cui si possa prevedere la realizzazione di edifici e/o manufatti dovranno risultare stabili per quanto concerne fenomeni di liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni non coesivi saturi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni, incrementi indotti nei pali.

Secondo le NTC 2018 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.



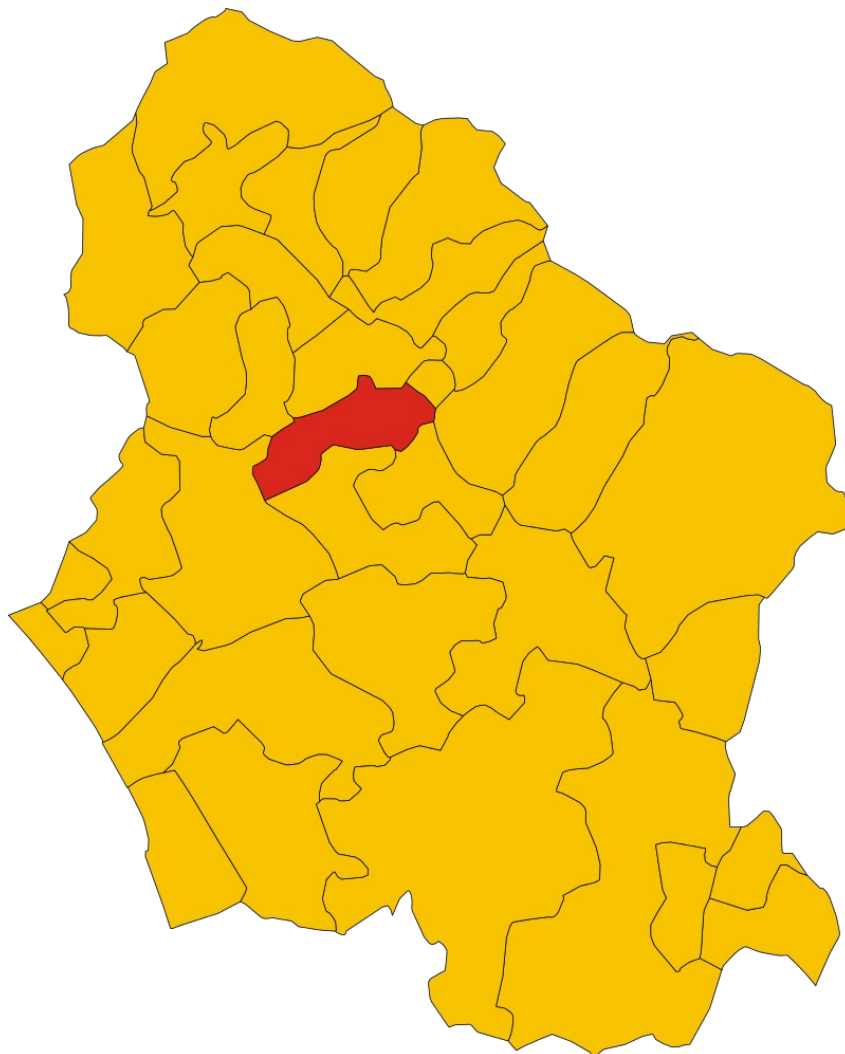
Per il territorio comunale di Molazzana si ritiene che la suscettibilità alla liquefazione dei terreni esaminati sia molto bassa, ossia trattasi di terreni non liquefacibili, considerando anche i modesti spessori in gioco, per la presenza a pochi metri di profondità dal piano campagna del substrato geologico litoide.

3. ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E MORFOLOGICO

Le aree di studio sono inserite nel territorio del Comune di Molazzana (Lucca), che si sviluppa su di una superficie di 31,33 kmq.

Il territorio del Comune di Molazzana è delimitato ad Est dai comuni di Galliciano e Fosciandora, a sud – ovest dai comuni di Galliciano e Fabbriche di Vergemoli ed a Nord dal comune di Castelnuovo di Garfagnana..



Ubicazione del Comune di Molazzana all'interno della Città Provincia di Lucca

Altimetricamente si presenta un dislivello di circa 1.100 metri compresi tra un minimo di 190,0 m s.l.m. nei pressi di Loc. La Barca al confine con il Comune di Galliciano lungo la S.S.445, ed un massimo di 1636,00 del Rifugio Rossi nel complesso del Monte Pania della Croce.

Dal punto di vista morfologico la tipologia principale è quella del paesaggio medio collinare di transizione a quella di zona montana più aspra. Esso è caratterizzato da condizioni morfologiche riconducibili a poche forme caratteristiche, in quanto la costituzione geologica presenta limitata variabilità. Vi si distinguono cioè settori

prevalentemente caratterizzati da morfologia collinare relativamente aspra con modesti rilievi che raggiungono quote comprese tra i 200-550 m s.l.m., con versanti a notevole acclività alternati a dorsali a pendici ripide, non particolarmente larghe e ondulate (nell'insieme si crea un susseguirsi di colline d'erosione separate talvolta da strettissime vallecole). Spostandosi verso sud e verso est da tale paesaggio si passa a zone dove spiccano invece rilievi montuosi che possono raggiungere quote attorno ai 1.000 m s.l.m..

3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E NOTAZIONI STRATIGRAFICHE

Le cartografie di carattere geologico - geomorfologico di riferimento utilizzate per il completamento del presente studio di microzonazione sismica sono :

- Cartografia di franosità di Piano di Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Serchio (PAI)
- Cartografia geologica della Regione Toscana (CARG)
- Cartografia geologica, geomorfologica e litologica tecnica di Piano Strutturale (PS) e Regolamento Urbanistico (RU).

Per Molazzana capoluogo si è fatto riferimento anche a specifiche cartografie geologiche e geomorfologiche prodotte nell'ambito del progetto VEL della Regione Toscana. Sulla carta geologica prodotta vengono evidenziate le "faglie capaci", definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali; tratte dal geoportale ISPRA - progetto ITHACA. L'Unità tettonica più antica rilevata nell'ambito delle aree indagate, al loro interno estesamente affiorante, è la Falda Toscana, unità alloctona non metamorfica costituita da formazioni mesozoico terziarie; unità interna alla precedente (interna rispetto al bacino oceanico di formazione), e' quella delle Successioni Liguri. Tutte le unità sopra citate sono nell'area talora parzialmente mascherate, in discordanza stratigrafica, da coperture fluvio lacustri quaternarie. Più in dettaglio l'assetto tettonico dell'area consegue ad una serie di eventi deformativi sintetizzabili in:

- 1^a fase deformativa – fase tangenziale (fase sin – nappe) databile fra l'Oligocene superiore ed il Miocene inferiore, caratterizzata da una tettonica compressiva polifasata che, conseguentemente alla chiusura del bacino oceanico ligure – piemontese, alla successiva collisione continentale ed all'innescarsi di una zona di taglio ensialica, ha portato alla individuazione e all'accavallamento della Successione Toscana sul Dominio Toscano Esterno, producendo il metamorfismo di grado più alto del Complesso Apuano;

- 2^a fase deformativa – a partire dal Miocene medio si ha (fase post – nappe) la deformazione dell'edificio strutturale di 1^a fase conseguente al sollevamento del nucleo metamorfico apuano e della catena appenninica e, a partire dal Miocene superiore, all'innescarsi di una tettonica di tipo estensionale connessa con l'apertura dell'area tirrenica; tale processo distensivo ha prodotto ampi bacini neogenici la cui apertura, a partire dalla Toscana meridionale, “migra” progressivamente verso nord – nord/est, a formare le depressioni tettoniche della Toscana settentrionale, fra le quali anche la fossa tettonica del Serchio. All'interno di questa fascia “depressa” si impostarono, a partire dal Villafranchiano, bacini lacustri (bacini di Castelnuovo Garfagnana e di Barga); con la deposizione, al loro interno, dei primi sedimenti non coinvolti nella deformazione viene fatto coincidere il termine della 2^a fase deformativa.

Il bacino di Castelnuovo Garfagnana (con soglia in Monte Perpoli) e quello di Barga (con soglia in Calavorno) furono soggetti ad un colmamento relativamente rapido (dal Pliocene al Pleistocene medio superiore) legato alla erosione dei “giovani” rilievi in sollevamento; gli apporti, apuano da ovest ed appenninico da est, risultano in genere ben distinguibili, sulla base delle litologie prevalenti dei sedimenti depositati. Movimenti tettonici fragili recenti (Quaternario) sono denunciati dalla presenza di fagliature che interrompono la omogeneità stratigrafica dei depositi fluvio lacustri. Le ultime fasi deposizionali (Quaternario medio - superiore) sono caratterizzate da sedimenti legati ad un reticolo idrografico “simile” all'attuale:

- si hanno terrazzamenti alluvionali antichi (talora successivamente reincisi e parzialmente asportati), posti, in vari ordini, a quote diversificate sui principali fianchi vallivi;
- si hanno i depositi recenti ed attuali sul fondovalle del fiume Serchio e dei suoi principali affluenti.

La fossa tettonica del Serchio è stata inizialmente interpretata come una struttura delimitata, sui due fianchi, da faglie dirette, convergenti verso l'asse della depressione centrale. Studi successivi vi riconoscono invece una struttura più complessa in cui il “ribassamento” è originato da faglie sintetiche sul bordo orientale e faglie antitetiche su quello occidentale.

3.3 DESCRIZIONE DELLE FORMAZIONI

Le formazioni geologiche riconosciute nell'ambito delle aree indagate sono, in ordine stratigrafico:

FORME E DEPOSITI QUATERNARI

Terreni di riporto (rp) – Sono i più recenti accumuli antropici (accumuli isolati o rilevati stradali), costituiti da materiali misti, la cui litologia e la cui granulometria dipendono dalle formazioni di provenienza; non costituiscono mai elementi di significativa rilevanza geologica sul territorio.

età: Olocene

Detriti e terreni di copertura (dt) – Evidenziati solo dove presenti con estensione e spessori significativi, sono stati riconosciuti sia attraverso il rilevamento di campagna sia attraverso la fotointerpretazione; si tratta generalmente di frammenti centimetrico decimetrici con più rari massi di maggiore dimensione, subspigolosi (raramente subarrotondati, in ragione della formazione di origine), da parzialmente a molto alterati, in matrice di sabbie e sabbie limose, talora debolmente argillose. Il detrito può costituire il prodotto, rimasto in loco, della frammentazione e della alterazione della roccia di substrato, oppure essere caratterizzato da un trasporto, generalmente modesto, essenzialmente di tipo gravitativo.

età: Olocene

Sulla carta geologica vengono evidenziate anche le "antiche spianate morfologiche di origine fluviale (at)", con o senza deposito alluvionale (età: Pleistocene medio/superiore – Olocene).

Tali elementi, sia di carattere morfologico che geologico, sono presenti sulle pendici, come superfici suborizzontali / poco acclivi, con modesti spessori di deposito.

DEPOSITI FLUVIO - LACUSTRI

Ciottoli a prevalenti elementi di arenaria “macigno” (ct/mg) – Affiorano, con estensioni e spessori significativi, in versante destro idrografico del Fiume Serchio a quote medie sulla pendice ed in prossimità del fondovalle, nella zona di Cascio. La quasi esclusiva natura arenacea degli elementi del deposito denuncia, per lo stesso, un' alimentazione prevalentemente appenninica; si ipotizza una origine legata ad antiche estese conoidi, successivamente reincise e quasi completamente smantellate; la formazione è costituita da ghiaie e ciottoli da parzialmente a molto alterati, da centimetrici a decimetrici, con più rari massi di maggiori dimensioni, in matrice sabbiosa, sabbioso limosa, da ocrea a marrone. Il deposito può risultare talora ciottolo sostenuto, ma, prevalentemente è assai ricco in matrice fine; il grado di addensamento è medio; in corrispondenza degli affioramenti più estesi spesso il deposito ciottoloso è caratterizzato da coperture fini sabbioso limose di spessore metri 1.0 – 2.0.

età: Pleistocene

Ghiaie e conglomerati, con livelli di sabbie ed argille (cg) – Affiorano, per modesta estensione, nella zona di Cascio, sulla pendice compresa fra Case Giampicchia e località Broglio. Il deposito viene correlato con antiche conoidi ad alimentazione prevalentemente apuana, costituite da livelli di prevalenti ghiaie e conglomerati (con subordinati frammenti subspigolosi) grossolanamente embricati, da debolmente a ben cementati, alternati ad orizzonti mediamente / ben addensati, costituiti da ghiaie e ciottoli (con subordinati frammenti subspigolosi) dispersi in matrice fine sabbiosa – argilloso/sabbiosa, talora dominante. Le dimensioni più diffuse per i clasti,

osservati in affioramento ed in sondaggio, variano da 1-3 centimetri a 15 – 30 centimetri; sul territorio sono state osservate entrambe le facies sopra descritte.

età: Villafranchiano

SUCCESSIONI LIGURI - UNITA' DEL FLYSCH AD ELMINTOIDI

Flysch ad Elmintoidi (fh) – Affiorano, con modesta estensione, nella zona di Cascio (laddove esclusivamente, nell'ambito comunale, si hanno formazioni appartenenti alle Unità Liguri, tettonicamente sovrascorse alla Successione Toscana). Si tratta di calcari marnosi grigio chiari e biancastri, in strati decimetrici e più rare bancate di maggiore spessore, alteranti ad orizzonti fissili, marnosi ed argillitici, di colore avana. La fratturazione è diffusa e pervasiva, poco distanziata, generalmente poco aperta.

età: Cretaceo superiore

Complesso di base (cb) (argille scagliose p.p. Auctt.) – Affiora, con media estensione, nella zona di Cascio (laddove esclusivamente, nell'ambito comunale, si hanno formazioni appartenenti alle Unità Liguri, tettonicamente sovrascorse alla Successione Toscana). Si tratta di argilliti fissili, in assetto caotico, prevalentemente grigio scure, con intercalazioni disperse di calcari silicei, ofioliti, radiolariti e marne; in carta evidenziate modeste scaglie di breccie a prevalenti elementi ofiolitici (br) (in località Macina). Le argilliti, quando integre, hanno un ottimo comportamento fisico meccanico; il contatto prolungato con acque di infiltrazione superficiale e/o di scorrimento profondo ne altera però le originarie caratteristiche, favorendone una diffusa e progressiva riplasticizzazione, con conseguente possibile innesco di processi deformativi di tipo gravitativo.

età: Campaniano inferiore

SUCCESSIONE TOSCANA NON METAMORFICA

Argilliti di Monte Modino (aM) - Costituiscono affioramenti marginali nella porzione settentrionale della zona di Cascio. Si tratta di argilliti e marne siltose fissili, grigie o varicolori, con intercalazioni di arenarie in strati decimetrici.

età: Miocene inferiore

Argilliti di Fiumalbo – Marne di Le Piastre (fP1) - Costituiscono affioramenti modesti nella porzione più settentrionale della zona di Cascio. Si tratta di argilliti e marne siltose fissili, grigie o varicolori, con intercalazioni di arenarie in strati decimetrici.

età: Miocene inferiore

Arenaria “macigno” (mg) – E' presente, con significativa estensione, nelle zone di Molazzana e Cascio e, marginalmente, in quella di Montaltissimo. Si tratta di arenaria quarzoso – feldspatico – micacea in strati decimetrici con più rare bancate di maggiore spessore (anche superiori al metro), in alternanza a più sottili orizzonti argillitico siltitici mediamente / poco diffusi; nella parte basale presenti calcareniti gradate. L'arenaria risulta diffusamente fratturata (diaciasi pervasive, mediamente distanziate, generalmente chiuse / poco aperte) e mediamente alterata (l'alterazione risulta più spinta nello spessore superficiale dell'ammasso); il colore della roccia integra è grigio-piombo, l'alterazione produce una colorazione tendente al marroncino.

età: Oligocene superiore – Miocene inferiore

Calcareniti a Nummuliti (Nu) – Affioramenti più o meno estesi si hanno nelle zone di Molazzana, Brucciano (litologia esclusiva), Montaltissimo e Sassi- Eglio. Si tratta di brecciole, calcareniti e calcilutiti silicee grigio chiare, in strati decimetrici e bancate metriche diffusamente fratturate, con subordinate intercalazioni argillitiche e marnose fissili varicolori.

età: Eocene - Oligocene

Scaglia rossa (sc) – Affioramenti più o meno estesi si hanno nelle zone di Molazzana, Montaltissimo e Sassi-Eglio. Si tratta di prevalenti argilliti e marne varicolori fissili, con intercalazioni di calcareniti e calcilutiti silicee in strati decimetrici diffusamente fratturati.

età: Cretaceo inferiore p.p. - Oligocene

Maiolica (mac) – Affiora estesamente nella zona di Sassi - Eglio e nella porzione meridionale della zona di Molazzana. Si tratta di calcilutiti e calcari selciferi bianchi e grigi in strati centimetrico decimetrici; nella parte sommitale della formazione presenti calcari grigi talora selciferi e calcareniti; talora, su aree limitate, la fratturazione può presentarsi tanto fitta e pervasiva da far assumere alla roccia un aspetto brecciato.

età: Berriasiano - Barremiano

Diaspri (di) - Costituiscono affioramenti marginali nella porzione meridionale della zona di Molazzana.

Si tratta di radiolariti e argilliti silicee sottilmente stratificate, varicolori (in prevalenza rossastre e verdastre), diffusamente fratturate (fratture poco distanziate e pervasive, prevalentemente chiuse).

età: Titoniano

Calcari grigi a selci nere (cs2) – Costituiscono affioramenti poco estesi nella zona di Sassi - Eglio.

Si tratta di calcari e calcareniti grigio scuri a liste e noduli di selce nera, in strati prevalentemente decimetrici, diffusamente fratturati.

età: Oxofordiano – Kimmeridgiano superiore

Marne a Posidomya (mp) – La formazione è presente sia nella zona di Molazzana che in quella di Sassi – Eglio. Si tratta di marne ed argilliti fissili grigio giallastre o varicolori, con intercalazioni di calcari marnosi grigi ed avana.

età: Toarciano - Calloviano

Calcari grigi a selci chiare (cs1) – Affiorano esclusivamente nella zona di Molazzana. Si tratta di calcari grigi o giallastri, leggermente marnosi, diffusamente fratturati, in bancate per lo più decimetriche, in presenza di liste e noduli di selce grigia.

età: Domeriano inferiore - Toarciano inferiore

In legenda di carta geologica per ognuna delle formazioni sopra elencate viene evidenziata anche la corrispondente sigla CARG ad essa attribuita in Carta Geologica Regione Toscana.

3.4 CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Sulla carta geologica vengono inoltre evidenziate:

- le frane attive e le relative corone di distacco
- le frane quiescenti e le relative corone di distacco
- i limiti fra formazioni geologiche
- le faglie
- le faglie presunte
- le faglie capaci (definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali); tratte da geoportale ISPRA - progetto ITHACA
- i limiti di ricoprimento fra unità tettoniche
- la giacitura di stratificazione
- le sorgenti regimate e quelle non regimate
- le risorgenze

In trasparenza sulla carta geologica sono riportati i limiti delle aree classificate sulla carta della franosità di Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Serchio come aree con instabilità potenziale elevata per caratteristiche morfologiche; le aree con instabilità potenziale elevata per caratteristiche morfologiche vengono poi classificate come zone di attenzione per instabilità di versante non definita nelle successive cartografie derivate (carta geologico-tecnica e carta delle M.O.P.S.).

I principali elementi geomorfologici che caratterizzano le aree oggetto di studio possono così essere suddivisi :

- le forme ed i processi di origine gravitativa
- le forme di origine fluviale
- gli elementi tettonico strutturali
- le forme / depositi di origine antropica.

Le forme ed i processi di origine gravitativa

Nelle forme e processi di origine gravitativa i dissesti censiti sono stati differenziati per grado di attività (attivo, quiescente) e per tipologia (scorrimento rototraslazionale, crollo, colamento); la tipologia di dissesto, funzione della morfologia di versante, dei materiali coinvolti e delle cause di innesco, è stata riconosciuta direttamente in campagna per le frane minori e di media estensione; i movimenti più grandi sono stati delimitati e classificati anche grazie all'analisi aereofotogrammetrica; le frane per scorrimento rototraslazionale, generalmente di spessore medio basso e limitata estensione, sono le più diffuse, presenti su tutto il territorio; le frane per crollo si localizzano lungo le pareti più elevate ed acclivi, spesso associate ad incisioni torrentizie profonde; le frane per colamento, presenti solo nell'area di Cascio, si sviluppano in formazioni argillitiche diffusamente alterate. Sempre nelle forme e processi di origine gravitativa, in stretto riferimento con quanto individuato in cartografia di franosità di PAI, sono state distinte le aree con instabilità potenziale elevata per caratteristiche morfologiche e le aree potenzialmente instabili per grandi movimenti di massa. Aree con instabilità potenziale elevata per

caratteristiche morfologiche aree soggette a franosità in terreni prevalentemente argillitici acclivi e/o con situazioni morfologiche locali che ne favoriscono l'imbibizione. Sono zone di non vero e proprio dissesto, in cui però evidenze morfologiche di campagna (increspature ed ondulazioni di suolo, deboli contropendenze), denunciano un "allentamento" gravitativo superficiale diffuso; si sviluppano unicamente nella porzione settentrionale del territorio comunale, in formazioni argillitiche diffusamente alterate per imbibizione ed infiltrazione di acque superficiali aree soggette a franosità in terreni detritici acclivi. Sono la forma e le modalità deposizionali che distinguono il cono detritico dal detrito indifferenziato: il cono detritico, alimentato dal distacco di porzioni litoidi verso monte, ha forma generalmente a ventaglio e si origina, per sole cause gravitative (in pressochè totale assenza di trasporto), al piede di versanti acclivi, in genere nella parte terminale inferiore di valloni morfologici stretti ed allungati sulla pendice, il detrito indifferenziato si accumula sul rilievo, quasi sempre in zone morfologicamente depresse (in incisioni torrentizie, in valloni morfologici, alla base di pareti acclivi), per degrado e frantumazione di affioramenti rocciosi (spesso diffusamente fratturati), con conseguente distacco ed accumulo gravitativo di elementi minuti e porzioni litoidi di maggiori dimensioni; talora il detrito si origina e permane in sito (in condizioni di scarsa acclività), senza subire significative migrazioni gravitative, per allentamento e progressiva frammentazione del substrato litoide. Il grado di attività di un cono o di un accumulo detritico è legato principalmente alla esistenza o meno di una alimentazione continua, in genere da monte; indirettamente il grado di attività può essere però correlato alla acclività del deposito stesso (un detrito acclive è instabile e comunque soggetto a progressive generalizzate mobilizzazioni; esso risulta pertanto suscettibile, anche in assenza di accrescimento del deposito, di subire una evoluzione morfologica di tipo gravitativo). Particolare attenzione è stata posta, attraverso l'utilizzo delle indagini disponibili ed attraverso sopralluoghi di campagna, nella individuazione degli spessori delle coltri detritiche e delle coperture nelle aree indagate.

- aree soggette a franosità in terreni acclivi argilloso-sabbiosi e sabbioso-conglomeratici
- aree soggette a franosità per erosione di sponda
- aree in rocce coerenti e semicoerenti soggette a franosità per forte acclività (in particolare aree esposte a possibili fenomeni di crollo o di distacco di massi)

coincidono con pareti/versanti acclivi o con scarpate torrentizie elevate ed acclivi in alvei profondamente incisi e, logicamente, con le aree alle precedenti sottostanti ree al bordo di terrazzi fluviali e/o di terrazzi morfologici in genere soggette a possibili collassi o frane.

Si tratta di fasce poco ampie sovrastanti le scarpate di incisione più elevate ed acclivi, suscettibili, per la natura dei materiali che le costituiscono, di dissesto per scalzamento ed erosione laterale di sponda, ad opera di acque correnti superficiali. Il grado di attività dei terrazzi fluviali è legato alla presenza o meno di deflussi idrici in alveo, in grado di interferire, con frequenza temporale più o meno fitta, con le scarpate stesse e con la loro stabilità: attivi saranno talora gli orli delle scarpate immediatamente prospicienti gli alvei ordinari in modellamento attivo, quiescenti saranno, in parte, gli orli delle scarpate delle alluvioni antiche terrazzate, sovrastanti i orsi d'acqua e le aree di pertinenza fluviale, interessate solo occasionalmente o eccezionalmente da scorrimenti in grado di interferire con le scarpate stesse, inattivi saranno gli orli delle scarpate delle alluvioni antiche terrazzate "distanti" dalle direttrici di deflusso più frequentemente coinvolte in processi dinamici fluviali e gli orli delle scarpate dellespianate morfologiche più antiche poste sui versanti, a quote diversificate (ma comunque ben superiori a quelle dei fondovalle).

Ripiani di erosione fluviale

Quelli individuati, classificati come inattivi, coincidono con le spianate alluvionali antiche, in prossimità dei fondovalle (quali quelle, talora molto vaste, su cui si sviluppa grande parte dell'abitato di Galliciano), e con i terrazzamenti morfologici che talora modellano i depositi ciottolosi pleistocenici (ct/mg) posti, a quote diversificate, sulle pendici.

Gli elementi tettonico strutturali

Individuate :

- le faglie
- le faglie presunte
- le faglie capaci (definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali); tratte da geoportale ISPRA - progetto ITHACA i limiti di ricoprimento fra unità tettoniche
-

Le forme / depositi di origine antropica.

Individuati :

- i riporti antropici (accumuli isolati di limitata estensione)

3.5 CARATTERISTICHE IDROGRAFICHE E NOTAZIONI IDROGEOLOGICHE

Per quanto riguarda il sistema idrografico i principali corsi d'acqua presenti sono il Fiume Serchio.

Inoltre esistono una serie di altri corsi d'acqua importanti, che, con i loro affluenti minori, danno luogo ad un reticolo idrografico dendritico, fittamente ramificato e notevolmente gerarchizzato: si tratta di un modello di reticolo che si instaura in zone caratterizzate da rocce dello stesso tipo, le quali, offrendo le stesse caratteristiche di erodibilità, favoriscono lo sviluppo casuale della rete idrografica.

Questo assetto generale in alcuni casi può venire alterato dalla presenza di alcune linee di frattura che in passato hanno costituito un canale preferenziale di scorrimento lungo il quale si sono potuti impostare alcuni corsi d'acqua. E' inoltre da notare che il territorio comunale è interessato parzialmente da altri tre sottobacini, che per la loro maggior parte sono però afferenti a territori extracomunali

Il regime dei corsi d'acqua è generalmente torrentizio con piene nella stagione invernale e periodi di magra in quella estiva: essi presentano per tutto il loro corso caratteristiche di notevole energia, potere erosivo accentuato e scorrono incassati nelle formazioni lapidee, presentando lunghi tratti in erosione.

Relativamente alle caratteristiche idrogeologiche dei terreni presenti nel territorio comunale di Molazzana, questi risultano caratterizzati da ampie aree contraddistinte da acquiferi multifalda in corrispondenza delle formazioni prevalentemente arenacee e siltitico quarzose con livelli argillitici intercalati.

Sono diffusi anche gli acquiferi a limitata produttività presenti in complessi arenacei con frequenti strati marnosi o argillitici, con modesta circolazione idrica. Più rari risultano i sedimenti a grana fine in pratica privi di circolazione idrica sotterranea.

Le falde presenti all'interno delle formazioni litoidi sono costituite da livelli acquiferi presenti all'interno dell'ammasso roccioso in corrispondenza delle linee di filtrazione idrica confinate nelle fasce di fratturazione della formazione litoide.

Talora queste sono frapposte a livelli a minor permeabilità che rendono la falda acquifera di carattere artesiano. La presenza della risorsa idrica è connessa a condizioni di fratturazione e di alimentazione definibili a grande scala e non risolvibili nel ristretto intorno dell'area di captazione e/o di ricerca.

3.6 ACCLIVITA' DEI VERSANTI

Le variazioni altimetriche e topografiche sono utili per la definizione delle zone MOPS delle cartografie di Microzonazione, in quanto il progressivo aumento delle pendenze, a parità di condizioni litotecniche e giaciture, si ha un aumento del grado di instabilità di una pendice.

Una maggiore inclinazione del versante favorisce inoltre l'erosione superficiale, con trasporto a valle del materiale detritico asportato da parte delle acque di corrivazione; per contro una inclinazione minore della pendice favorisce i processi chimico-fisici di alterazione del substrato roccioso con formazione di suolo, data la maggiore permanenza delle acque di ristagno.

In particolare sono state definite le seguenti soglie:

- fino al 15 % non si hanno in genere controindicazioni in termini di stabilità dei versanti, anche se tali zone rappresentano una percentuale minima del territorio in aree collinari e montuose;
- dal 15 % al 25 % si possono verificare stati di instabilità dinamica in litologie costituite da sabbie sciolte, argille e limi soffici e detriti, se in presenza di falda superficiale;
- dal 25 % al 35 % possono verificarsi dissesti nelle litologie sopra elencate anche non in presenza di acqua;
- oltre il 35 % questa classe caratterizza versanti molto acclivi nei quali possono verificarsi crolli o distacchi se in presenza di rocce poco cementate, alterate o fessurate sia per fenomeni fisici (gelo-disgelo), che tettonici.

4. DATI GEOTECNICI E GEOFISICI

Per effettuare gli studi di Microzonazione si è provveduto alla raccolta e all'archiviazione organizzata di dati pregressi, quali le indagini eseguite da Geodes nell'ambito degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1, e alla realizzazione, a supporto degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3, di una specifica e inedita campagna di indagini, eseguita da Geologo Cristian Pieroni e ditta Tecna SRL. nel Marzo 2020.

Le Carte delle indagini mostrano nel dettaglio, per ciascuna delle frazioni indagate, l'ubicazione di tutte le prove eseguite precedentemente al presente studio reperibili da fonti "bibliografiche" e/o banche dati, nonché l'ubicazione delle indagini geofisiche all'uopo realizzate su indicazione del Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica come supporto al presente studio di Microzonazione Sismica di Livello 3.

La nomenclatura delle diverse tipologie di indagine ubicate sulla CTR, è stata definita sulla base delle indicazioni riportate al par. 1.1.1. degli "Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica".

La raccolta dei dati esistenti si è basata sull'acquisizione, laddove reperibili, di stratigrafie relative a pozzi e sondaggi, di certificati di prove penetrometriche dinamiche e statiche, di indagini geofisiche (prove di sismica a rifrazione, prove down-hole, Masw e Hvsr).

Si citano di seguito le fonti di reperimento dei dati raccolti nel citato "data base" (per i dati di base da bibliografia):

- Studi geologici e geomorfologici di dettaglio, commissionati dalla Amministrazione Comunale, a supporto alla progettazione di opere di opere pubbliche e/o interventi infrastrutturali;
- Data base della Regione Toscana delle indagini di sottosuolo;
- Data base ISPRA relativamente a stratigrafie di pozzi idrici profondi;
- Archivi comunali in merito alle pratiche urbanistiche, edilizie e lavori pubblici;
- Indagini contenute negli Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.

Per la predisposizione degli studi di *Microzonazione Sismica di Livello 3* è stato necessario realizzare una specifica campagna di indagini geofisiche, ad integrazione della campagna di indagine realizzata durante gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1, la cui distribuzione all'interno delle frazioni ed ubicazione in relazione alle problematiche da indagare è stata concordata con i funzionari del Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica.

Questa campagna è consistita nell'esecuzione di:

- n. 2 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;
- n. 1 linee di sismica a rifrazione con onde P ed onde Sh, con restituzione secondo tecniche di analisi a rifrazione classica e tomografica, delle velocità V_p e V_s nel sottosuolo;
- n. 1 indagini sismiche attive congiunte Masw-ESAC per caratterizzare la velocità delle onde sismiche di taglio nel suolo e definire la valutazione del $V_{sEq,30}$;
- n. 3 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtrempi (HVSR), e con processo di inversione e interpretazione secondo la metodologia di analisi del rapporto spettrale H/V o di Nakamura, per la definizione

della frequenza naturale dei terreni e per la determinazione dell'eventuale comportamento amplificativo degli stessi.

n. 1 indagini di profilo geoelettrico 2d, per la caratterizzazione geometrica del corpo franoso;

Si fornisce il dettaglio delle indagini appositamente eseguite con la loro distribuzione nelle varie frazioni, eseguite con specifico riferimento agli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3.

Molazzana Capoluogo:

- n. 1 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh;

Frazione di Cascio

.

- n. 1 indagini di sismica in foro di tipo down-hole in onde P e Sh
- n. 3 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).
- n. 1 indagine geoelettrica 2d (ERT)
- n. 1 Indagine congiunta MASW-ESAC
- n. 1 Indagine di Sismica rifrazione in onde P-Sh,

Inoltre sono state collezionate sulla scorta delle specifiche indagini eseguite a supporto degli studi di Microzonazione Sismica di Livello 1 e dall'archivio dei dati di base a disposizione dell'amministrazione Comunale le seguenti indagini, per ciascuna località.

Molazzana Capoluogo:

- n. 8 prospezioni geofisiche con acquisizione ed analisi dei microtremori (HVSr).

Cascio:

- n. 9 misure di rumore ambientale a stazione singola HVSr
- n. 1 prospezione sismica a rifrazione con onde P e SH
- n. 1 prova MASW

Brucciano

- n.2 misure di rumore ambientale a stazione singola HVSr
- n.1 prospezione sismica a rifrazione con sole onde P
- n.1 prova MASW

Montaltissimo

- n.4 misure di rumore ambientale a stazione singola HVSr

Sassi - Eglio

- n.6 misure di rumore ambientale a stazione singola HVSR
- n.1 prospezione sismica a rifrazione con onde P e SH
- n.2 prospezioni sismiche a rifrazione con sole onde P
- n.3 prove MASW

L'ubicazione di tali indagini all'interno delle frazioni, in relazione alle problematiche da indagare, è mostrata nelle sopra citate cartografie, mentre per le risultanze si rimanda agli elaborati ed allegati contenuti nella relazione sulle indagini geofisiche svolte nel novero delle attività correlate al presente studio con le relative certificazioni e/o elaborazioni rappresentative.

Per ogni misura HVSR, è stata attribuita una delle seguenti 3 classi di appartenenza (cfr. relazioni sulle indagini geofisiche svolte):

Classe A: registrazione affidabile ed interpretabile che può essere utilizzata anche da sola;

Classe B: registrazione sospetta da utilizzare con cautela ed in presenza di altre misure ottenute nelle vicinanze;

Classe C: registrazione scadente e di difficile interpretazione.

Per ciascuna delle frazioni indagate, nel seguito del presente rapporto in cui si descrivono le caratteristiche rilevate per ogni centro urbano studiato, si fornisce indicazione della Classe di qualità ottenuta applicando la "Procedura semiquantitativa per stabilire la qualità della carta di livello 1 di MS, i cui criteri e dati di input sono riassunti nella sotto riportata tabella 1 e i cui "range" di accettabilità sono indicati nel seguente abaco per le classi A, B e C.

CLASSE	VALORI	INDICAZIONI
A	$\geq 75 \%$	Carta di livello 1 di ottima qualità
B	50 % - 74 %	Sarebbero auspicabili migliorare almeno uno dei parametri
C	25 % - 49 %	Sarebbero auspicabili ulteriori indagini che mancano o che sono valutate di scarsa qualità
D	$\leq 25 \%$	Carta di livello 1 di scarsa qualità: non risponde ai requisiti minimi richiesti da ICMS08 e Linee Guida Regione Toscana

Parametro	Peso Parametro	Indicatore (peso=0.33)	Valutazione indicatore (punteggio)			
			Nulla (0)	Bassa (0.33)	Media (0.66)	Alta (1)
Carta geologico - tecnica	1	Anno rilevamento	No data	< 2000		> 2000
		Progetto	No data	Altro	Allegato piano urbanistico	Ad hoc
		Scala rilevamento	No data	50.000-26.000	25.000-11.000	10.000-2.000
Sondaggi a distruzione	0.50	Numero di sondaggi a distruzione	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da sondaggi a distruzione	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Sondaggi a carotaggio continuo	1	Numero di sondaggi a carotaggio	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da sondaggi a carotaggio	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Numero sondaggi che arrivano al substrato rigido	No data	1-5	6-10	>10
Indagini geofisiche	0.50	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da indagini	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Percentuale indagini che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Prove geotecniche in situ (Prove Penetrometriche, ecc.) e di laboratorio	0.25	Numero di prove	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da prove	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Percentuale prove che arrivano al substrato rigido	No data	1-33%	34-66%	>66%
Misure delle frequenze del sito	0.75	Numero di misure	No data	1-5	6-10	>10
		Percentuale di celle occupate da misure	No data	1-33%	34-66%	>66%
		Classe di affidabilità misure (Albarelli et alii)*	No data	Classe A < 33%	Classe A 34-66%	Classe A >66%

Relativamente alle notazioni litotecniche e geotecniche, sulla scorta dei risultati degli studi geologici e geologico tecnici dell'attuale Piano Regolatore è possibile distinguere i terreni presenti nel territorio da un punto di vista litotecnico. Infatti i terreni che possono manifestare comportamento meccanico omogeneo vengono accorpati in "unità litotecniche" distinte. Per cui vengono raggruppati nella stessa unità litotecnica quei litotipi che presentano caratteristiche tecniche simili, indipendentemente dalla formazione geologica a cui appartengono, dalla posizione stratigrafica, dai relativi rapporti geometrici, seguendo quindi solamente il criterio del comportamento meccanico omogeneo.

Relativamente alla caratterizzazione geotecnica e litotecnica dei terreni, con riferimento alla descrizione geologica relativa a ciascuna formazione, individuata e distinta nelle zone di studio, è stata definita la classe di appartenenza ad "unità litologico-tecnica – U.L.T." secondo le indicazioni formulate dal Programma VEL.

Le "unità litologico tecniche", cui si fa riferimento per le formazioni geologiche riscontrate nelle aree indagate, sono state distinte in gruppi principali in base alle diverse successioni di terreni che li caratterizzano uniformandosi alla "Legenda per la definizione di unità litologico-tecniche (U.L.T.)" del programma regionale VEL "Istruzioni tecniche per le indagini geologiche, geofisiche, geognostiche e geotecniche per la valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana".

Di seguito si riporta brevemente la descrizione delle varie "unità litologico-tecniche" con il dettaglio delle varie formazioni geologiche che a ciascuna di esse si è ritenuto far corrispondere.

Su tale carta geologico tecnica risultano suddivisi ed evidenziati :

i materiali di copertura, inseriti, per le aree di interesse, in una unica classe i substrati geologici, suddivisi in integri e molto fratturati o alterati I materiali di copertura, evidenziati solo quando presenti con spessore > metri 3, sono stati inseriti in una unica classe :

GM - ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo inglobano sostanzialmente tutte le coperture presenti sul territorio, alluvionali antiche e detritiche (queste ultime "visualizzate" solo quando non interessate da processi di deformazione gravitativa; quando presente al dato gravitativo viene infatti attribuita priorit ); in questa classe vengono inseriti anche i prodotti derivanti dalla estrema disgregazione dei materiali della formazione delle "ghiaie e conglomerati con livelli di sabbie, limi ed argille (cg)" e delle "brecce a prevalenti elemento ofiolitici (br)" inglobate nel "complesso di base", affioranti, per modeste estensioni, nella sola zona di Cascio I substrati geologici sono stati accorpati, quando integri, in ragione dei materiali presenti sul territorio, secondo le seguenti suddivisioni :

AL - alternanza di litotipi al suo interno ricadono i materiali in assetto caotico del "complesso di base"

LPS - lapideo, stratificato al suo interno ricadono i materiali delle formazioni del "calcare selcifero inferiore - cs1", "calcare selcifero superiore - cs2", "diaspri - di" e "maiolica - mac"

ALS - alternanza di litotipi, stratificato a questa classe e' stata imposta una ulteriore suddivisione (visibile solamente sulle sezioni geologico tecniche e sulle colonnine stratigrafiche di riferimento per la carta delle M.O.P.S.)

in ragione della tipologia di stratificazione, fissile o grossolana :

ALS1 (stratificazione fissile) al suo interno ricadono i materiali delle formazioni delle "marne a Posidomya - mP", "scaglia rossa - sc", "argilliti di Fiumalbo - marne di Le Piastre - fP1"

ALS2 (stratificazione grossolana) al suo interno ricadono i materiali delle formazioni del "Nummulitico - Nu", "arenaria macigno - mg", "arenarie di Monte Modino Le Lari - aM" Ognuno dei substrati sopra elencati, quando in condizioni di elevata fratturazione o alterazione, e' stato classificato come "substrato molto fratturato o alterato - SF\ALS - SFLPS , contraddistinto da specifica simbologia, sovrapposta, in trasparenza al colore di fondo proprio del substrato stesso.

In carta geologico tecnica sono inoltre evidenziate le forme di instabilit  sui versanti, cos  suddivise (in ragione delle fenomenologie presenti sul territorio) :

- crollo o ribaltamento - quiescente
- scorrimento - attiva
- scorrimento - quiescente
- colata - attiva
- colata - quiescente

non definita - attiva (in questa classe rientrano tutte quelle fenomenologie, gi  in precedenza descritte, derivate dalla carta della fransita' di P.A.I., in essa accorpate come aree con instabilit  potenziale elevata per caratteristiche morfologiche, a pericolosit  molto elevata)

non definita - non definita (in questa classe rientrano tutte quelle fenomenologie, gi  in precedenza descritte, derivate dalla carta della fransita' di P.A.I., in essa accorpate come aree con instabilit  potenziale elevata per caratteristiche morfologiche, a pericolosit  elevata)

In carta geologico tecnica sono inoltre evidenziate le forme di superficie e sepolte, cos  suddivise :

orli di terrazzo fluviale, con scarpata di altezza variabile fra 10 e 20 metri (si tratta essenzialmente delle scarpate che delimitano, lato valle, gli antichi terrazzamenti morfologici di origine fluviale presenti sui versanti)

Evidenziati infine :

gli elementi tettonico strutturali faglie dirette (certe e presunte), faglie inverse (certe e presunte) e misure di stratificazione gli elementi geologici e idrogeologici sondaggi / pozzi che hanno raggiunto il substrato geologico (non sono disponibili sondaggi / pozzi che non hanno raggiunto il substrato geologico)

5. MODELLO DEL SOTTOSUOLO

Viene definito come modello del sottosuolo “una rappresentazione tridimensionale approssimata di una porzione di sottosuolo, nella quale devono essere distinguibili gli elementi qualitativi e quantitativi necessari per il suo impiego nelle valutazioni funzionali alla specifica applicazione. Metodologicamente è il risultato di un processo interattivo e iterativo di trattamento di dati provenienti da diverse fonti informative, riconducibili a specifiche aree disciplinari: geologia, geofisica e geotecnica”.

In sintesi, il processo è indirizzato e finalizzato alla definizione del minimo numero di parametri necessari a fornire una ricostruzione di Unità Omogenee, cioè quelle unità caratterizzate da valori simili dei parametri rilevanti ai fini dello studio. Il processo prevede di passare da unità strettamente litologiche a unità caratterizzate da parametri geotecnici e geofisici simili.

In particolare, si devono definire per le diverse unità:

- le geometrie e i limiti superiori, laterali e inferiori; in particolare, è importante stabilire il rapporto stratigrafico tra i terreni di copertura e il substrato geologico, per definire l'andamento morfologico del tetto del substrato geologico sepolto;
- l'assetto strutturale degli ammassi rocciosi ed eventualmente delle formazioni fortemente sovracconsolidate e/o cementate;
- le proprietà fisiche e meccaniche, sebbene secondo le loro intrinseche variazioni e valutazioni di incertezza;
- la posizione delle falde acquifere e le loro eventuali oscillazioni, con definizione delle condizioni idrodinamiche e di pressione interstiziale.

Il processo di costruzione del modello del sottosuolo è partito, quindi, dalla ricostruzione dell'assetto geologico-geomorfologico e strutturale dell'area indagata, effettuato sia mediante cartografie già a disposizione e redatte in passato, come la Carta Geologica Regionale (1:10.000), la Carta Geologica del P.R.G., ecc..., sia attraverso un'inedita revisione con rilievi di campagna.

Tutta l'informazione geologica acquisita, coadiuvata dai dati geotecnici e geofisici, è stata tradotta in un modello, sintetizzato nelle Carte Geologico Tecniche, fornite in scala 1:5.000, riguardanti i settori del territorio del Comune di Molazzana scelti per gli studi di Microzonazione Sismica.

L'insieme dei dati geologici finalizzati a definire modelli del sottosuolo, particolarmente inerenti alla Microzonazione Sismica, hanno consentito di:

- distinguere il substrato geologico dai terreni di copertura;
- definire le loro geometrie;
- individuare, nei terreni di copertura, le aree soggette a fenomeni di instabilità dei versanti;
- individuare le criticità geomorfologiche.

Ai dati di superficie sono stati aggiunti i dati prelevati in profondità con le indagini geognostiche:

- successioni litostratigrafiche;
- contatto terreni di copertura – substrato geologico.

Inoltre, come riportato al precedente capitolo sono stati trattati i dati e gli aspetti di carattere geotecnico e geofisico delle varie UO riconosciute.

6. INTERPRETAZIONI E INCERTEZZE

La finalità delle indagini geotecniche negli studi di Microzonazione Sismica è pervenire alla conoscenza dettagliata dello stato del sito e dei terreni presenti nell'area in funzione di un evento sismico attraverso lo studio delle condizioni naturali del terreno in sito mediante indagini geognostiche, prove geotecniche in sito e di laboratorio e di indagini geofisiche, che devono contribuire a definire tutte le caratteristiche morfologiche, stratigrafiche, idrogeologiche, e che, soprattutto, devono identificare il comportamento dinamico dei vari terreni presenti nel sito, assegnando dei valori ai parametri dinamici indispensabili per la valutazione della risposta del sito mediante modelli analitici e numerici.

Il programma delle indagini geotecniche va perciò commisurato sia al problema nonché ai modelli di calcolo di analisi numerica.

Pertanto, ad esempio, dovranno essere eseguite specifiche indagini per la valutazione della velocità delle onde sismiche, indagini per la caratterizzazione dinamica dei terreni finalizzate alla definizione dell'analisi di risposta sismica locale, indagini in sito per la valutazione del potenziale di liquefazione, indagini finalizzate alla determinazione dei parametri residui in caso di analisi di stabilità di pendii.

Le incertezze del modello geologico (e geologico-tecnico) ricostruito sono principalmente legate alla mancanza di indagini geognostiche spinte a profondità tali da avere una maggior conoscenza della successione stratigrafica del substrato geologico al fine di evidenziare eventuali variazioni di litofacies in corrispondenza dei contrasti di impedenza riconosciuti dalle indagini HVSR effettuate.

Inoltre dovranno essere implementate le conoscenze relative ai parametri geotecnici desunti da indagini in situ e di laboratorio.

Oltre alle prove geotecniche e indagini in situ dovranno essere realizzate prove geofisiche finalizzate sia alla ricostruzione sismostratigrafica del territorio (i.e. mediante l'esecuzione di indagini di sismica a rifrazione in onde P) sia alla determinazione dei valori di V_s (i.e. indagini Down-Hole, Masw, ecc...).

Infine, data la categoria granulometrica del fondo, in prima analisi (lettura ed interpretazione delle descrizioni presenti nelle stratigrafie) sembrerebbero esclusi fenomeni di liquefazione. Le indagini geotecniche di cui si è accennato in precedenza (prove CPT, analisi granulometriche, limiti di Atterberg, ecc...) dovranno chiarire e garantire l'eventuale assenza di questa tipologia permanente di deformazione in caso di sisma.

7. METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

Per una completa ed esaustiva trattazione delle indagini geofisiche svolte, della loro elaborazione e dei risultati conseguiti si rimanda all'allegata relazione contenente le indagini geofisiche svolte, nel novero del presente studio, per la caratterizzazione sismica e propedeutiche alla redazione della cartografia MOPS di Livello 1 e della Carta di Microzonazione Sismica di Livello 3.

8. ELABORATI CARTOGRAFICI

Gli studi di Microzonazione Sismica Comunale (di seguito MS) svolti per il Comune di Molazzana sono stati condotti secondo le indicazioni formulate dal Settore Coordinamento Regionale Prevenzione Sismica nel rispetto degli “Indirizzi e Criteri di Microzonazione Sismica Nazionale” (di seguito ICMS, versione 4.2 del dicembre 2020) e delle specifiche tecniche regionali per la microzonazione sismica approvate con Deliberazione di G.R.T. n. 144/2015.

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**, sono zone 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**, sono le zone in cui il moto sismico viene modificato a causa delle caratteristiche litostratigrafiche e/o geomorfologiche del territorio;
- Le **Zone di Attenzione per Instabilità**, sono le zone suscettibili di attivazione dei fenomeni di deformazione permanente del territorio indotti o innescati dal sisma (instabilità di versante, liquefazioni, fagliazione superficiale, cedimenti differenziali e sovrapposizione di differenti fenomeni di instabilità).

Per la definizione delle zone e della loro perimetrazione si rimanda a quanto definito al par. 1.1.3 e 1.1.4 degli standard ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020).

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 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".

Per la Microzonazione Sismica del Comune di Molazzana sono stati eseguiti sia gli studi di Livello 1 che gli studi di Livello 3.

Ciascuno dei livelli di approfondimento prevede una serie di adempimenti come sotto elencati e dettagliati nella tabella riassuntiva al fine della definizione del quadro conoscitivo minimo che debba essere raggiunto per ogni livello sulla scorta delle indicazioni contenute negli ICMS:

- la realizzazione di opportune indagini geologiche, geofisiche e geotecniche al fine di definire il quadro conoscitivo;
- l'effettuazione di opportune analisi ed elaborazioni;
- la predisposizione di risultati finali.

INDAGINI MINIME

Raccolta di tutti i dati pregressi esistenti nell'area: rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, indagini geofisiche, sondaggi e stratigrafie desunte da pozzi;
Rilevamenti geologici di controllo sul terreno;
Nuove indagini: Esecuzione di ulteriori indagini geofisiche e geotecniche, qualora la raccolta dei dati pregressi non consenta la ricostruzione di un quadro conoscitivo sufficientemente attendibile rispetto agli obiettivi del livello 1;
Misura passive del rumore ambientale, mediante tecnica a stazione singola.

ANALISI ED ELABORAZIONI

Sintesi dei dati e delle cartografie disponibili;
Rilettura, sintesi dei dati ed eventuali nuovi rilievi geologici.

PRODOTTI FINALI

Carta delle indagini (sia esistenti che di nuova realizzazione);
Carta geologico-tecnica per la microzonazione sismica almeno alla scala 1:5.000-1.10.000;
Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) almeno alla scala 1:5.000-1.10.000;
Relazione tecnica illustrativa della carta MOPS;
Carta delle frequenze fondamentali dei depositi.

Sintesi del quadro conoscitivo del livello 1

INDAGINI MINIME

Raccolta di tutti i dati pregressi esistenti nell'area: rilievi geologici, geomorfologici, geologico-tecnici, indagini geofisiche, sondaggi e stratigrafie desunte da pozzi;
Rilevamenti geologici di controllo sul terreno;
Nuove indagini: Programmazione ed esecuzione di ulteriori indagini geofisiche e geotecniche, qualora la raccolta dei dati pregressi non consenta la ricostruzione di un quadro conoscitivo sufficientemente attendibile rispetto agli obiettivi del livello 3;
Misura passive del rumore ambientale, mediante tecnica a stazione singola.
Stendimenti di sismica a rifrazione in onde P e Sh.
Indagini si sismica a rifrazione in onde P e Sh eseguite in foro di sondaggio (prove down-hole e cross-hole).
Analisi dinamiche di laboratorio.

ANALISI ED ELABORAZIONI

Analisi numeriche di risposta sismica locale almeno 1D e/o 2D per amplificazioni sismiche e/o deformazioni permanenti.

PRODOTTI FINALI

Carta delle indagini (sia esistenti che di nuova realizzazione), implementata rispetto a quella del livello 1 e/o 2 con le nuove indagini;
Carta di Microzonazione Sismica almeno alla scala 1:5.000-1.10.000, rappresentative dei

parametri di FA, in termini di pseudoaccelerazione, corrispondenti al periodo 0.1-0.5 s, considerato l'intervallo di riferimento statisticamente più probabile;
Carta delle Microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) con eventuali modifiche; almeno alla scala 1:5.000-1.10.000;
Relazione tecnica illustrativa della Carta MOPS e di Microzonazione Sismica.

Sintesi del quadro conoscitivo del livello 3

Il Livello 1 può quindi essere caratterizzato essenzialmente 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.

Le finalità degli studi di MS di livello 1 sono:

- individuare qualitativamente le aree che necessitano di approfondimenti;
- definire le tipologie di effetti attesi;
- individuare il modello geologico di sottosuolo preliminare.

Il principale elaborato previsto in questo livello è la ***Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS)***. Questa carta individua le microzone ove, sulla base di osservazioni geologiche e geomorfologiche e in relazione all'acquisizione, valutazione ed analisi dei dati geognostici e di alcune tipologie di dati geofisici, è prevedibile l'occorrenza di diverse tipologie di effetti prodotti dall'azione sismica (amplificazioni, instabilità di versante, liquefazione, ecc.). Di particolare importanza a questo scopo risulta la ricostruzione del modello geologico-tecnico dell'area, l'individuazione dei litotipi che possono costituire il substrato rigido (ovvero dei materiali caratterizzati da valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio S significativamente maggiori di quelli relativi alle coperture localmente presenti) accompagnata da una stima approssimativa della loro profondità rispetto al piano di campagna (del tipo: "qualche metro", "una decina di metri", "alcune decine di metri", "oltre i 100 metri"), una stima di massima del contrasto di impedenza sismica atteso (del tipo: "alto" o "basso"). Di particolare importanza sarà l'individuazione di eventuali discontinuità e morfologie sepolte potenzialmente in grado di causare inversioni della velocità di propagazione delle onde di taglio ed effetti di RSL bi- e tri-dimensionali.

Pertanto, per acquisire tali informazioni di tipo semiquantitativo al fine di consentire la predisposizione della cartografia delle *Microzone Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)* si è provveduto alla acquisizione, oltre alle informazioni già previste al par. 1.1.3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020), dei risultati di indagini geofisiche utili alla ricostruzione geometrica dei corpi sepolti (sismica a rifrazione, ERT, gravimetria, ecc.) e alla individuazione di eventuali contrasti di impedenza sismica e possibili fenomeni di risonanza (campagne di misura delle frequenze naturali di sito da vibrazioni ambientali o da terremoti).

Per meglio rappresentare queste caratteristiche la carta dovrà essere corredata da sezioni geolitologiche rappresentative della situazione lito-stratigrafica e strutturale presente.

Attraverso questo livello, quindi, sarà possibile:

- la definizione delle caratteristiche litologiche e geometriche delle unità geologiche del sottosuolo;
- l'individuazione delle aree a minore pericolosità locale (zone stabili);
- l'individuazione delle aree per le quali sono necessari ulteriori livelli di approfondimento;
- definire il livello di approfondimento richiesto nelle aree che necessitano di approfondimenti;

- la programmazione di indagini di approfondimento, sulla base delle diverse tipologie di effetti attesi.

Per la indicazioni tecniche cui attenersi per la predisposizione delle **cartografie delle indagini e delle cartografie delle Microzonazione Omogenee in prospettiva sismica (MOPS)** si rimanda ai par. 1.1.1, 1.1.2 e 1.1.3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) in cui vengono presentate le procedure di riferimento per la realizzazione delle suddette carte.

Negli studi di livello 3 viene eseguito uno studio parametrico rigoroso che prevede la disamina di tutti gli aspetti propri di una microzonazione sismica (stima dell'azione sismica e, quindi, dell'eventuale livello di amplificazione sismica e definizione delle aree di rispetto e/o suscettibilità per le aree instabili) mediante procedure avanzate finalizzate ad una parametrizzazione quantitativa.

Nell'ambito di studi di Microzonazione Sismica di Terzo Livello la base di riferimento è la valutazione dell'amplificazione sismica che dovrà prevedere la realizzazione di analisi di risposta sismica locale (tipicamente in assetto bidimensionale) per le quali bisogna definire un modello di input sia sismologico (selezione delle storie temporali di input), geometrico (determinazione dell'assetto geometrico sepolto e superficiale dei terreni interessati dallo studio di microzonazione sismica) e fisico-meccanico (parametrizzazione in chiave dinamica dei sismostrati oggetto delle analisi di RSL).

Il Livello 3 rappresenta, quindi, il livello più approfondito che permette di giungere ad una microzonazione del territorio basata su metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo. Tale approfondimento è finalizzato alla realizzazione della "Carta di Microzonazione Sismica con approfondimenti".

L'obiettivo è valutare e individuare a scala subcomunale (frazioni e centri), aree a comportamento omogeneo sotto il profilo della risposta sismica locale in corrispondenza di un terremoto atteso.

Per ogni centro urbano individuato, è previsto l'avvio di una serie di attività e di indagini per conoscere le caratteristiche geologiche, geotecniche, geofisiche e strutturali dei terreni in funzione dei possibili effetti di amplificazione e di instabilità connessi con un evento sismico.

I dati geologici, geotecnici e geofisici ad oggi acquisiti, hanno permesso di:

- verificare e approfondire le conoscenze geologiche del sottosuolo (con cartografie, sezioni geologiche, logs stratigrafici, sezioni sismostratigrafiche);
- caratterizzare per i siti investigati le unità geologiche in termini di velocità delle onde sismiche di taglio (V_{sh}) e il coefficiente di Poisson dinamico;
- determinare per le unità geologiche campionabili i parametri geotecnici dinamici (curva di decadimento del modulo di taglio, l'incremento dello smorzamento a crescere della deformazione, il coefficiente di Poisson dinamico).

Il programma delle attività è improntato su una filosofia operativa di tipo multidisciplinare ed analitica, assimilabile al livello 3 come meglio definito dagli I&C di Microzonazione Sismica, che prede come riferimento i criteri e le metodologie operative definite ed illustrate nelle Istruzioni Tecniche Regionali e si articola nelle seguenti fasi:

FASE 0. Individuazione delle aree oggetto di indagine Per ognuno dei Comuni sono definite le aree oggetto delle indagini sulla base di alcuni criteri morfologici, geologici e antropici di interesse ai fini della valutazione degli effetti locali;

FASE 1. Redazione e aggiornamento delle Istruzioni tecniche regionali per fissare i criteri e standard previsti per eseguire i rilievi superficiali e le indagini geofisiche e geotecniche di esplorazione del sottosuolo;

FASE 2. Realizzazione di cartografia geologica e geomorfologica in scala 1:2.000 o 1:5.000 ed individuazione della sezione geologica significativa, al fine di acquisire strumenti cartografici di dettaglio alla scala del centro urbano, in relazione soprattutto alla ricostruzione delle geometrie delle unità geologiche presenti, con particolare riferimento agli spessori delle coperture.

FASE 3. Campagna di indagini di sismica a rifrazione in onde P e SH, in grado di fornire una parametrizzazione geometrica e fisico-meccanica, in assetto bidimensionale, per estendere nel sottosuolo le conoscenze di superficie, nei limiti della metodologia e connessi alla logistica delle aree indagate;

FASE 4. Approfondimento delle indagini: Sulla base dei risultati delle indagini sismiche di superficie, vengono realizzate indagini di dettaglio, quali sondaggi geognostici (con prelievo di campioni per l'esecuzione di prove geotecniche di laboratorio in campo statico e dinamico) e prove Down-hole, per una migliore e puntuale definizione del profilo sismostratigrafico;

FASE 5. Definizione del modello geologico-tecnico, dell'input sismico ed esecuzione dell'analisi di amplificazione: a seguito della realizzazione di sez. litostratigrafiche e della parallela definizione di un input sismico significativo (eseguito su base deterministica, probabilistica o energetica) vengono realizzate analisi numeriche in campo mono e bidimensionale, per fornire una stima quantitativa della risposta sismica locale;

FASE 6. Definizione dei parametri (spettri di risposta e fattori di amplificazione) da fornire ai comuni per la progettazione di nuovi edifici e per gli interventi di adeguamento e miglioramento sugli edifici esistenti;

FASE 7. Realizzazione di un banca dati geografica (GIS) dei dati acquisiti mediante le indagini geologiche, geotecniche e geofisiche: Lo scopo principale è poter gestire un quantitativo ingente di informazioni provenienti da diverse discipline e integrare tali dati in modo oggettivo e dinamico, in modo da poterli modificare e aggiornare nel corso del progetto ed utilizzarli per scopi diversi, quali la semplice rappresentazione cartografica, l'estrazione dei dati sulla base di specifiche richieste dell'utente (comuni e singoli professionisti) o l'analisi con diversi metodi.

FASE 8 - Redazione di cartografie di microzonazione sismica da fornire agli Enti Locali ed ai professionisti al fine di integrare lo strumento conoscitivo del territorio e costituire la base conoscitiva da utilizzare anche ai fini urbanistici.

L'analisi parametrica finalizzata alla redazione di una cartografia di microzonazione sismica di livello 3, impone la preliminare definizione di un input sismico, costituito da un set di accelerogrammi naturali sismocompatibili con le caratteristiche tettoniche dell'area e spettrocompatibili con quanto prescritto dalle vigenti NTC 2018. L'input sismico è stato definito mediante la procedura messa a punto dall'Università di Pavia nell'ambito di un Accordo di Collaborazione Scientifica con la Regione Toscana, finalizzata alla "Definizione di input sismici sismocompatibili e spettro-compatibili per i comuni della Regione Toscana".

A tal proposito è stato sviluppato un codice di calcolo di semplice utilizzo che fornisce, in funzione del sito e del periodo di ritorno considerati, l'input sismico compatibile con le NTC18 sia in termini spettrali che di accelerogrammi spettro-compatibili.

Il codice, scritto in Fortran90, è chiamato SCALCONA 3.0 (SCALing of COMPatible Natural Accelerograms) ed è in grado di fornire, in funzione del sito e del periodo di ritorno considerati, l'input sismico compatibile con le NTC18 sia in termini spettrali che di accelerogrammi spettro-compatibili.

Gli accelerogrammi così ottenuti rientrano in una banca dati composta da eventi naturali da preferire all'utilizzo di accelerogrammi artificiali secondo la normativa e gli studi accademici svolti negli anni.

Nel caso on esame, ai fini della selezione degli accelerogrammi non è stata necessaria la suddivisione del territorio in più aree omogenee sismicamente in quanto l'estensione ridotta del Comune di Molazzana oggetto di studio ha permesso l'utilizzo di un solo set di accelerogrammi.

SCALCONA utilizza opportunamente i risultati della selezione degli accelerogrammi, consentendo di restituire, per il sito e periodo di ritorno di interesse, un gruppo di 7 accelerogrammi che soddisfano i requisiti di spettro-compatibilità prescritti dalle NTC18 e succ. Circolare.

Gli accelerogrammi possono essere selezionati per ciascun punto interno ai territori di studio e per ciascuno dei 9 periodi di ritorno considerati nelle NTC18 (ossia 30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni).

Le analisi di risposta sismica locale realizzate per la microzonazione sismica di livello 3 oggetto del presente lavoro fanno riferimento ad un input sismico relativo ad un periodo di ritorno di 475 anni (SLV) e di 50 anni (SLD).

Per una verifica dei 7 accelerogrammi utilizzati come input delle analisi svolte riferiti ad una condizione detta di "outcrop" e per una completa trattazione delle analisi e delle elaborazioni relative al livello 3 di indagine si rimanda alla specifica **Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D)**.

Il risultato fondamentale del terzo livello è la **Carta di Microzonazione Sismica** ottenuta associando la quantificazione numerica degli effetti, con metodi semplificati, alle parti del territorio suscettibili di amplificazione sismica.

Nella carta vengono individuate le zone stabili, le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali e le zone suscettibili di instabilità.

Per quanto riguarda le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, le amplificazioni vengono quantificate, come descritto precedentemente, per mezzo di abachi che definiscono i fattori di amplificazione degli spettri elastici in superficie, associati alle singole situazioni litostratigrafiche. Detti abachi vengono predisposti dalle regioni, sulla base di criteri generali comuni, tenendo conto delle peculiarità sismotettoniche e geologiche dei rispettivi territori.

Sulla scorta dei fattori di amplificazione locale ricavati per ogni singola zona stabile suscettibile di amplificazioni locali derivante dalla Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) di Livello 1, le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali vengono raggruppate in base al valore del fattore di amplificazione di riferimento.

Inoltre, nella Carta di Microzonazione Sismica vengono inserite le zone suscettibili di instabilità, con particolare riferimento alle zone di attenzione per instabilità di versante, alle zone di attenzione per liquefazione e alle zone di attenzione per cedimenti differenziali.

Per le indicazioni tecniche cui attenersi per la predisposizione della **cartografie di Microzonazione Sismica** si rimanda ai par. 1.1.1, 1.1.2, 1.1.3 e 1.1.4 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) in cui vengono presentate le procedure di riferimento per la realizzazione delle suddette carte.

8.1 INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI INDAGINE

Gli studi di MS si sono concentrati sulla quasi totalità del territorio comunale ad eccezione di quelle porzioni perimetrali o morfologicamente più acclivi laddove non presenti aree edificate.

Infatti l'area di indagine coincide necessariamente con le zone del territorio comunale occupate da insediamenti abitativi, industriali e/o elementi antropici di interesse e sono state, pertanto, sottoposte a studi e indagini specifiche finalizzate alla redazione delle carte di dettaglio con rilievo in scala 1:2.000 e restituzione grafica ed “editing” in scala 1:5.000 (carta delle indagini, carta delle frequenze, carta geologico tecnica per la microzonazione sismica, carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, carta di Microzonazione Sismica) previste per gli studi di microzonazione sismica di 1° e 3° Livello.

8.2 CARTA DELLE INDAGINI E CARTA DELLE FREQUENZE

La Carta delle indagini (Tavola G.01) mostrano, nel dettaglio per ciascuna delle frazioni indagate, l'ubicazione di tutte le prove eseguite precedentemente al presente studio reperibili da fonti “bibliografiche” e/o banche dati, nonché l'ubicazione delle indagini geofisiche appositamente realizzate nel novero dello svolgimento delle attività di cui al presente studio di microzonazione sismica di 3° livello (cfr. certificazioni ed elaborazione grafiche e tabellari delle prove stesse).

La nomenclatura delle diverse tipologie di indagine ubicate sulla CTR, è stata definita sulla base delle indicazioni riportate al par. 1.1.1. degli “Standard di rappresentazione e archiviazione informatica per la Microzonazione Sismica” (versione 4.2 del dicembre 2020).

Nella Carta delle frequenze (Tavola G.02) vengono fornite le informazioni ottenute (frequenza e ampiezza del picco di risonanza, classe di appartenenza) dall'interpretazione delle misure di rumore sismico eseguite nelle aree urbanizzate del comune di Molazzana assoggettate alla presente indagine.

Per ogni misura è stata ottenuta la curva del rapporto H/V del segnale sismico acquisito, sulla quale sono stati eventualmente individuati picchi di risonanza per un certo valore di frequenza.

Tale cartografia riassume e fornisce indicazioni qualitative sulla classe di frequenza fondamentale allo scopo di distinguere:

- aree caratterizzate da assenza di fenomeni di risonanza significativi (ad esempio nessun massimo relativo significativo di f_0 nell'intervallo 0,1-20 Hz);
- aree caratterizzata da presenza di fenomeni di risonanza, distinguendo fra:
 - spessori attesi > di 100 m (indicativamente con $f_0 < 1$ Hz),
 - spessori compresi fra 100 e 50 m (indicativamente con $1\text{ Hz} < f_0 < 2$ Hz),
 - spessori compresi fra 50 e 30 m (indicativamente con $2\text{ Hz} < f_0 < 3$ Hz),
 - spessori compresi fra 30 e 20 m (indicativamente con $3\text{ Hz} < f_0 < 5$ Hz),
 - spessori compresi fra 20 e 10 m (indicativamente con $5\text{ Hz} < f_0 < 8$ Hz),
 - spessori compresi fra 10 e 5 m (indicativamente con $8\text{ Hz} < f_0 < 20$ Hz),
 - spessori minori di 5 m (indicativamente con $f_0 > 20$ Hz).

Il range significativo a cui fare riferimento per la valutazione della suscettibilità all'amplificazione sismica di un sito è circa 1-10 Hz. Picchi con frequenze di circa 1-2 Hz sono rappresentativi mediamente di contrasti di impedenza sismica collocati a profondità dell'ordine di qualche centinaia di metri. Frequenze di risonanza, invece, comprese nell'intervallo 8-12 Hz sono rappresentative di limiti stratigrafici, esistenti tra coperture detritiche e substrato roccioso, la cui profondità è dell'ordine di qualche metro (mediamente compresa tra 0 e 10 m).

Per la rappresentazione dei risultati, sono stati considerati i seguenti intervalli di frequenza (Hz):

- nessuna risonanza
- 0,1 - 0,5
- 0,5 - 1,0
- 1,0 - 2,5
- 2,5 - 5,0
- 5,0 - 7,5
- 7,5 - 10,0
- 10,0 - 15,0
- 15,0 - 20,0

Al fine di riportare in carta il dato relativo all'ampiezza del picco fondamentale, sono stati considerati i seguenti intervalli di ampiezza:

- nessuna risonanza
- 1,1 - 2,0
- 2,0 - 3,0
- 3,0 - 5,0
- > 5,0

Ogni coppia di valori (frequenza/ampiezza) individuati, è stato riportato in apposita tabella sulla relativa cartografia di ubicazione indagini.

Per la valutazione dell'entità del contrasto d'impedenza sismica, individuato con l'interpretazione delle misure di rumore, si è fatto riferimento al seguente criterio di classificazione:

- per ampiezze < 3, il contrasto d'impedenza sismico è basso
- per ampiezze > 3, il contrasto d'impedenza sismico è elevato (alto).

Tale discriminazione è stata applicata solo a valori di ampiezza riferite al picco principale.

Per ulteriori dettagli si rimanda alla relazione allegata al presente documento redatta dall'impresa realizzatrice delle indagini sismiche (cfr. relazione collazionata in apposito fascicolo unitamente alle certificazioni ed elaborazione grafiche e tabellari delle prove stesse).

L'entità del contrasto di impedenza sismica non è stato riportato direttamente sulla carta delle frequenze, ma sulle colonne stratigrafiche del modello geologico di sottosuolo, mostrate sulla carta delle MOPS e di Microzonazione sismica e sulle sezioni geologiche.

Tale elaborato ha il duplice scopo di fornire un adeguato strumento per la predisposizione della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica di livello 1, ma anche offrire un'indicazione delle profondità di investigazione per il livello superiore di MS (livello 3) e la definizione della relativa Carta di Microzonazione Sismica di livello 3.

L'utilizzo della tabella di confronto tra lo spessore di copertura stimato e la frequenza fondamentale del terreno, riportata nel lavoro di *Albarello ed alii, 2010.*, costituisce un valido ausilio. Utilizzando questa tabella, infatti, è

quindi possibile ottimizzare i costi ed evitare eventuali indagini geognostiche spinte a profondità eccessive o al contrario a profondità insufficienti a raggiungere il contrasto di impedenza sismico principale.







Una sintetica descrizione delle risultanze delle misure di rumore sismico effettuate con tecnica HVSr presso le aree di indagine nel territorio comunale di Molazzanai è riportata nel seguito del presente rapporto in cui si descrivono le caratteristiche rilevate per ogni frazione studiata.

8.3 CARTA GEOLOGICO TECNICA PER LA MICROZONAZIONE SISMICA

La carta geologico tecnica è stata redatta in scala 1:5.000 (Tavola G.03) rappresenta, secondo quanto previsto dalle norme ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020), l'elaborato di compendio di tutte le informazioni di base (geologia, geomorfologia, caratteristiche litotecniche, geotecniche ed idrogeologiche) necessarie alla definizione del modello di sottosuolo e funzionali alla carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica (MOPS) e della carta di microzonazione sismica.

Le unità geologico-litologiche vengono distinte tra terreni di copertura, con spessore minimo di 3,0 m, e substrato geologico rigido o non rigido, per giungere ad una standardizzazione delle informazioni relative agli aspetti geologici e litotecnici. La suddivisione dei litotipi in classi predefinite permette, così, di identificare situazioni litostratigrafiche potenzialmente suscettibili di amplificazione locale o di instabilità. Le tipologie dei terreni di copertura in base alle caratteristiche litologiche e i relativi codici corrispondenti vengono descritti utilizzando l'Unified Soil Classification System (ASTM, 1985, modificato) come di seguito presentato:

In aggiunta per i terreni di copertura vengono riportati i codici relativi agli ambienti di possibile genesi e deposizione dei terreni di copertura.

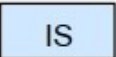








Terreni di copertura		
	RI	Terreni contenenti resti di attività antropica
	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbie
	GP	Ghiaie pulite con granulometria poco assortita, miscela di ghiaia e sabbia
	GM	Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo
	GC	Ghiaie argillose, miscela di ghiaia, sabbia e argilla
	SW	Sabbie pulite e ben assortite, sabbie ghiaiose
	SP	Sabbie pulite con granulometria poco assortita
	SM	Sabbie limose, miscela di sabbia e limo
	SC	Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla
	OL	Limi organici, argille limose organiche di bassa plasticità
	OH	Argille organiche di media-alta plasticità, limi organici
	MH	Limi inorganici, sabbie fini, Limi micacei o diatomitici
	ML	Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità
	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre
	CH	Argille inorganiche di alta plasticità, argille grasse
	PT	Torbe ed altre terre fortemente organiche
	LC	Litoide di copertura

Legenda della Carta Geologico Tecnica: terreni di copertura

Ambiente vulcanico	
Colate/spandimenti/cupole/domi/dicchi/coni lavici	la
Piroclastiti	pc
Scorie laviche	sc
Coltri ignimbritiche/tufi	ig
Lahar (colate di fango)	lh
Depositi epiclastici	ep
Ambiente di versante	
Falda detritica	fd
Conoide detritica	cd
Conoide di deiezione	cz
Eluvi/colluvi	ec
Ambiente fluvio - lacustre	
Argine/barre/canali	es
Piana deltizia	dl
Piana pedemontana	pd
Bacino (piana) intramontano	in
Conoide alluvionale	ca
Terrazzo fluviale	tf
Varve	va
Lacustre	lc
Palustre	pa
Piana inondabile	pi
Ambiente carsico	
Riempimento di dolina/karren/vaschetta/sinkhole	do
Forme costruite presso sorgenti	so
Forme costruite in canyon carsici	cy
Croste calcaree	cc
Ambiente glaciale	
Morena	mr
Deposito fluvio glaciale	fg
Deposito lacustre glaciale	fl
Till	ti
Ambiente eolico	
Duna eolica	de
Loess	ls
Ambiente costiero	
Spiaggia	sp
Duna costiera	dc
Cordone litoraneo	cl
Terrazzo marino	tm
Palude/laguna/stagno/lago costiero	pl
Altro ambiente	zz

Legenda della Carta Geologico Tecnica: ambienti genetico-deposizionali dei terreni di copertura

Le unità del substrato geologico vengono definite tenendo conto della tipologia (lapideo, granulare cementato, coesivo sovraconsolidato, alternanza di litotipi), della stratificazione (qualora esistente) e del grado di fratturazione (secondo una valutazione qualitativa).

Substrato geologico		
	IS	Incoerente o poco consolidato
	LP	Lapideo
	GR	Granulare cementato
	CO	Coesivo sovraconsolidato
	AL	Alternanza di litotipi
	ISS	Incoerente o poco consolidato, stratificato
	LPS	Lapideo, stratificato
	GRS	Granulare cementato, stratificato
	COS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato
	ALS	Alternanza di litotipi, stratificato
	SFIS	Incoerente o poco consolidato fratturato / alterato
	SFLP	Lapideo fratturato / alterato
	SFGR	Granulare cementato fratturato / alterato
	SFCO	Coesivo sovraconsolidato fratturato / alterato
	SFAL	Alternanza di litotipi fratturato / alterato
	SFISS	Incoerente o poco consolidato, stratificato fratturato / alterato
	SFLPS	Lapideo, stratificato fratturato / alterato
	SFGRS	Granulare cementato, stratificato fratturato / alterato
	SFCOS	Coesivo sovraconsolidato, stratificato fratturato / alterato
	SFALS	Alternanza di litotipi, stratificato fratturato / alterato

Legenda della Carta Geologica Tecnica: substrato geologico

In tale cartografia sono stati riportati gli elementi tettonico strutturali (faglie e strutture tettoniche certe o presunte con relativo stato di attività, stratificazioni) e gli elementi geologico e idrogeologici puntuali derivanti dai dati di base (profondità del substrato rigido raggiunto da sondaggio o pozzo, profondità di sondaggio o pozzo che non ha raggiunto il substrato rigido, profondità della falda).

A riguardo del raggiungimento o meno del substrato rigido si precisa che nella cartografia prodotta viene considerata come substrato rigido la sola unità geologico-tecnica LPS, tra quelle appartenenti al substrato geologico e presenti nel territorio comunale in esame. Infatti le altre unità geologico-tecniche (ALS) appartenenti al substrato geologico non vengono considerate come un substrato rigido in quanto, data la loro natura litologica e stratigrafico-strutturale e sulla scorta delle indagini sismiche effettuate, presentano valori di $V_s < 800$ m/s.

Inoltre vengono fornite indicazioni relativamente alle fenomenologie di instabilità di versante (tipologia di instabilità e stato di attività), per le cui definizioni riguardanti lo stato di attività dei versanti il riferimento è il progetto IFFI. Infine vengono presentate le forme morfologiche di superficie e sepolte.

Di seguito si riporta brevemente la descrizione delle varie “unità geologico-tecniche” individuate con il dettaglio delle varie formazioni geologiche che a ciascuna di esse si è ritenuto far corrispondere.

Terreni di copertura

- **Unità geologico-tecnica RI:** corrisponde ai terreni di riporto contenenti resti di attività antropica (h).
- **Unità geologico-tecnica GMfl:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di versante (fluvio lacustre).
- **Unità geologico-tecnica GMtf:** si tratta di terreni costituiti da ghiaie limose, miscela di ghiaie, sabbia e limo di ambiente genetico di Terrazzo fluviale.

Per quanto riguarda i corpi di frana, questi sono stati riportati nelle cartografia secondo quanto previsto alla figure 1.1.2-1 e 1.1.2-2 delle norme ICMS (versione 4.2, dicembre 2020), evidenziando per ciascun corpo la sua natura (qualora riscontrabile) e lo stato di attività.

Substrato geologico

- **Unità geologico-tecnica LPS:** corrisponde al substrato geologico costituito da formazioni lapidee, stratificate.
- **Unità geologico-tecnica ALS:** corrisponde al substrato geologico costituito dall'alternanza di litologie stratificate.

A corredo della carta geologico-tecnica in scala 1:5.000 (Tavola G.03) sono state realizzate alcune sezioni geologico-tecniche (Tavola G.06 in scala 1:2.000) rappresentative del modello geologico del sottosuolo. Tali sezioni sono state tracciate in modo tale da intersecare gli elementi strutturali e geomorfologici più rappresentativi anche in funzione delle condizioni di rischio sismico, nonché i rapporti stratigrafici più significativi per la valutazione della suscettibilità all'amplificazione sismica. Ciò ha permesso di rappresentare non solo il modello geologico-stratigrafico e strutturale locale, ma anche di mettere in evidenza le principali criticità legate al profilo dei versanti (scarpate con $h = 10-20$ m o $h > 20$ m, picchi isolati, zone di cresta, inclinazioni pendii elevate).

8.4 CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA (MOPS)

La “Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica” rappresenta l’elaborato cartografico fondamentale degli studi di microzonazione sismica di livello 1. Scopo della realizzazione di tale elaborato è la definizione di zone ad eguale comportamento sismico. La produzione della carta MOPS è basata sulla sintesi delle informazioni di carattere geologico, geomorfologico, litotecnico-tecnico e sismico desunti dalle cartografie tematiche realizzate per lo studio di microzonazione e i “dati di base raccolti” quali stratigrafie e certificazioni di prove penetrometriche, analisi di laboratorio e indagini sismiche per la definizione della velocità delle onde P e SH e misure di frequenza caratteristica dei terreni. Inoltre, al fine di valutare l’influenza degli aspetti topografici di versante, si sono tenute in considerazione le caratteristiche clivometriche dei luoghi deducibili dalla cartografia ufficiale C.T.R. della Regione Toscana.

Per classificare le aree in esame si è stato fatto riferimento (come da paragrafo 1.1.3 degli ICMS, versione 4.2 del dicembre 2020) alle seguenti categorie di microzone:

- **zone stabili**
- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**
- **zone di attenzione per le instabilità**

Le **zone stabili** sono quelle nelle quali si ipotizza che non si verifichino significativi fenomeni di amplificazione sismica (presenza di substrato geologico/sismico in affioramento) e per le quali, perciò, in caso di evento sismico, sono attesi scuotimenti equivalenti a quelli forniti dagli studi di pericolosità sismica di base dell’INGV. Considerando che la pericolosità sismica di base di un sito è definita sull’ipotesi di substrato litoide affiorante su superficie pianeggiante o con inclinazione inferiore a 15° , rientrano nella classe delle zone stabili tutte quelle aree che presentano substrato roccioso in affioramento (con eventuale copertura costituita dalla coltre di alterazione con spessore massimo di 3 m) e per le quali si abbiano condizioni di bassa fratturazione dell’ammasso ($J_v \leq 10-15$), nonché inclinazione del pendio $< 15^\circ$. Inoltre, qualora studi pregressi evidenzino una velocità di propagazione delle onde S nei primi 30 m di sottosuolo inferiore a 800 m/s, il substrato affiorante può non essere considerato substrato sismico, ma solamente geologico. La numerazione delle zone stabili è progressiva a partire dalla n.1 fino alla n. K.

Le **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** sono le aree nelle quali si presume che, in presenza di sisma, si possano verificare fenomeni di amplificazione sismica. Sono caratterizzate o dalla presenza solamente di substrato roccioso affiorante con caratteristiche strutturali e/o topografiche e/o sismiche tali da non permettere la delimitazione di una zona stabile, oppure dall’esistenza di coperture riconducibili a depositi di origine alluvionale, a coltri detritiche di versante (detriti di versante, depositi eluvio-colluviali, frane), a depositi di origine antropica. La numerazione è progressiva a partire da k+1 fino a n.

Le **zone di attenzione per le instabilità** sono le zone per le quali, in caso di terremoto, si ipotizza si possano manifestare deformazioni permanenti del sottosuolo. I fenomeni deformativi individuati dagli ICMS come causa dell’evento sismico sono:

- **instabilità di versante (frane attive, quiescenti, inattive)**
- **liquefazione**
- **cedimenti differenziali**
- **faglie attive e capaci**

Le **instabilità di versante** sono legate all'attivazione di nuove frane o alla riattivazione di frane quiescenti o antiche stabilizzate. Le tipologie di movimenti sulla base delle quali possono essere discriminate le frane sono: crollo o ribaltamento, scorrimento, colata, frana complessa.

La **liquefazione** è legata alla presenza di materiali granulari sciolti riconducibili a sabbie, sabbie e limi, sabbie e ghiaie. Inoltre si considerano terreni potenzialmente liquefacibili, quelli nei quali la superficie piezometrica della falda freatica superficiale o di falde confinate più profonde si trovi ad una profondità da p.c. ≤ 15 m. Comunque per gli aspetti legati alla liquefacibilità dei terreni, gli aspetti di cui tenere conto sono quelli indicati al par. 7.11.3.4 delle NTC 2008 (per le quali sicuramente la natura granulometrica, la profondità della falda e la magnitudo attesa costituiscono i principali fattori predisponenti) e gli ulteriori approfondimenti riportati al par. 3.1.3 degli ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020). Relativamente a tale aspetto si è tenuto conto delle indicazioni di cui alle “*Linee guida per la gestione del territorio in aree interessate da liquefazione*” editate dalla Commissione Tecnica per la microzonazione sismica – (versione 1.0 del luglio 2013 e versione 1.20 beta del 2014).

I **cedimenti differenziali** sono attesi lungo le zone di contatto tra unità geologiche aventi caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse (es. depositi alluvionali su substrato roccioso). Tale differenza si traduce in una diversa risposta sismica, la quale può indurre, in caso di terremoto, cedimenti significativi, soprattutto nei terreni presenti a ridosso del contatto stratigrafico. Le zone di instabilità per cedimenti differenziali possono perciò essere rappresentate tramite buffer.

Le **faglie attive e capaci** sono faglie per le quali si ipotizza che:

- si siano mosse almeno una volta negli ultimi 40.000 anni
- che potenzialmente manifestano deformazioni che si possono propagare fino in superficie.

Come descritto negli ICMS, le potenziali faglie attive da inserire nella cartografia geologica-geomorfologica devono essere confermate da studi di geologia strutturale di comprovata validità. Inoltre l'identificazione di eventuali faglie capaci, deve essere eseguita facendo riferimento allo studio ITHACA dell'INGV, con il quale è stato realizzato un archivio delle faglie capaci presenti sul territorio italiano. Anche nel caso di instabilità per faglie attive e capaci, come per i cedimenti differenziali, si tende a definire un buffer in corrispondenza della lineazione tettonica.

Al fine di integrare le informazioni acquisite con la definizione delle microzone, la carta delle MOPS riporta le morfologie che hanno rilevanza ai fini dell'amplificazione sismica (**forme di superficie e forme/elementi sepolti**). Tali morfologie sono riconducibili a forme deposizionali come conoidi alluvionali e falde detritiche, ma anche a forme di versante quali orli di scarpata morfologica con $10 < h < 20$ m e $h > 20$ m, creste e picchi isolati (cocuzzoli), forme fluviali come orli di terrazzi fluviali con $10 < h < 20$ m e $h > 20$ m, forme erosive (scarpate e valli) e carsiche (cavità) sepolte.

8.5 CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA

La “Carta di Microzonazione Sismica” rappresenta l'elaborato cartografico fondamentale degli studi di microzonazione sismica di Livello 3. Scopo della realizzazione di tale elaborato è la definizione di zone ad uguale comportamento sismico in funzione dello specifico fattore di amplificazione sismica. La produzione della carta di Microzonazione Sismica si basa sulla sintesi delle informazioni di carattere geologico, geomorfologico, litotecnico-tecnico, di indagine e sismico desunti dalle cartografie tematiche realizzate per lo studio di

microzonazione sismica di livello 1 e sull'applicazione delle metodologie analitiche di analisi di tipo quantitativo 2D eseguite per le elaborazioni di Livello 3.

Per classificare le aree in esame si è stato fatto riferimento (come da paragrafo 1.1.4 degli ICMS, versione 4.2 del dicembre 2020) alle seguenti categorie di microzone:

- **zone stabili**
- **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**
- **zone suscettibili di instabilità**

Le **zone stabili** e le **zone stabili suscettibili di amplificazioni locali** hanno come attributo i parametri che quantificano l'amplificazione locale del moto sismico di base e uno spettro di risposta elastico rappresentativo.

Le zone stabili sono caratterizzate sempre da un'amplificazione uguale a 1,0. Le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali sono invece caratterizzate da classi di fattori di amplificazione. Se dalle analisi sviluppate con gli abachi o attraverso simulazioni numeriche vengono riscontrate delle deamplificazioni, per convenzione si attribuirà alla microzona un valore uguale a 1,0.

Nell'ambito degli approfondimenti di Livello 3 le amplificazioni vengono valutate attraverso analisi numeriche 2D. Nella Carta di Microzonazione Sismica viene riportato il parametro che quantifica l'amplificazione indicato dalla Regione.

Nella tabella seguente vengono riportati i parametri di amplificazione da riportare secondo i criteri ICMS (versione 4.2 del dicembre 2020) nelle Carte di Microzonazione Sismica.

Parametro	Descrizione
FA	Valore del fattore di amplificazione FA a bassi periodi come definito in ICMS
FV	Valore del fattore di amplificazione FV ad alti periodi come definito in ICMS
Ft	Valore del fattore di amplificazione topografica come definito in ICMS
FH0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s
FH0510	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.5-1.0 s
FH0515	Valore del fattore di amplificazione calcolato come intensità di Housner in pseudovelocità nell'intervallo di integrazione 0.5-1.5 s
FPGA	Valore del fattore di amplificazione calcolato in termini di PGA
FA0105	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.1-0.5 s
FA0408	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.4-0.8 s
FA0711	Valore del fattore di amplificazione calcolato sugli spettri in pseudoaccelerazione nell'intervallo di integrazione 0.7-1.1 s

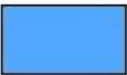
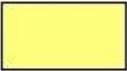









L'inserimento dei valori di FA0105, FA0408 e FA0711, per garantire omogeneità di rappresentazione nel database a livello nazionale, è obbligatorio per il Livello 3.

Nel caso in esame sono state elaborate le analisi riferibili a tutti e tre i suddetti intervalli di integrazione, tuttavia cartograficamente sono stati presentati i valori del solo intervallo FA0105, dato ritenuto maggiormente rappresentativo e statisticamente più probabile.

Oltre ai valori dei fattori di amplificazione e alle analisi numeriche, negli studi di Microzonazione di Livello 3 viene fornito anche lo spettro elastico di risposta in superficie (output) rappresentativo della singola zona, sia in termini di pseudovelocità, che in termini di pseudoaccelerazione, e gli accelerogrammi di input utilizzati per le elaborazioni numeriche. Per ciascuna microzona viene riportata nel DB anche la categoria di sottosuolo indicativa (A, B, C, D, E), così come definita nella normativa antisismica vigente (NTC2018 - Norme tecniche per le costruzioni - D.M. 17 Gennaio 2018; Eurocodice 8. Progettazione delle strutture per la resistenza sismica). Non è prevista la rappresentazione cartografica delle categorie di sottosuolo.

Nelle carte di Microzonazione Sismica di livello 3 per le zone stabili e per le zone stabili suscettibili di amplificazioni locali viene usata, secondo quanto riportato alla fig. 1.1.4.1-1 la seguente legenda.

Si precisa che nella zona stabile, con parametro di amplificazione uguale a 1,0 sono comprese le zone con deamplificazione e con amplificazioni fino a 1,04. Nella classe 1,1-1,2, invece, sono compresi valori di amplificazione da 1,05 a 1,24, mentre nella classe 1,3-1,4 sono compresi valori di amplificazione da 1,25 a 1,44, e così via.

Zone stabili (parametro di amplificazione uguale a 1.0). ¹²	
	1.0
Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (classe del parametro di amplificazione). ¹³	
	1.1 – 1.2
	1.3 – 1.4
	1.5 – 1.6
	1.7 – 1.8
	1.9 – 2.0
	2.1 – 2.2
	2.3 – 2.4
	2.5 – 3.0
	3.1 – 3.5
	>3.5

Per quanto riguarda le zone suscettibili di instabilità, nella carta di Microzonazione Sismica con approfondimento di Livello 3, le zone suscettibili di instabilità per liquefazione o instabilità di versante potranno avere geometrie, descrizioni e indicazioni diverse e aggiuntive rispetto alla geometria delle zone definite dalla Carta delle MOPS, essendo state espletate ulteriori indagini ed elaborazioni proprie di questo livello di approfondimento.

Le Zone Suscettibili di instabilità (instabilità di versante, liquefazioni, faglie attive e capaci) potranno essere di 2 tipi:

- ZS: Zone di Suscettibilità (zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifici per l'instabilità in esame e l'applicazione di specifici metodi di calcolo, anche semplificati, è possibile definire la pericolosità in termini quantitativi).
- ZR: Zone di Rispetto (zone nelle quali, a seguito di una raccolta dati specifica per l'instabilità in esame e l'applicazione di specifici metodi di calcolo, anche avanzati, è possibile quantificare con maggior accuratezza la pericolosità. Tale quantificazione è finalizzata all'analisi dettagliata di aree limitate sulle quali possono essere presenti opere vulnerabili).

Per entrambi i tipi di zone sarà possibile riportare un parametro che quantifichi il fenomeno.

I parametri per le instabilità di versante sono il massimo movimento (FRT, in centimetri) di una frana di scivolamento e il massimo spostamento di blocchi (FRR, in metri) in una frana in roccia.

Il parametro che caratterizza una zona instabile per liquefazione è l'Indice del potenziale di liquefazione (valore medio di IL), così come definito in Sonmez (2003).

Per le faglie attive e capaci il parametro quantitativo richiesto è la dislocazione massima (DISL).

Di seguito vengono riportate le legende relative alle zone di attenzione per instabilità

Zone suscettibili di instabilità	
Vedi Figura 1.1.4.2-2a	Z _{Sr} Zona di Suscettibilità per Instabilità di versante
	Z _{Rr} Zona di Rispetto per Instabilità di versante
Vedi Figura 1.1.4.2-2b	Z _{Sq} Zona di Suscettibilità per Liquefazione
	Z _{Rq} Zona di Rispetto per Liquefazione
	Z _{Sf} Zona di Suscettibilità per Faglie Attive e Capaci
	Z _{Rf} Zona di Rispetto per Faglie Attive e Capaci
	Z _{Ac} - Zona di Attenzione per cedimenti differenziali/crollo di cavità sotterranee/sinkhole *
	Z _{Ad} - Zona di Attenzione per sovrapposizione di instabilità differenti *

Estratto Fig. 1.1.4.2-2

Parametro di amplificazione ^{1a}	ZSra			ZRra
	0<FRT≤15cm 0<FRR≤10m	15<FRT≤100cm 10<FRR≤50m	FRT>100cm FRR>50m	
1				
1.1 – 1.2				
1.3 – 1.4				
1.5 – 1.6				
1.7 – 1.8				
1.9 – 2.0				
2.1 – 2.2				
2.3 – 2.4				
2.5 – 3.0				
3.1 – 3.5				
>3.5				

Estratto Fig. 1.1.4.2-2.a

Parametro di amplificazione ^{1a}	ZSuq		ZRuq
	2<IL≤5	5<IL≤15	IL >15
1			
1.1 – 1.2			
1.3 – 1.4			
1.5 – 1.6			
1.7 – 1.8			
1.9 – 2.0			
2.1 – 2.2			
2.3 – 2.4			
2.5 – 3.0			
3.1 – 3.5			
>3.5			

Estratto Fig. 1.1.4.2-2.b

In carta, su ciascuna zona di attenzione per instabilità di versante e per liquefazione, viene riportato il valore del fattore di amplificazione ricavato.

8.6 METODOLOGIE DI ELABORAZIONE E RISULTATI

ELABORAZIONI DI LIVELLO 1

Relativamente al livello 1 e alle carte delle indagini, delle frequenze e geologico tecnica per la microzonazione sismica si rimanda a quanto riportato ai paragrafi 8.2 e 8.3, mentre per quanto concerne la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) nel proseguo vengono elencate e descritte le risultanze relative alla elaborazione della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica eseguita per il territorio comunale (come presentate nell'elaborato Tavola G.04 in scala 1:5.000).

ELABORAZIONI DI LIVELLO 3

Per gli studi di Microzonazione Sismica di Livello 3 del territorio comunale di Molazzana, la Carta delle Indagini di Livello 1 ed il relativo database sono stati aggiornati con i nuovi dati acquisiti durante il presente lavoro; è stata naturalmente seguita la simbologia indicata nelle Istruzioni Tecniche e negli Standard di rappresentazione e archiviazione informatica ufficiali.

Anche l'elaborato relativo alla Carta delle Frequenze redatto per il Livello 1, è stato aggiornato in funzione delle nuove misure HVSR.

Nella carta sono riportati i risultati della campagna di misure di microtremore a stazione singola HVSR, comunemente nota con il termine H/V condotte secondo gli standard e i criteri stabiliti dagli ICMS e indicati nel Volume di Ingegneria sismica 2/11 per la misura delle frequenze fondamentali dei depositi che costituiscono la copertura della pianura alluvionale e delle coltri detritiche su substrato.

Nella Carta di Microzonazione Sismica è stata riportata la distribuzione delle aree caratterizzate da amplificazioni locali del moto sismico per effetti litostratigrafici, per le quali è stato quantificato analiticamente il fattore di amplificazione FA, ottenuto tramite lo studio di Microzonazione Sismica di Livello 2 effettuato.

In accordo con i referenti della Regione Toscana per meglio rappresentare gli effetti attesi è stata elaborata, per le aree di indagine, la sola rappresentazione cartografica relativa a:

- la carta di microzonazione sismica per il fattore di amplificazione relativo al periodo compreso fra 0.1 e 0.5s.

Per detto elaborato le nuove indagini eseguite hanno confermato il modello geologico generale e quindi, sostanzialmente, la classificazione delle microzone eseguita in fase di Livello 1, sebbene con alcune modifiche.

Pertanto, alle varie Zone individuate in fase di primo livello e confermate o modificate in fase di terzo livello, sono stati assegnati i valori del Fattore di Amplificazione, secondo le procedure indicate nella Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D) e a cui si rimanda per una specifica trattazione.

9. CONFRONTO CON LA DISTRIBUZIONE DEI DANNI DEGLI EVENTI PASSATI

Come già ampiamente trattato nel precedente capitolo 2, relativo agli eventi sismici di riferimento, il territorio comunale di Molazzana ha registrato nel passato alcuni episodi sismici, anche di importante intensità; tuttavia non sono stati storicamente registrati particolari danni a opere civili e/o infrastrutture.

Tra questi l'evento sismico maggiormente significativo e ricordato è quello del 1920 che causò oltre 300 morti nel Garfagnana e che vide come epicentro la zona di Piazza al Serchio,

La zona dove si ebbero i danni maggiori fu quella nelle immediate vicinanze di Villa Collemarina; con la totale distruzione dell'abitato.

Gravi danni si ebbero anche a Barga, dove oltre il 75% delle case fu dichiarato inagibile e si ebbe il crollo parziale del Duomo e danni seri ad altri edifici; ed in tutta la Garfagnana, con particolare riferimento a Pieve Fosciana, San Romano, Minucciano, dove si ebbero danni gravissimi al patrimonio pubblico e gran parte delle case inagibili.

Si ricorda, inoltre il terremoto del 1837 allorché una forte scossa di terremoto colpì quasi tutta la provincia di Lucca e Massa, causando danni diffusi, in alcune zone anche gravi.

In Garfagnana i danni furono molto estesi, ma nel complesso non gravissimi. Numerosi danni interessarono l'edilizia residenziale e privata della città, con lesioni diffuse e cadute di soffitti. Complessivamente circa 100 edifici risultarono inagibili..

e.

Anche la scossa di terremoto avvenuta il 21 Giugno 2013, con epicentro nel a Minucciano ($M=5.2$) nella zona è stata avvertita nel territorio comunale di Molazzana, senza procurare danni a edifici o manufatti.

Dagli studi eseguiti è possibile desumere che le maggiori lesioni e danni di un evento sismico possono essere registrate laddove si ha la presenza di una coltre di copertura su un substrato litoide, e dove possono avvenire fenomeni di contrasto di impedenza sismica.

10. BIBLIOGRAFIA

- Albarello D. (2013) - I dati di rumore ambientale per la MS di Livello I - Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma, 22-23 settembre 2022.
- Albarello D. (2013) - La risposta sismica locale. Seminario ODG – Fermo, 11 Ottobre 2013.
- Albarello D. (2013) - Sismica passiva con tecniche a stazione singola e antenna. Seminario ODG – Fermo, 11 Ottobre 2013.
- Albarello D. (2013) - Misure di rumore ambientale. Corso di microzonazione sismica e valutazione della risposta sismica locale per la ricostruzione post-terremoto.
- Albarello D. & Castellaro S. (2011) – Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola – Supplemento alla rivista trimestrale *Ingegneria Sismica* – Anno XXVIII, n. 2.
- Basili R., Valensise G., Vannoli P., Burrato P., Fracassi U., Mariano S., Tiberti M. M. & Boschi E. (2008) - DISS - Database of Individual Seismogenic Sources.
- Commissione tecnica per la microzonazione sismica (articolo 5, comma 7 dell’OPCM 13 novembre 2010, n. 3907) - Standard di rappresentazione ed archiviazione informatica. Microzonazione sismica. Versione 4.2 (dicembre 2020).
- Comune di Molazzana – Piano Strutturale Comunale, Indagini geologico tecniche di supporto.
- Geodes (2013) – Studi di Microzonazione Sismica di Livello 1.
- Gruppo di Lavoro MS (2008) - Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd.
- Gruppo di Lavoro MS–AQ (2010) - Microzonazione sismica per la ricostruzione dell’area aquilana. Regione Abruzzo – Dipartimento della Protezione Civile, L’Aquila, 3 vol. e Cd-rom.
- Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D’Amico S., Antonucci A.. Database Macrosismico Italiano DBMI15 - Release v2.0 - DBMI15, the version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15>.
- Meletti C., Valensise G. (2004) - Zonazione sismogenetica ZS9 – App.2 al Rapporto Conclusivo - Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274) - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- Presidenza del Consiglio dei Ministri, Dipartimento della protezione civile, Ufficio rischio sismico e vulcanico (2012) - Classificazione sismica al 2012 Recepimento da parte delle Regioni e delle Province autonome dell’Ordinanza PCM 20 marzo 2003, n. 3274.
- Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B. & Gasperini P. (2016) - Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 Release v1.5 2015 - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia – <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>.
- SESAME European research project WP12 – Deliverable D23.12 - Guidelines for the implementation of the h/v spectral ratio technique on ambient vibrations measurements, processing and interpretation.

11. ALLEGATI

- Tav. G.01 Carta delle indagini – Molazzana, Cascio(scala 1:5.000)
- Tav. G.02 Carta delle frequenze – Molazzana, Cascio(scala 1:5.000)
- Tav. G.03 Carta geologico tecnica – Molazzana, Cascio(scala 1:5.000)
- Tav. G.04 Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica – Molazzana, Cascio(scala 1:5.000)
- Tav. G.05 Carta di Microzonazione Sismica FA01-05 - Molazzana, Cascio(scala 1:5.000)
- Tav. G.06 Sezioni geologico-tecniche con indicazione zone Mops – Molazzana (scala 1:2.000)
- Relazione tecnica inerente l'elaborazione di Risposta Sismica Locale 2D (RSL2D)
- Microzonazione sismica di livello 1 - Indagini geofisiche di superficie mediante sismica a rifrazione in onde P e Sh – Geodes.
- Microzonazione sismica di livello 1 - Indagini geofisiche di sismica passiva con prove di tipo Hvsr – Geodes
- Microzonazione sismica di livello 3 – Indagini geofisiche – Geol.Pieroni – Tecna Srl
- Microzonazione sismica di livello 3 – Indagini geofisiche – Geol.Pieroni – Tecna Srl.
- Microzonazione sismica di livello 3 – Indagini geofisiche – Geol.Pieroni – Tecna Srl
- Microzonazione sismica di livello 3 – Report Sondaggi (Schede stratigrafiche e documentazione fotografica)

Barga li 26.03.2022

Dott. Geol. Cristian Pieroni

Dott. Geol. Francesco Puccetti