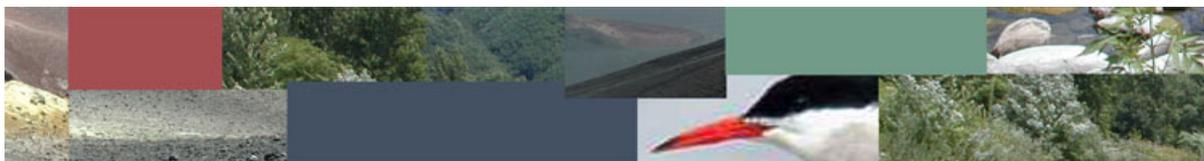




**STUDIO GEOLOGICO A SUPPORTO DEL RECUPERO ED ADEGUAMENTO
FUNZIONALE DELL'IMPIANTO SPORTIVO DI PIEVE SAN PAOLO**



RELAZIONE SISMICA



Ottobre 2023

INDICE

1 – PREMESSA	2
2.- CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA.....	2
2.1- Morfologia.....	2
2.2- Geologia e geomorfologia del sito	3
3 – INDAGINI E RILEVAMENTI IN SITO.....	5
4 – SISMICITA' DEI LUOGHI.....	7
5 - INDAGINI GEOFISICHE	12
5.1 – INDAGINE GEOFISICA SH – campagna 2023	12
5.1.1 - <i>Strumentazione e sistema di acquisizione</i>	12
5.1.2 - <i>Tomografia sismica</i>	13
5.2.2 - <i>Configurazione e risultati della tomografia sismica</i>	14
5.3 – MASW – campagna 2023.....	15
5.4 - Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) – Metodo di Nakamura -v. All.4.....	16
5.5 - Periodo di riferimento dell'azione sismica.....	18
5.6 - Categorie di suolo e condizioni topografiche.....	19
5.7 – Pericolosità sismica e parametri sismici.....	20
6 – VERIFICA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI.....	22

Tavola 1 – Inquadramento

Tavola 2 – Carta geologica

Allegato 4 – Indagini sismiche

1 – PREMESSA

Per incarico del Comune di Capannori – *Settore Assetto e Gestione del Territorio* - sono state svolte indagini geologiche, idrogeologiche e sismiche a supporto del recupero ed adeguamento funzionale dell’impianto sportivo di Pieve S Paolo, ubicato in località Pieve S Paolo, Comune di Capannori.

In particolare si prevede la realizzazione di un nuovo manufatto da adibire a spogliatoio oltre che il miglioramento dell’impianto luci, con la messa in opera di pali d’illuminazione e la realizzazione di una piccola gradinata. Tale intervento prevede anche la demolizione di alcuni manufatti.

La relazione ha lo scopo di fornire la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito come previsto al Punto 6.2.1 del recente D.M. 17 Gennaio 2018 – “*Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni*” (NTC), e che sostituiscono quelle approvate con il D.M. 14 Gennaio 2008. Ai fini del Regolamento n. 1/R del 19 gennaio 2022 “*Regolamento di attuazione dell’articolo 181 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio)*”, l’intervento ricade nella Classe d’indagine 3 ed in pericolosità sismica S2 media.

Inoltre gli studi sono stati eseguiti tenendo conto:

- *Circ 21 gennaio 2019, n° 7 C.S.LL.PP. – Istruzioni per l’applicazione delle “Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17-01-2018.*
- *Ordinanza del Presidente Consiglio dei Ministri 28 aprile 2006 n. 3519.*
- *Deliberazione della Giunta Regionale Toscana n. 431 del 19 giugno 2006.*
- *Indagini effettuate dai vari organi preposti al controllo del rischio geologico-geomorfologico, idraulico e sismico.*
- *Variante PAI di adeguamento al Piano di Gestione Rischio Alluvione del Distretto adottato con Decreto del Segretario Generale n° 39 del 12/06/2018;*
- *L.R. 24 luglio 2018 n° 41 - Disposizioni in materia rischio alluvioni e di tutela dei corsi d’acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n° 49 . Modifiche alla L.R.: 80/2015 e L.R. 65/2014 -*
- *Il Regolamento Urbanistico del Comune di Capannori – Variante Generale con Delibera C.C. 11 del 20/03/2014 approvata con Delibera C.C. n° 69 del 27/11/2015*

Si segnala che il Comune di Capannori, con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, è stato classificato “Comune sismico - *Zona rischio sismico 3*”.

2.- CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE DELL’AREA

2.1- Morfologia

L’area in esame ricade nel settore centrale del Comune di Capannori lungo la via dei Malfatti in località Pieve san Paolo a valle della ferrovia Lucca/Firenze, ad una quota di circa 16.00 m s.l.m. (v. Fig.1 - Tav 1).



Fig. 1 - Ubicazione area intervento

2.2- Geologia e geomorfologia del sito

I terreni, affioranti nella zona, sono costituiti da materiale rimaneggiato dello spessore medio di circa 1,00 m sovrastante depositi alluvionali recenti costituiti da limi sabbiosi, limi e sabbie a loro volta, poggianti su un “materasso” ghiaioso sabbioso (v. Fig.2).

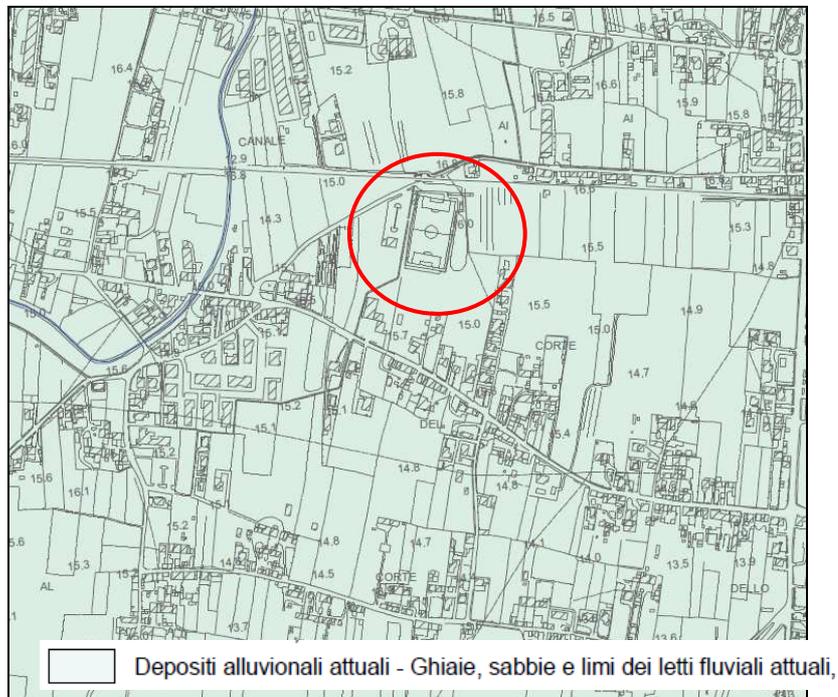


Fig. 2 - Carta geologica

Tali alluvioni sono sede di un'importante falda acquifera che ha un andamento prevalente da NW verso SE, traendo alimentazione dal F. Serchio (v. Fig. 3).

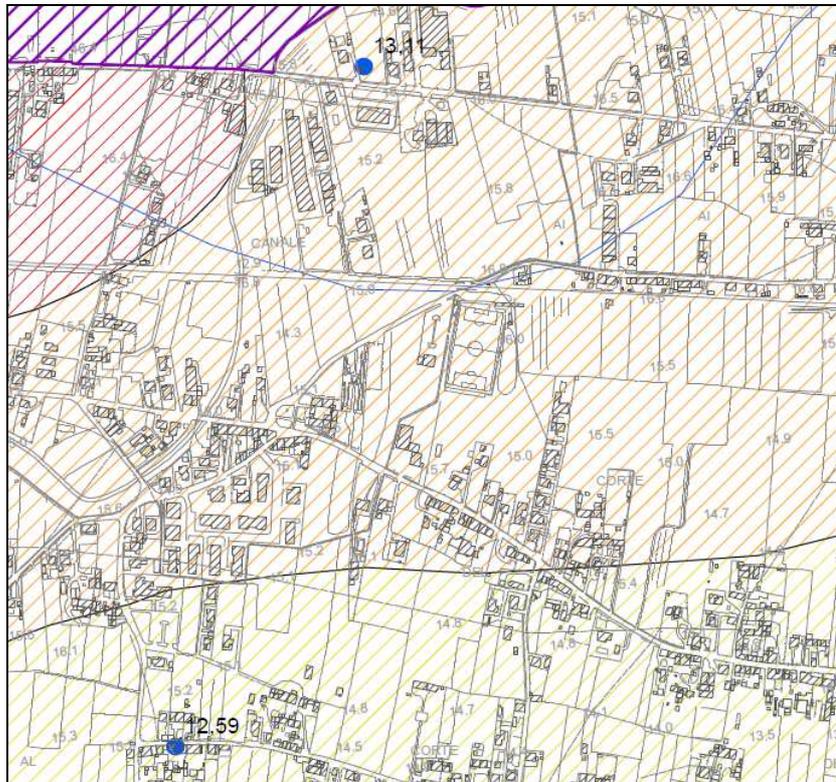
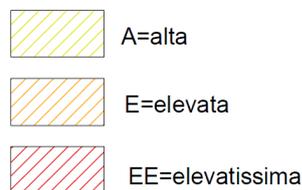


Fig. 3 – Carta piezometrica e della vulnerabilità dell'acquifero



Ai fini del presente progetto è necessario sottolineare che la superficie piezometrica ha un'escursione annua di circa 1,00 m tra i valori minimi autunnali e quelli massimi invernali (per ricarica naturale della falda) ed estivi (per ricarica artificiale della falda stessa dovuta all'irrigazione dei campi). Dai dati in nostro possesso, relativi a misure periodiche nei pozzi presenti nell'area, si può osservare che il livello di massima rilevato è circa di 1.00 m dal p.c.. Misure piezometriche, eseguite in fase di indagine, hanno rilevato una soggiacenza variabile tra -5.00, nel piezometro posto nella prova CPT/DPSH1 e -2.60 nella prova CPT/DPSH2.

La coltre delle alluvioni è caratterizzata da una permeabilità alta dove ha sede la falda acquifera al di sotto della quale si trova il deposito fluvio-lacustre, di natura argilloso-sabbioso-ghiaioso, caratterizzato da una ridotta permeabilità che costituisce l'acquicluda basale che sostiene l'acquifero soprastante. La presenza di una copertura limosa-sabbiosa dotata di medio-bassa permeabilità origina un acquifero semi-confinato.

I parametri idrogeologici nell'orizzonte sabbioso-ghiaioso, ricavati dall'analisi di prove di portata eseguite in aree limitrofe, sono indicativamente i seguenti:

- Trasmissività:	$1.00 \div 6.00 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$
- Coefficiente di immagazzinamento:	$2.50 \div 5.00 \times 10^{-4}$

Per quanto riguarda l'idrografia superficiale si osserva che il drenaggio dell'area è assicurato dalle canalette che fanno capo al Canale Ozzoretto, posto ad W.

Nel sopralluogo e nel rilevamento effettuato non sono stati comunque individuati fenomeni sorgivi, ristagni o comunque cenni di venuta a giorno di falde idriche sotterranee.

Le indagini penetrometriche e il sondaggio hanno permesso di ricostruire la seguente successione stratigrafica:

- *un orizzonte rimaneggiato dello spessore di circa 1.00 m;*
- *depositi prevalentemente limo-sabbiosi e/o sabbiosi di media permeabilità, per uno spessore variabile tra 3.50 m (sondaggio S1 e prova P1) e 7.00 m (Prova P2);*
- *un livello di sabbie ghiaiose e ghiaie, con orizzonti sabbiosi, dotato di buona permeabilità dello spessore di almeno 10.00 m (sondaggio S1).*

3 – INDAGINI E RILEVAMENTI IN SITO

Gli studi sono iniziati a partire dall'acquisizione del quadro diagnostico emergente, dalle attività e dalle indagini svolte sull'area. Infatti la caratterizzazione e la modellazione geologica della zona consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici e più in generale, di pericolosità del sito.

Al fine di integrare i dati esistenti, ricostruire la successione stratigrafica di dettaglio dei terreni interessati ed effettuare una valutazione delle caratteristiche geotecniche degli stessi, è stato predisposto un programma d'indagini integrative comprendente (v Fig.4):

- N°3 – Prove penetrometriche CPT/DPSH – v all.1
- N°1 – Sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prelievo di campioni (v.all.2)
- N° 4 - Prove SPT
- N°2 – Campioni indisturbati (v. All. 3)
- N°1 – Indagine sismica SH - MASW-HVSR (v. All.4)

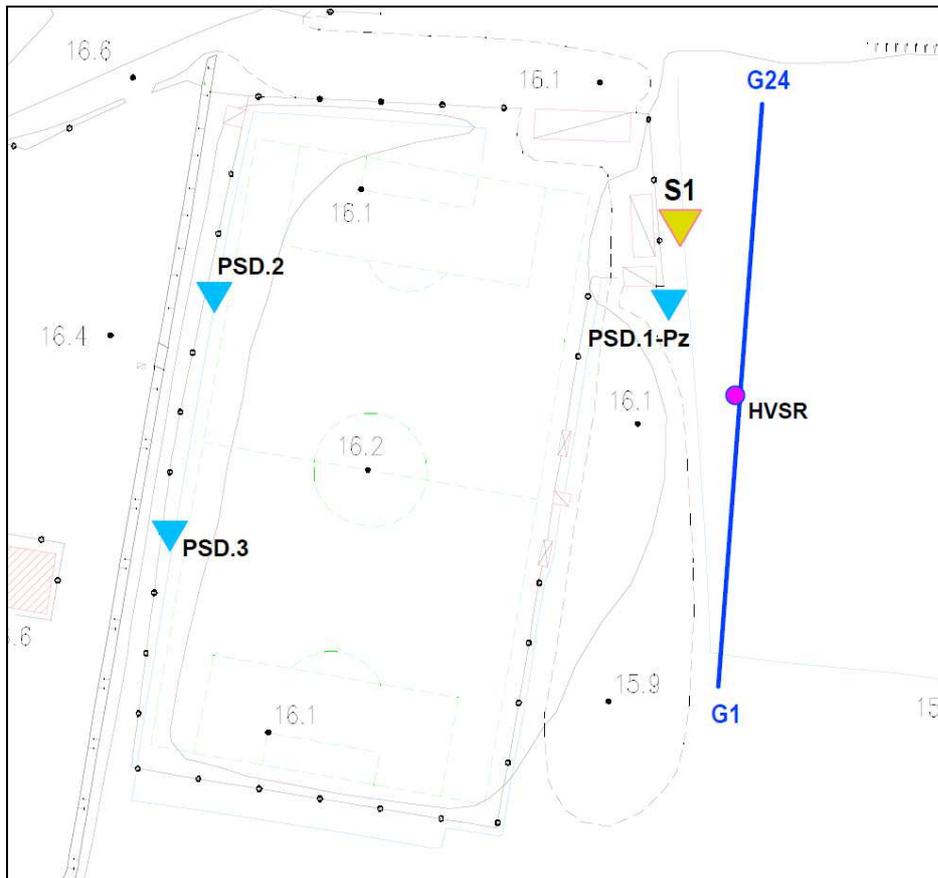


Fig. 4 - Ubicazione indagini geognostiche

<p>S1</p>  <p>- Sondaggio geognostico a carotaggio continuo</p>	<p>G1</p>  <p>- Stesa sismica a rifrazione di onde SH/indagine sismica di tipo MASW (onde di Love)</p>
<p>PSD.1(-Pz)</p>  <p>- Prova penetrometrica statica/dinamica CPTm/DPSH (-Pz foro attrezzato a piezometro)</p>	<p>HVSr</p>  <p>- Misura di rumore ambientale a stazione singola</p>

Per quanto riguarda gli aspetti geotecnici e stratigrafici ottenuti si rimanda alla relazione geologica allegata. Si riportano di seguito solo la stratigrafia ottenuta nel sondaggio S1 (campagna 2023), utilizzato per la taratura delle indagini sismiche (v. Fig.5).

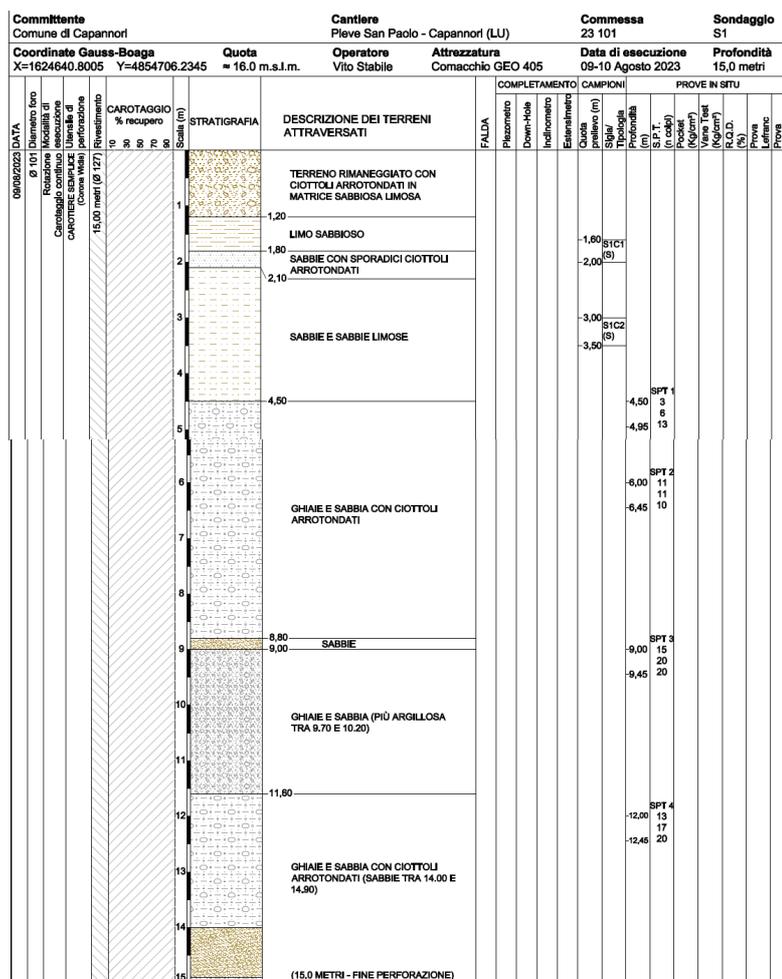


Fig. 5 - Logs stratigrafico Sondaggio S1/2023

4 – SISMICITA' DEI LUOGHI

L'azione sismica sulle costruzioni è generata dal moto non uniforme del sedime per effetto della propagazione delle onde sismiche. Il moto eccita la struttura provocandone la risposta dinamica, che va verificata e controllata negli aspetti di sicurezza e di prestazioni attese.

Con il termine di “zonazione sismica” s'intende, convenzionalmente, l'operazione di suddivisione del territorio nazionale in aree (zone sismiche) a differente livello di pericolosità, cioè in aree alle quali vengono attribuiti valori differenziali del grado di sismicità da prendere a base per la determinazione delle azioni sismiche e di quanto altro specificato nelle norme tecniche. L'operazione ha per obiettivo la definizione del livello di esposizione alle azioni sismiche delle varie parti del paese e l'assegnazione ad ogni zona di alcuni parametri ingegneristici utili per la progettazione strutturale. In termini molto semplificati, le ricerche di supporto per una zonazione sismica comprendono studi di sismicità storica, ricerche di geologia strutturale e studi sismologici.

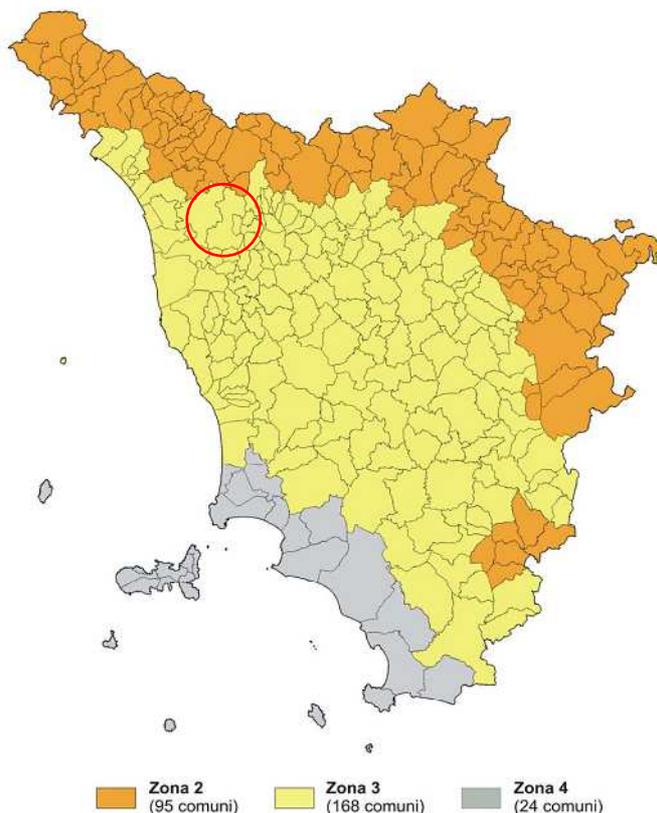
La regione Toscana ha apportato, nel tempo, aggiornamenti alla classificazione sismica. Infatti è stata approvata con Del. GRT n° 421 del 26.5.2014, la classificazione. L'aggiornamento si è reso necessario al fine di recepire le novità introdotte dall'entrata in vigore delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e di rendere la classificazione sismica (riferimento per la disciplina dei controlli sui progetti depositati presso gli Uffici tecnici

regionali preposti), maggiormente aderente all’approccio “sito-dipendente” introdotto dalle vigenti norme.

Si riporta di seguito, per il Territorio del Comune di Capannori, le modifiche di classificazione succedute negli anni.

Provincia	Cod. ISTAT	Comune	CLASSIFICAZIONI PRECEDENTI								ATTUALE
			Regio Decreto 13 marzo 1927 n°431	Regio Decreto 25 marzo 1935 n°640	Regio Decreto 22 novembre 1937 n°2106	Legge 25 novembre 1962 n°1684	Decreto Ministeriale 19 marzo 1982	Ord. P.C.M. n°3274 20 Marzo 2003 Del. G.R.T. n°604 16 giugno 2003	Ord. P.C.M. n°3519 28 aprile 2006 Del. G.R.T. n°431 19 giugno 2006	Del. G.R.T. n°8788 ottobre 2012	
CO	01601	CAPANNORI	nc	nc	nc	nc	nc	3	3	3	3

Il Comune di Capannori è stato classificato “Comune sismico - Zona rischio sismico 3”.



Allo stato attuale la pericolosità sismica è fornita in base ad un reticolo di riferimento definiti, per ogni punto del territorio comunale, su una maglia di 5 Km di lato, indipendentemente dai confini amministrativi comunali. I dati di ag di tale reticolo, sono riportati sul sito <http://esse1-gis.mi.ingv.it/> sotto forma di mappa interattiva di pericolosità sismica. Consultando la suddetta mappa, l’accelerazione massima del suolo (ag), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi caratterizzati da Vs30>800 m/sec, risulta compresa tra 0.125g e 0.15g

Al fine di definire gli eventi storici che hanno interessato il territorio comunale si è fatto riferimento ai seguenti cataloghi:

- *CPTI15 – Catalogo parametrico dei terremoti Italiani.*
- *CFTI5 med- catalogo dei forti terremoti in Italia tra il 461 a.C. ed il 1997 e nell’area Mediterranea tra il 760 a.C. ed il 11500. Contiene tutti i terremoti italiani aventi*

intensità epicentrale di grado VIII o superiore e una selezione dei terremoti più piccoli.

- *DOM 4.0 – database di osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia di danno (GNDT 1997).*

Nello specifico non sono stati rilevati forti terremoti con epicentri localizzati nel territorio comunale di Capannori. Gli epicentri dei sismi catalogati sono quasi tutti collocati in area appenninica ed in particolare Garfagnana-Lunigiana che rappresenta l'area sismografica più vicina e più attiva, dove si segnala il terremoto del 1920 con intensità epicentrale del X° MSC che comportò un risentimento del VI°-VII° MSC a Lucca. (v. Fig.6).

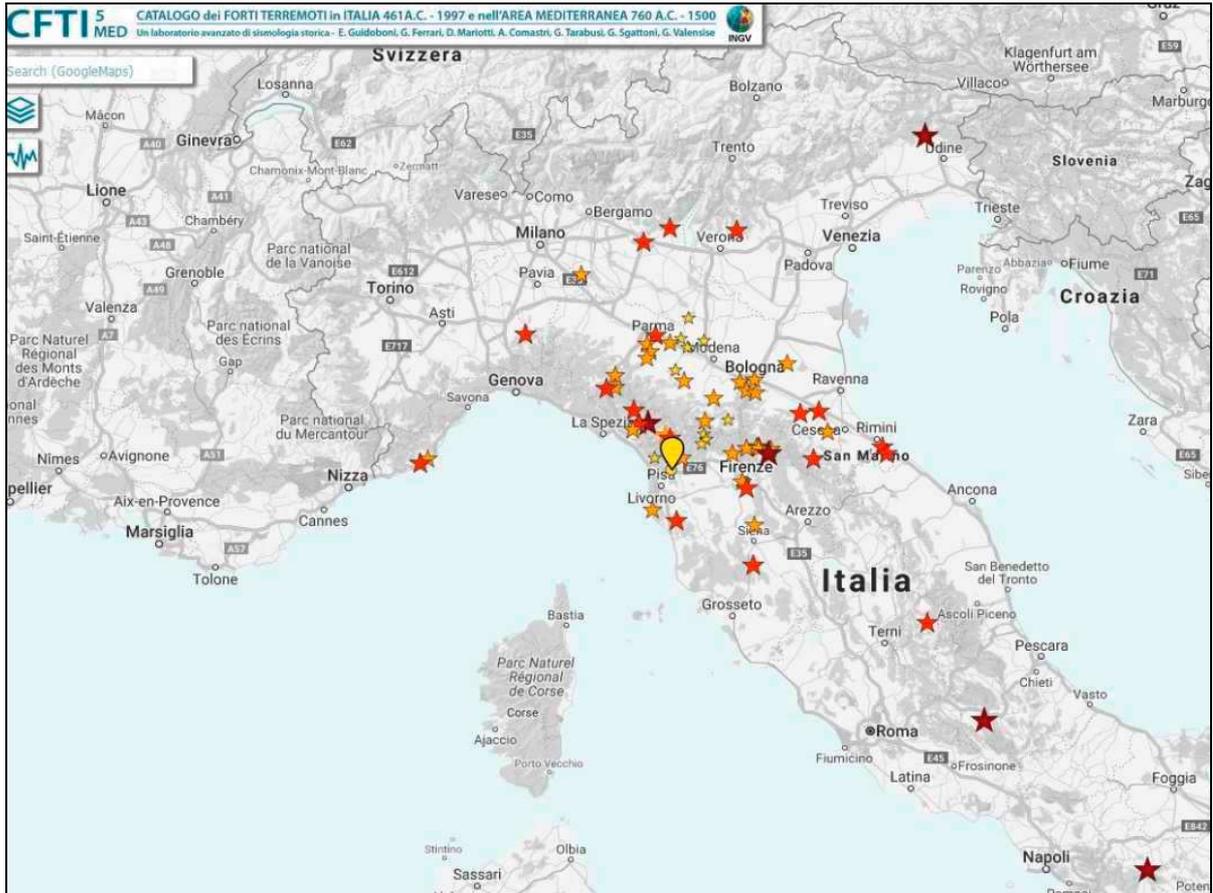


Fig. 6 - Localizzazione su mappa dei terremoti storici

Is	Nat	Data	Ora	Io	Imax	NOM	Me	Area Epicentrale
VII		1117 01 03	15:15	7.5	7.5	5	5.3	Toscana settentrionale
VI-VII		1873 09 17	19:30	6.5	6.5	78	5.5	Appennino tosco-emiliano
VI-VII		1920 09 07	05:55:40	10	10	750	6.5	Garfagnana
VI		1414 08 03	17:35	6	7	6	5.2	Toscana settentrionale
VI		1740 03 06	05:40	8	8	32	5.5	Garfagnana
VI		1767 01 21	07:45	7	8	10	5.4	Fivizzano (MS)
VI		1846 08 14	12:00	9	10	121	5.9	Toscana settentrionale
V-VI		1481 02 06	21:15	5.5	5.5	4	4.5	Toscana settentrionale
V-VI		1481 02 07	06:20	5.5	5.5	1	4.5	Lucca
V		1464 03 24	-	5	5	2	4.3	Garfagnana?
V		1481 05 07	14:15	8	8	6	5.6	Garfagnana
V		1536 08 17	00:05	6.5	6.5	10	5.3	Appennino tosco-emiliano
V		1742 01 27	11:20	6	7	16	4.9	Livorno
V		1832 03 13	03:30	7.5	7.5	97	5.5	Reggiano
V		1837 04 11	17:00	9	10	60	5.8	Alpi Apuane
V		1904 02 25	19:47:50	8	7	62	4.9	Reggiano
V		1919 06 29	15:06:13	10	10	567	6.3	Mugello
F(IV-V)		1222 12 25	12:30	8	9	18	6	Basso bresciano
IV-V		1542 08 13	02:15	9	9	46	5.9	Mugello
IV-V		1611 09 08	22:10	7	7.5	4	5.1	Scarperia (FI)
F(IV-V)		1746 07 23	18:15	7	7.5	10	5.1	Garfagnana
IV-V		1834 02 14	13:15	9	9	112	5.8	Valle del Taro-Lunigiana
IV-V		1887 02 23	05:21:50	9	10	1512	6.3	Liguria occidentale
F(IV-V)		1881 06 07	01:06:14	8.5	9	403	5.9	Valle d'Ilasi
F(IV-V)		1963 07 19	05:45:28	6	6	463	5.4	Mar Ligure
F(IV-V)		1979 09 19	21:35:37	8.5	9	694	5.8	Valnerina
IV		1456 12 20	20:45	6.5	7.5	6	4.9	Media valle del Reno
IV		1781 07 17	09:40	8	8	46	5.6	Romagna
IV		1834 07 04	00:45	6.5	7	24	5.2	Lunigiana-Parmense
IV		1843 10 25	03:30	6.5	7	17	5.1	Mugello
IV		1895 05 18	19:55:12	8	8	405	5.4	Fiorentino
IV		1899 06 26	23:17:22	7	7	140	5.1	Valle del Biennio
IV		1918 11 10	15:12:28	9	9	188	5.9	Appennino romagnolo
IV		1976 05 06	20:00:13	10	10	525	6.5	Friuli
III-IV		1433 05 04	08:05	6	7	4	4.7	Bologna
III-IV		1486 04 07	15:30	5.5	6.5	11	4.5	Planura Padana
III-IV		1828 10 09	02:20	8	8	115	5.8	Valle Staffora
III-IV		1830 01 26	04:30	5.5	6.5	11	4.4	Appennino bolognese
III-IV		1983 11 09	16:29:52	6.5	7	850	5.3	Parmense
III		1779 12 24	17:00	5.5	6.5	9	4.6	Pistoiese
III		1781 04 04	21:20	9.5	9.5	96	5.9	Romagna
III		1818 12 09	16:55	7	7.5	26	5.3	Parmense
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.8	Carpi (MO)
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III		1832 03 12	08:45	4.5	5	7	4.5	Reggiano
III		1832 03 11	08:45	5	6	14	4.5	Reggiano
III								

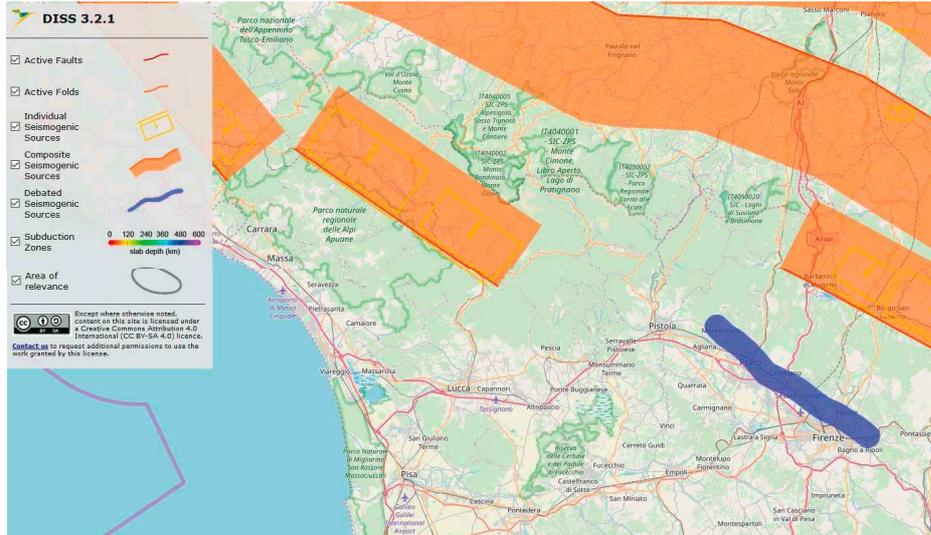


Fig.7 - INGV – Database of individual Seismogenic Sources

Nell’ambito della realizzazione della Mappa di Pericolosità MP l’INGV ha realizzato una nuova zonizzazione sismogenetica, denominata ZS9, a partire da una sostanziale rivalutazione della precedente zonizzazione ZS4 realizzata da Meletti ed alii. nel 2000, alla luce delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni. Le zone sismogenetiche, individuate con la ZS9, sono 36 (da 9.01 a 9.36) ed in particolare il territorio comunale di Lucca rientra nella zona sismogenetica 16 (916) – *Versilia – Chianti* per la quale è stata stimata una magnitudo massima attesa di 6.14. (v. Fig.8)



Fig. 8 - Zonazione sismogenetica ZS9

5 - INDAGINI GEOFISICHE

La stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio “sito dipendente” e non più tramite un criterio “zona dipendente”. L’azione sismica di base, alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, viene definita partendo dalla “pericolosità di base” del sito di costruzione, che è l’elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell’azione sismica stessa.

Per la classificazione sismica dell’area di studio, nell’agosto/settembre 2023, sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche (v. Fig.5):

- N° 1 – Indagine in onde SH – v. ALL.4
- N. 1 – Indagine sismica MASW – v ALL.4
- N. 1 indagine sismica passiva Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) – Metodo di Nakamura. – v. ALL.4

L’ubicazione delle indagini è riportata nella immagine di fig. 4.

5.1 – INDAGINE GEOFISICA SH – campagna 2023

Come accennato in premessa, nell’area oggetto di studio, considerando la logistica del cantiere, è stata eseguita n.1 stesa sismica a rifrazione di onde SH e, lungo il medesimo allineamento, l’acquisizione per n.1 elaborazione con tecnica MASW. Le caratteristiche della prospezione eseguita è riportata nello schema seguente:

INDAGINE	ID STESA	TIPO	CANALI (n°)	LUNGHEZZA (m)	SPARI (n°)	D.I. (m)
STESA SH	STSH100823A	Onde S	24	96	9	4,00

NOTE: D.I. - Distanza intergeofonica

5.1.1 - Strumentazione e sistema di acquisizione

Per l’acquisizione dei segnali per le stesa sismica (Onde SH e MASW), è stato utilizzato un sismografo a 48 canali ECHO 24-48/2012 dell’AMBROGEO di Piacenza, collegato ad un pc portatile su cui è installato programma di acquisizione Echo2012, avente le seguenti caratteristiche principali:

- Numero di canali: 48+1
- A/D conversion: 24 bit;
 - Gain: 0 dB
 - 72 dB (step 6 dB);
- Sampling interval: 32,64,128,256,480,960 μ s;
- Distorsion: 0,0004
- Noise: 0,25 μ s, 2ms 36dB;

Inoltre, l’attrezzatura è completata da due cavi sismici a 12 takes out spazati a 5,0 m, con connettori cannon a cui sono stati attaccati 24 geofoni orizzontali, con frequenza propria di 4,5 Hz per la ricezione delle onde SH. Come sorgente energizzante è stata utilizzata una massa battente (mazza da 8 Kg) su una piastra in duralluminio.

Tutte le registrazioni SH sono state realizzate con metodo CROSS-OVER utilizzando la funzione sommatrice e inversione di polarità appartenente al sismografo AMBROGEO. In questo modo, facendo la differenza fra uno stesso numero di battute a destra e a sinistra con polarità invertita, è esaltato l'istante di primo arrivo delle onde SH ed eventualmente eliminato l'arrivo delle onde P spurie. Il segnale acquisito in campagna è stato poi comunque filtrato in fase di elaborazione, mediante utilizzo di filtri in frequenza. In allegato vengono presentati i sismogrammi "grezzi" acquisiti in campagna.

5.1.2 - Tomografia sismica

Tra le prospezioni di tipo indiretto la sismica a rifrazione rappresenta ad oggi un valido supporto sia per la ricostruzione delle geometrie sepolte sia per la caratterizzazione del sottosuolo. Le onde, generate artificialmente dall'operatore, vengono prodotte tramite martello percussore, massa battente o tramite esplosivo. La prospezione può essere eseguita energizzando onde compressionali (tipo "P") o onde di taglio (tipo "SH") a seconda delle finalità dell'indagine e delle caratteristiche geologiche/idrogeologiche locali.

L'apparecchiatura necessaria per eseguire le prospezioni è composta da una serie di ricevitori (geofoni - *receivers*) che vengono disposti e spazati sul terreno lungo un determinato allineamento (stesa sismica - *sismic array*) e da un sismografo che registra l'istante d'inizio della perturbazione elastica generata dall'operatore e i tempi di arrivo delle onde a ciascun ricevitore. In questo modo stabilendo i tempi di primo arrivo, siamo in grado di ricostruire per ogni punto sorgente una curva tempo-distanza (dromocrona - *travel time*).

La velocità delle onde sismiche nel suolo è compresa tra ampi limiti; per lo stesso tipo di roccia la velocità infatti diminuisce all'aumentare del grado di alterazione, fratturazione e/o fessurazione, dall'altro lato aumenta con l'aumentare della profondità e con l'età geologica del deposito. Le velocità delle onde compressionali (P), a differenza di quelle trasversali (SH) dove la velocità dipende esclusivamente dallo scheletro solido, è influenzata dalla presenza di acqua e di conseguenza dal grado di saturazione del deposito in esame. Questo aspetto, nel caso delle onde P, comporta che litotipi differenti (nel caso di terreno saturo) possano avere stessa velocità delle onde compressionali, per cui non necessariamente l'interpretazione corrisponderà alla reale situazione geologicostratigrafica.

Per elaborazione tomografica si intende la ricostruzione della distribuzione di un parametro (in questo caso la velocità delle onde di compressione) che caratterizza un mezzo (il terreno) attraversato da una funzione dipendente dal parametro scelto per l'analisi (onda sismica). La ricerca del modello di distribuzione di velocità del terreno che ottimizza i tempi di arrivo individuati sui sismogrammi delle registrazioni di campagna viene effettuato in modo iterativo fino al raggiungimento della soluzione che minimizza l'errore fra i tempi misurati e quelli calcolati sulla soluzione ottenuta. Tale metodo ha un alto potere risolutivo e offre la possibilità all'operatore di individuare anomalie e discontinuità nel terreno anche complesse.

Viene utilizzato un modello di partenza privo di condizioni iniziali al fine di eliminare qualsiasi valutazione preliminare sull'assetto geologico che, in caso di imprecisioni, potrebbe dirottare verso una soluzione che non minimizzi l'errore oppure che lo minimizzi verso un minimo relativo della funzione di convergenza. Il modello iniziale e la soluzione finale sono costituiti da una serie di celle all'interno delle quali il valore di velocità rimane costante: tale

valore viene aggiornato ad ogni iterazione del procedimento di calcolo per raggiungere il miglior risultato. Le dimensioni delle celle utilizzate e quindi il dettaglio finale ottenuto sono fortemente dipendenti dalla spaziatura dei geofoni e dal numero degli shots effettuati: aumentando la spaziatura dei geofoni si deve aumentare il numero degli shots per mantenere costante il dettaglio. Infine i valori del risultato vengono interpolati fra loro per ottenere una distribuzione continua di velocità.

Per l'interpolazione è stato utilizzato il metodo della triangolazione con interpolazione lineare. I dati acquisiti in campagna e registrati sul pc (formato .sgy/sg2) vengono poi processati in studio tramite il programma di elaborazione **WINSISM V.16.1.40** con i quali si svolgono le operazioni di picking dei primi arrivi di ciascuna traccia. Il processing dei dati è stato eseguito con il software Rayfract v. 4.01, (distribuito dalla Intelligent Resources Inc.). Una volta stabilito il picking (definizione dei primi arrivi) il processing dei dati prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo. Successivamente, con la fase di imaging, si otterrà con un software dedicato (SURFER 9) l'immagine della sezione tomografica.

5.2.2 - Configurazione e risultati della tomografia sismica

Come specificato in precedenza, nell'area oggetto di studio è stata eseguita n.1 stesa sismica a rifrazione di onde SH. A seguire si riporta la configurazione della stesa (v Fig.9):

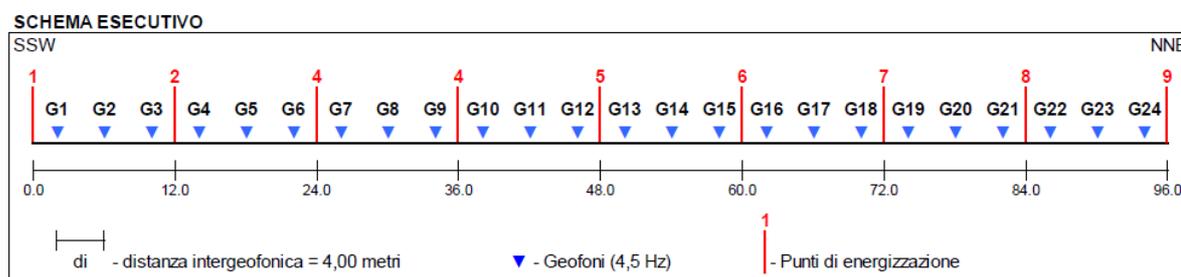


Fig. 9 - Sono state eseguite 9 registrazioni; sono stati utilizzati 24 geofoni interspaziati di 4,00 metri (lunghezza stesa 96 metri). L'azimuth delle stese (riferite al G1 in senso orario) è N 184° (SSW-NNE) Le registrazioni, per ciascun punto di sparo, sono state campionate con un intervallo di 0,128 millisecondi per un tempo totale di acquisizione pari a 1 s (per un totale di 7800 campioni).

Relativamente all'elaborazione prodotta, si riporta di seguito una sintesi dei risultati ottenuti.

La tomografia sismiche in onde SH ha messo in evidenza una geometria del sottosuolo sostanzialmente regolare, con generale progressivo aumento della velocità Vs con la profondità. (v. Fig.10)

È possibile evidenziare un primo sismo-strato con spessore di circa 4-5 metri, caratterizzato da Vs media intorno ai 150 m/s, associabile ai terreni sabbioso-limosi più superficiali individuati nel sondaggio e nella prova penetrometrica PSD.1-Pz (depositi del "Bellettone"). Al di sotto si riscontra un secondo sismo-strato in estensione fino alla massima profondità d'indagine (circa 30 metri), con velocità media di circa 450 m/s e caratterizzato da un graduale aumento delle velocità con la profondità (Vs fino a 700 m/s) e riconducibile ai

depositi alluvionali del Fiume Serchio, costituiti da ghiaie e ciottoli in matrice limo-sabbiosa talvolta con passaggi di sabbie.

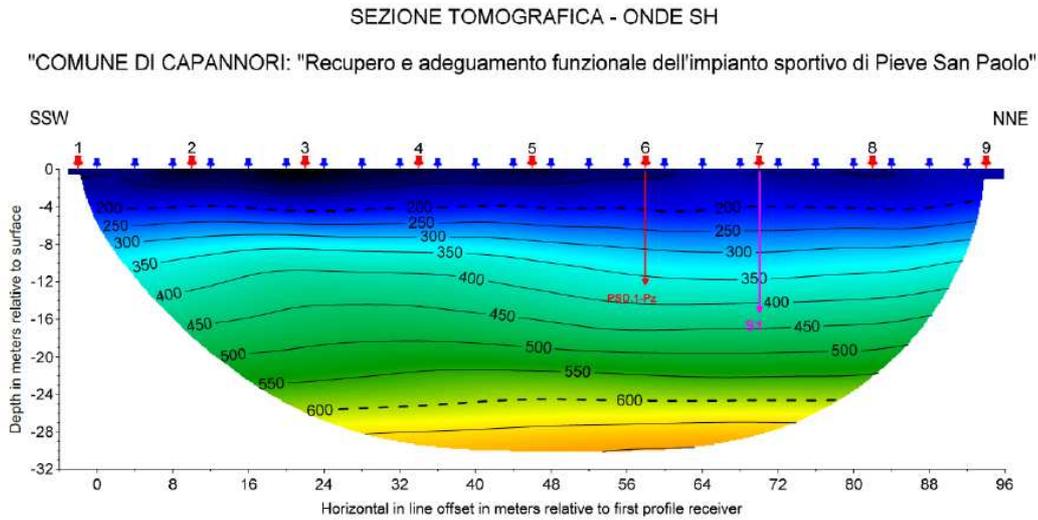


Fig. 10 – Sezione tomografica - Onda SH



Stesa Sismica a rifrazione di onde SH

5.3 – MASW – campagna 2023

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di valutare la variazione di velocità delle onde di taglio con la profondità basandosi sulla registrazione delle onde superficiali fatte in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione di ciascuna componente.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza, con lunghezza d'onda corta, si propagano negli strati più superficiali e quindi danno

informazioni su questa parte del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

Il processo che consente di determinare la variazione di velocità delle onde di taglio con la profondità consiste in tre fasi: la prima prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, la seconda consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p , la densità di massa ρ degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica, corrispondente al modello di suolo assegnato. Dall'analisi eseguita è stato determinato, per tutte e tre le indagini, un omogeneo profilo di velocità V_s eq 352 m/s tipico di un suolo di categoria "C" -: *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.*

5.4 - Indagini sismiche Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSR) – Metodo di Nakamura -v. All.4

La caratterizzazione sismica dei terreni, tramite la tecnica d'indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura), è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono legate a condizioni geologiche o morfologiche che determinano amplificazione del moto del suolo.

L'utilizzo di algoritmi di calcolo, finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). L'individuazione di una data frequenza di vibrazione permette di stimare la profondità a cui si colloca l'interfaccia fra due mezzi con differente comportamento dinamico. L'analisi di uno spettro H/V richiede, tuttavia particolare attenzione per distinguere i picchi connessi alle caratteristiche del sito da quelli dovuti ad altri fenomeni, spesso connessi con sorgenti antropiche. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSR) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito), utile ad una corretta progettazione di edifici con criteri antisismici.

All'interno dell'area di studio è stata eseguita una misura di microtremori per verificare le caratteristiche di risonanza del sito.

Lo strumento utilizzato registra il rumore sismico ambientale presente nella superficie terrestre e generato da fenomeni atmosferici, dall'attività antropica e dall'attività dinamica terrestre. I microtremori sono rappresentati da oscillazioni molto piccole che, attraversando strati con caratteristiche differenti (in termini di densità e velocità di propagazione delle onde), subiscono fenomeni di rifrazione, riflessione, attenuazione e altri. Questi fenomeni sono tali per cui un'onda, che viaggia all'interno di un mezzo e viene riflessa da una superficie di discontinuità, interferisce con le onde incidenti, sommandosi e

raggiungendo le ampiezze massime quando la lunghezza d'onda incidente λ è pari a 4 volte lo spessore h dello strato (condizione di risonanza):

Relativamente alle onde S:

$$f_r = \frac{V_{S1}}{4h}$$

f_r rappresenta la frequenza fondamentale dello strato, ossia la frequenza cui corrispondono le maggiori accelerazioni sismiche.

La tecnica HVSR è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque.

Il microtremore sismico è stato registrato con un tromografo digitale della ditta Micromed (SARA "SR04 GEOBOX" A 3 CANALI COMPLETO DI GEOFONO 3D DA SUPERFICIE) e successivamente analizzato ed elaborato attraverso il software dedicato. Tra i risultati che si possono ottenere dalle indagini sismiche HVSR sono:

- La frequenza caratteristica di risonanza del sito, che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici antisismici. In tal senso la conoscenza di questo parametro permette di evitare l'edificazione di strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno (effetto di "doppia risonanza"), fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni;
- La stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica HVSR, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Di seguito sono riportati in funzione della frequenza, i valori dei rapporti spettrali H/V e l'ampiezza delle singole componenti della misura (v. Fig. 12).

Misura n°	Data di esecuzione	Durata registrazione (minuti)	Coordinate Gauss-Boaga	
			X	Y
HVSR (Nk-041/23)	10/08/2023	40	1638035.2524	4877143.6769

Fig. 11 – Caratteristiche indagine

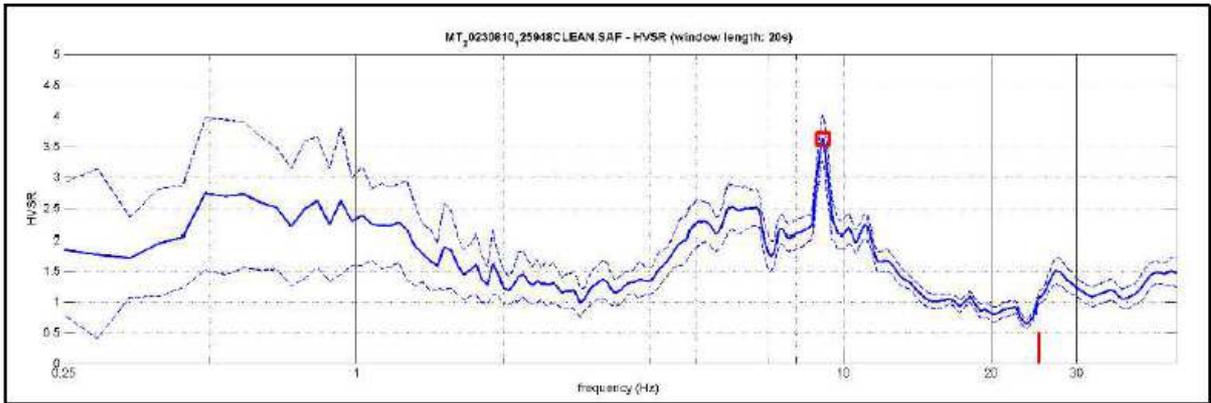


Fig. 12 – Rapporto spettrale orizzontale su verticale (Curva H/V)

La curva H/V della misura mostra principalmente un picco di origine stratigrafica a circa 9.10 Hz con picco H7V 3.60. Sulla base di questo risultato è ipotizzabile che vi sia un passaggio a terreni più rigidi ad una profondità compresa tra 5 e 10 metri (Fig. 13 – Albarello et al., 2010).

f_0 (Hz)	h (m)	
< 1	> 100	Centinaia di metri
1 – 2	50 – 100	
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	Decine di metri
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	
> 20	< 5	Qualche metro

H/V >3 Alto contrasto
2<H/V<3 Basso Contrasto

Fig. 13 - Abachi preliminari per una stima semi-qualitativa dello spessore coperture e dell'entità del contrasto sismico

5.5 - Periodo di riferimento dell'azione sismica

Le azioni sismiche, su ciascuna costruzione, vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_r che si ricava moltiplicando la vita nominale V_n per il coefficiente d'uso C_u :

$$V_r = V_n C_u$$

Il valore del coefficiente d'uso C_u è definito, al variare della classe d'uso.

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

Vita Nominale

La vita nominale di un'opera strutturale V_n è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purchè soggetta a manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

	TIPI DI COSTRUZIONI	Vita nominale V_n (anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Classi d'uso

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:

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

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.

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.

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 di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. 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

5.6 - Categorie di suolo e condizioni topografiche

La categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche incidono sullo spettro elastico di risposta. Specificatamente l'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente

$$S = S_s * S_t$$

che comprende gli effetti delle amplificazione stratigrafica (Ss) e topografica (St):

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S _T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Sulla base delle considerazioni sopra esposte e considerando le informazioni strutturali ricevute si possono riassumere le seguenti caratteristiche generali (v Tab):

Vita nominale Vn fabbricato	50 anni
Classe d'uso	IV
Coefficiente Cu	2.00
Periodo di riferimento	≥ 100
Condizione topografica	T1
Categoria terreni	C

5.7 – Pericolosità sismica e parametri sismici

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, dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali. Il moto sismico alla superficie di un sito è definito mediante l'accelerazione massima (amax) attesa in superficie e da una forma spettrale, ancorata ad essa.

$$a_{max} = S_t \cdot S_s \cdot a_g$$

S_s coefficiente di amplificazione stratigrafica

S_t il coefficiente di amplificazione topografica.

Categoria sottosuolo	S _s	C _c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

La determinazione dei parametri spettrali, necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto, viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento e tenendo conto dei parametri riportati precedentemente.

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 43,835569
longitudine: 10,550924
Classe: 4
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

<i>Sito 1</i>	<i>ID:</i> 19604	<i>Lat:</i> 43,8471	<i>Lon:</i> 10,5092	<i>Distanza:</i> 3584,184
<i>Sito 2</i>	<i>ID:</i> 19605	<i>Lat:</i> 43,8488	<i>Lon:</i> 10,5785	<i>Distanza:</i> 2652,278
<i>Sito 3</i>	<i>ID:</i> 19827	<i>Lat:</i> 43,7988	<i>Lon:</i> 10,5808	<i>Distanza:</i> 4737,881
<i>Sito 4</i>	<i>ID:</i> 19826	<i>Lat:</i> 43,7971	<i>Lon:</i> 10,5117	<i>Distanza:</i> 5313,331

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 100anni
Coefficiente cu: 2

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 60 [anni]
ag: 0,056 g
Fo: 2,573
Tc:* 0,258 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 101 [anni]
ag: 0,068 g
Fo: 2,571
Tc:* 0,271 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 949 [anni]
ag: 0,161 g
Fo: 2,382
Tc:* 0,295 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1950 [anni]
ag: 0,200 g
Fo: 2,392

T_c^* : 0,306 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,640
St: 1,000
Kh: 0,017
Kv: 0,008
Amax: 0,822
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,610
St: 1,000
Kh: 0,020
Kv: 0,010
Amax: 0,996
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,470
Cc: 1,570
St: 1,000
Kh: 0,057
Kv: 0,028
Amax: 2,321
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,410
Cc: 1,550
St: 1,000
Kh: 0,079
Kv: 0,040
Amax: 2,772
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.834607

longitudine: 10.549924

6 – VERIFICA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Ai sensi delle NTC 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 $U_c > 3,5$.

Il potenziale di liquefazione dei terreni sotto scuotimento sismico è un fenomeno che può verificarsi in terreni sabbiosi monogranulari sotto falda limitatamente ai primi 10÷15 m dalla superficie del terreno a causa della progressiva riduzione delle tensioni efficaci.

I metodi semplificati si basano sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; hanno perciò bisogno di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi privilegiando metodi basati su correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in situ. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione

$$(1.0)F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

La normativa richiede che il controllo della possibilità di liquefazione venga effettuato quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo-argillosa.

La normativa esclude il pericolo di liquefazione se il terreno saturo si trova ad una profondità superiore a 15 m o se $a_g S < 0,15g$ e, contemporaneamente, si verifica una delle seguenti condizioni:

- contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10 ;
- contenuto di limo superiore al 35% e resistenza $N_{1,60} > 20$;
- frazione fine trascurabile e resistenza $N_{1,60} > 25$.

Come la normativa europea, quella italiana ritiene che la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$(4.4) CSR = 0,65 S \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{MSF} \frac{1}{K_\sigma}$$

dove S è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Tabella 5

Categori a suolo	S
A	1,00
B, C, E	1,25
D	1,35

Il coefficiente riduttivo r_d viene valutato secondo quanto proposto da Idriss (1999):

$$(4.5a) r_d = \exp [\alpha(z) + \beta(z)M]$$

$$(4.5b) \alpha(z) = -1,012 - 1,126 \operatorname{sen} \left[\left(\frac{z}{11,73} \right) + 5,133 \right]$$

$$(4.5c) \beta(z) = 0,106 + 0,118 \operatorname{sen} \left[\left(\frac{z}{11,28} \right) + 5,142 \right]$$

Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** utilizzato dal programma è quello raccomandato dal NCEER (Tabella 1).

K_σ è un fattore di correzione della tensione litostatica compreso fra 1 e 1,5 (Olsen, 1984):

$$K_\sigma = 1 \quad \text{per } \sigma'_{vo} < 100$$

$$K_\sigma = (\sigma'_{vo}/100)^f - 1 \quad \text{per } \sigma'_{vo} \geq 100$$

dove f è un parametro funzione di $(N_{1,60})$ e σ'_{vo} .

La resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente espressione:

$$(4.6) CRR = \frac{1}{[34 - (N_{1,60})_{cs}]} \frac{(N_{1,60})_{cs}}{135} + \frac{50}{[10 (N_{1,60})_{cs} + 45]^2} - \frac{1}{200}$$

dove $(N_{1,60})_{cs}$ viene calcolato mediante la (4.1), nella quale però $N_{1,60}$ è valutato nel seguente modo:

$$(4.7) N_{1,60} = C_N C_E C_R C_S C_B N_m$$

dove C_N e C_E sono calcolati mediante la (4.2b) e la (4.2c).

C_R è un fattore di correzione per la lunghezza L delle aste della prova pari a:

Tabella 6

L	C_R
≤ 3	0,75
$3 < L$	0,80
≤ 4	

4 < L ≤ 6	0,85
6 < L ≤ 10	0,95
> 10	1,00

C_S è un fattore di correzione per il tipo di campionatore:
per campionatori di tipo standard C_S è sempre uguale a 1,0
per campionatori di tipo non-standard C_S è compreso fra 1,1 e 1,3

C_B è un fattore di correzione per il diametro del foro di sondaggio ed è pari a:

Tabella 7

Diametro foro	C_B
65 – 115 mm	1,00
115 – 150 mm	1,05
150 – 200 mm	1,15

Secondo le normative europea e italiana è suscettibile di liquefazione un terreno in cui lo sforzo di taglio generato dal terremoto supera l'80% dello sforzo critico che ha provocato liquefazione durante terremoti passati e quindi deve essere $F_S \leq 1,25$.

La probabilità di liquefazione P_L , invece, è data dall'espressione di Juang et al. (2001):

$$(4.8) P_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{F_S}{0,72}\right)^{3,1}}$$

Nello studio in esame il valore della accelerazione massima al suolo (ag/g) è stata ricavata utilizzando specifica utility della ditta GeoStru Software di Bianco (RC), facendo riferimento, in cautela, allo SLV

Si evidenzia come nelle verifiche eseguite il valore della magnitudo del sisma (M) è quello atteso. Tale valore si ricava andando a considerare la zonazione sismogenetica (ZS9), secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima M_{max} .

Per i siti che ricadono in una delle 36 zone sismogenetiche predette si assume come M il valore M_{max} (Tabella 2.8-1)

Nel caso in esame la magnitudo massima attesa è pari a : $M_{max} = 6.14$. Tuttavia la distanza dalle aree sismogenetiche consente di utilizzare come magnitudo attesa massima un valore pari a 5.68. Inoltre ricordando che la liquefazione si verifica in terreni saturi, non compatti, non consolidati, monogranulati si ritengono valide in via cautelativa le assunzioni di seguito riportate:

- Magnitudo $M = 5.68$
- Falda = - 1.50 m da p.c..

2 - CALCOLO DELLA SUSCETTIBILITA' DI LIQUEFAZIONE

Dati generali

Numero di strati = 7

Profondità della falda = 1.5 m

Magnitudo del sisma = 5.68

Accelerazione massima al suolo = 0.238

Strato Nr.	Descrizione (-)	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso di volume secco (KN/mc)	Peso di volume saturo (KN/mc)	Nr. colpi medio (Nspt)	D50 dei granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza all'attrito laterale fs (KPa)	Velocità Vs (m/s)
1		0	0.8	18.5	19.5					127
2		0.8	1.7	18.5	19.5					146
3		1.7	2.5	18.5	19.5					192
4		2.5	4.2	17.5	18.5					199
5		4.2	6.4	19	20					231
6		6.4	9.6	19	20					398
7		9.6	15.10	17.5	18.5					344

Metodo di Andrus e Stokoe (1997)

Risultati

Correzione per la magnitudo (MSF) = 2.04

Verifica Nr.	Profondità dal p. c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale efficace (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente e riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente e di sicurezza (Fs)	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio di liquefazione
1	1.70	31.65	29.69	197.79	220.00	0.99	0.15	0.08	1.92	NL	0.00	Molto basso
2	1.90	35.55	31.63	256.03	220.00	0.99	0.17	0.08	1.99	NL	0.00	Molto basso
3	2.10	39.45	33.57	252.25	220.00	0.98	0.16	0.09	1.81	NL	0.00	Molto basso
4	2.30	43.35	35.50	248.73	220.00	0.98	0.15	0.09	1.65	NL	0.00	Molto basso
5	2.50	47.25	37.44	245.45	220.00	0.98	0.14	0.09	1.50	NL	0.00	Molto basso
6	2.70	50.95	39.18	251.53	220.00	0.98	0.16	0.10	1.62	NL	0.00	Molto basso
7	2.90	54.65	40.92	248.81	220.00	0.98	0.15	0.10	1.52	NL	0.00	Molto basso
8	3.10	58.35	42.66	246.23	220.00	0.98	0.14	0.10	1.41	NL	0.00	Molto basso
9	3.30	62.05	44.40	243.79	220.00	0.97	0.14	0.10	1.32	NL	0.00	Molto basso
10	3.50	65.75	46.14	241.46	220.00	0.97	0.13	0.11	1.22	NL	0.00	Molto basso
11	3.70	69.45	47.88	239.24	220.00	0.97	0.12	0.11	1.13	NL	0.00	Molto basso
12	3.90	73.15	49.61	237.11	220.00	0.97	0.11	0.11	1.03	NL	0.00	Molto basso
13	4.10	76.85	51.35	235.08	220.00	0.97	0.10	0.11	0.93	L	2.58	Basso
14	4.30	80.70	53.24	270.43	220.00	0.97	0.20	0.11	1.77	NL	0.00	Molto basso
15	4.50	84.70	55.28	267.90	220.00	0.97	0.19	0.11	1.71	NL	0.00	Molto basso
16	4.70	88.70	57.32	265.48	220.00	0.96	0.19	0.11	1.66	NL	0.00	Molto basso

17	4.90	92.70	59.36	263.17	220.00	0.96	0.18	0.11	1.60	NL	0.00	Molto basso
18	5.10	96.70	61.40	260.96	220.00	0.96	0.18	0.11	1.55	NL	0.00	Molto basso
19	5.30	100.70	63.43	258.84	220.00	0.96	0.17	0.12	1.50	NL	0.00	Molto basso
20	5.50	104.70	65.47	256.80	220.00	0.96	0.17	0.12	1.45	NL	0.00	Molto basso
21	5.70	108.70	67.51	254.84	220.00	0.96	0.16	0.12	1.41	NL	0.00	Molto basso
22	5.90	112.70	69.55	252.95	220.00	0.95	0.16	0.12	1.37	NL	0.00	Molto basso
23	6.10	116.70	71.59	251.13	220.00	0.95	0.16	0.12	1.32	NL	0.00	Molto basso
24	6.30	120.70	73.63	249.37	220.00	0.95	0.15	0.12	1.28	NL	0.00	Molto basso
25	6.50	124.70	75.67	426.73	220.00	0.95	0.54	0.12	4.52	NL	0.00	Molto basso
26	6.70	128.70	77.71	423.91	220.00	0.95	0.53	0.12	4.44	NL	0.00	Molto basso
27	6.90	132.70	79.74	421.17	220.00	0.95	0.52	0.12	4.37	NL	0.00	Molto basso
28	7.10	136.70	81.78	418.52	220.00	0.95	0.52	0.12	4.30	NL	0.00	Molto basso
29	7.30	140.70	83.82	415.95	220.00	0.94	0.51	0.12	4.24	NL	0.00	Molto basso
30	7.50	144.70	85.86	413.46	220.00	0.94	0.50	0.12	4.18	NL	0.00	Molto basso
31	7.70	148.70	87.90	411.04	220.00	0.94	0.50	0.12	4.12	NL	0.00	Molto basso
32	7.90	152.70	89.94	408.69	220.00	0.94	0.49	0.12	4.06	NL	0.00	Molto basso
33	8.10	156.70	91.98	406.41	220.00	0.94	0.49	0.12	4.01	NL	0.00	Molto basso
34	8.30	160.70	94.01	404.19	220.00	0.94	0.48	0.12	3.96	NL	0.00	Molto basso
35	8.50	164.70	96.05	402.03	220.00	0.93	0.48	0.12	3.91	NL	0.00	Molto basso
36	8.70	168.70	98.09	399.92	220.00	0.93	0.47	0.12	3.86	NL	0.00	Molto basso
37	8.90	172.70	100.13	397.87	220.00	0.93	0.47	0.12	3.81	NL	0.00	Molto basso
38	9.10	176.70	102.17	395.87	220.00	0.93	0.46	0.12	3.77	NL	0.00	Molto basso
39	9.30	180.70	104.21	393.92	220.00	0.93	0.46	0.12	3.74	NL	0.00	Molto basso
40	9.50	184.70	106.25	392.02	220.00	0.92	0.45	0.12	3.72	NL	0.00	Molto basso
41	9.70	188.55	108.14	337.34	220.00	0.92	0.33	0.12	2.72	NL	0.00	Molto basso
42	9.90	192.25	109.87	336.00	220.00	0.91	0.33	0.12	2.70	NL	0.00	Molto basso
43	10.10	195.95	111.61	334.68	220.00	0.90	0.32	0.12	2.69	NL	0.00	Molto basso
44	10.30	199.65	113.35	333.39	220.00	0.90	0.32	0.12	2.67	NL	0.00	Molto basso
45	10.50	203.35	115.09	332.12	220.00	0.89	0.32	0.12	2.66	NL	0.00	Molto basso
46	10.70	207.05	116.83	330.88	220.00	0.89	0.32	0.12	2.64	NL	0.00	Molto basso
47	10.90	210.75	118.57	329.66	220.00	0.88	0.31	0.12	2.63	NL	0.00	Molto basso
48	11.10	214.45	120.31	328.46	220.00	0.88	0.31	0.12	2.62	NL	0.00	Molto basso
49	11.30	218.15	122.04	327.29	220.00	0.87	0.31	0.12	2.61	NL	0.00	Molto basso
50	11.50	221.85	123.78	326.13	220.00	0.87	0.31	0.12	2.60	NL	0.00	Molto basso
51	11.70	225.55	125.52	325.00	220.00	0.86	0.30	0.12	2.59	NL	0.00	Molto basso
52	11.90	229.25	127.26	323.88	220.00	0.86	0.30	0.12	2.58	NL	0.00	Molto basso
53	12.10	232.95	129.00	322.78	220.00	0.85	0.30	0.12	2.57	NL	0.00	Molto basso
54	12.30	236.65	130.74	321.71	220.00	0.85	0.30	0.12	2.56	NL	0.00	Molto basso

55	12.50	240.35	132.48	320.64	220.00	0.84	0.30	0.12	2.55	NL	0.00	basso Molto basso
56	12.70	244.05	134.22	319.60	220.00	0.83	0.29	0.12	2.54	NL	0.00	Molto basso
57	12.90	247.75	135.95	318.57	220.00	0.83	0.29	0.11	2.54	NL	0.00	Molto basso
58	13.10	251.45	137.69	317.56	220.00	0.82	0.29	0.11	2.53	NL	0.00	Molto basso
59	13.30	255.15	139.43	316.57	220.00	0.82	0.29	0.11	2.52	NL	0.00	Molto basso
60	13.50	258.85	141.17	315.59	220.00	0.81	0.29	0.11	2.52	NL	0.00	Molto basso
61	13.70	262.55	142.91	314.63	220.00	0.81	0.28	0.11	2.51	NL	0.00	Molto basso
62	13.90	266.25	144.65	313.68	220.00	0.80	0.28	0.11	2.51	NL	0.00	Molto basso
63	14.10	269.95	146.39	312.74	220.00	0.80	0.28	0.11	2.50	NL	0.00	Molto basso
64	14.30	273.65	148.12	311.82	220.00	0.79	0.28	0.11	2.50	NL	0.00	Molto basso
65	14.50	277.35	149.86	310.91	220.00	0.79	0.28	0.11	2.49	NL	0.00	Molto basso
66	14.70	281.05	151.60	310.01	220.00	0.78	0.27	0.11	2.49	NL	0.00	Molto basso
67	14.90	284.75	153.34	309.13	220.00	0.78	0.27	0.11	2.49	NL	0.00	Molto basso
68	15.10	288.45	155.08	308.26	220.00	0.77	0.27	0.11	2.49	NL	0.00	Molto basso

I terreni non risultano liquefacibili

Lucca 30/10/2023

Studio di Geologia
Geol. Simone Stefani