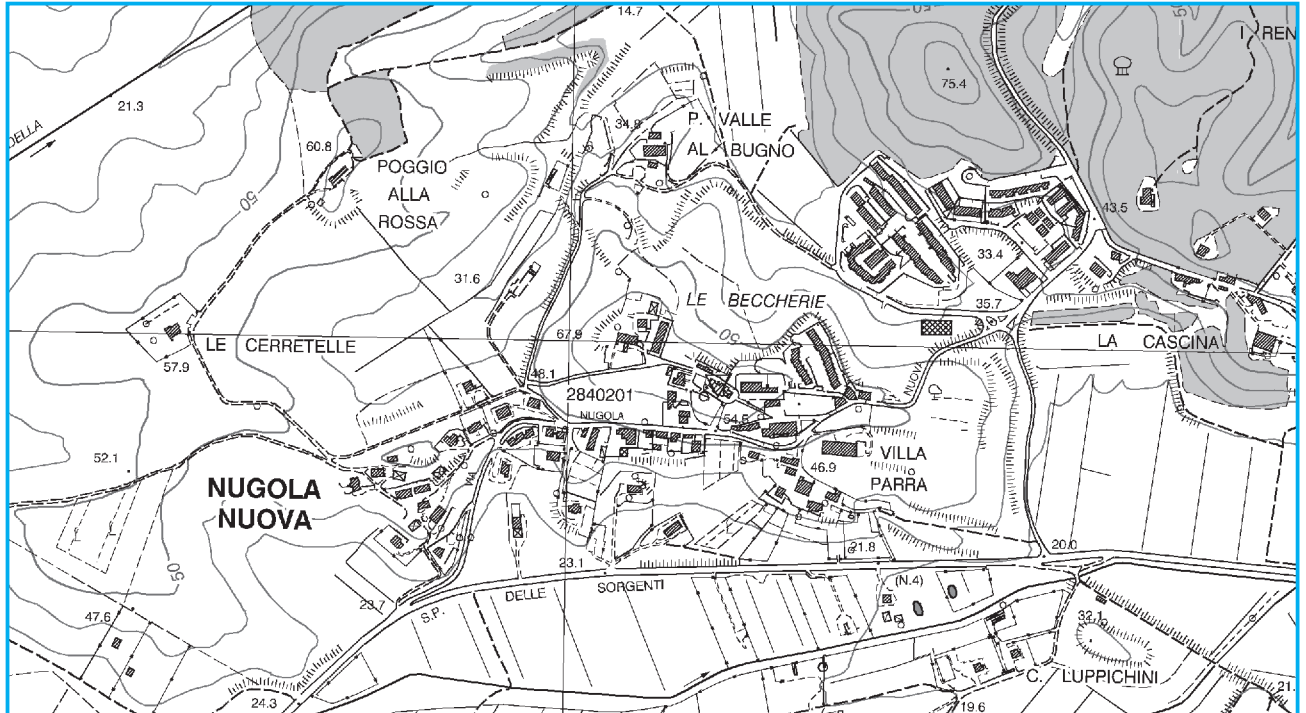


COMUNE DI COLLESALVETTI - PROVINCIA DI LIVORNO



LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

**MODELLAZIONE SISMICA DEL SUOLO - A15**

**Geol. Mosè Montagnani**



**Comune di Collesalvetti (LI)**

**MAGGIO 2023**

**LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018 - MODELLAZIONE SISMICA DEL SUOLO – A15**

**1.0 - Premessa**

È stata redatta la relazione sulla "Modellazione Sismica del Suolo" a supporto del progetto per i "Lavori di ripristino del muro di contenimento del giardino storico di Nugola", nel Comune di Collesalveti, su incarico dell'Amministrazione Comunale.

**2.0 - Ubicazione del sito e caratteristiche dell'intervento**

L'intervento in oggetto si trova nel centro abitato di Nugola, frazione del Comune di Collesalveti, in un'area pianeggiante alla sommità del promontorio collinare che caratterizza il paesaggio locale.

L'intervento è individuabile come "Lavori di ripristino del muro di contenimento del giardino storico di Nugola", visto che lo stesso presenta evidenti dissesti murari (rotazione verso valle dell'opera, rottura in più punti dell'opera muraria, avvallamento/cedimento dei terreni posti a monte dell'opera muraria, presenza di buche in cui si infiltrano le acque superficiali, etc.). È molto probabile che si opti per realizzare un nuovo tratto di opera muraria, almeno quello che si presenta più dissestato.

L'opera muraria delimita la porzione sud del giardino storico che viene individuato dalla "Particella Castale n° 363 del Foglio 63 del Comune di Collesalveti"; i lavori di ripristino del muro interesseranno anche parte della viabilità a valle dello stesso. L'area di intervento rientra nella Sezione 284.020 della CTR scala 1:10.000.

Precisi dati progettuali dell'opera da realizzare saranno sviluppati dall'Ing. Claudio Costanza incaricato dall'Amministrazione Comunale di Collesalveti.

**3.0 - Quadro normativo di riferimento**

La presente relazione è stata redatta in ottemperanza alla normativa vigente di seguito specificata:

- ⇒ *L.R. 69/2019 - Disposizioni in materia di governo del territorio. Adeguamenti alla normativa statale in materia di edilizia e di sismica. Modifiche alle " , 64/2009 , 5/2010 e 35/2015 ;*
- ⇒ *Decreto del Presidente della Giunta Regionale, 19 gennaio 2022, n. 1/R – Regolamento di attuazione dell'articolo 181 della legge regionale 10 novembre 2014 n. 65 (norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento dell'attività di vigilanza e verifica delle opere delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico;*
- ⇒ *Allegato 1 – Art.5 Regolamento 1R/2022 – Linee Guida sulle tipologie e classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche da allegare ai progetti da presentare ai sensi dell'art. 3 del Reg. 1R/2022;*
- ⇒ *Decreto Ministeriale 17.01.2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni 2018;*
- ⇒ *Consiglio Superiore Lavori Pubblici - Istruzioni per l'applicazione delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" di cui al D.M. 17/01/2018 – Circolare 11 febbraio 2019;*
- ⇒ *Consiglio Superiore Lavori Pubblici - Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. – Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007;*
- ⇒ *L.R. 41/R del 01/08/2018 - Disposizioni urgenti in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n. 49;*
- ⇒ *D.Lgs 10/02/2006 n. 152 - "Norme in materia di Ambiente";*
- ⇒ *Del. GRT n. 421 del 26/05/2014 - classificazione sismica del territorio regionale;*
- ⇒ *Strumenti Urbanistici del Comune di Collesalveti (LI).*

**4.0 - Aspetti sismici (da Microzonazione Sismica Livello I e II)**

I risultati delle indagini eseguite a supporto degli Studi di Microzonazione Sismica hanno evidenziato significativi aumenti della pericolosità sismica locale soprattutto nella zona a nord del territorio comunale. La situazione in queste aree è del tutto analoga a quella della Pianura Padana che ha causato estesi danneggiamenti al patrimonio industriale che è caratterizzato da fenomeni di risonanza

sismica per frequenze dell'ordine di 1,0 Hz (Paolucci et al., 2015), in prossimità delle frequenze di risonanza tipiche degli edifici, soprattutto di quelli con dimensioni significative (capannoni industriali, ecc.). Nella zona a sud, le frequenze di risonanza si spostano progressivamente verso valori più elevati.

In prima approssimazione si può immaginare la presenza di orizzonti risonanti nell'intera area comunale che risultano però caratterizzati da profondità differenti. Queste risultano maggiori nella parte nord e via via minori scendendo verso sud.

$F_0$ (Hz)	h (m)
<1	>100
1-2	50-100
2-3	30-50
3-5	20-30
5-8	10-20
8-20	5-10
>20	<5

Tabella 5. Abaco per la stima dello spessore delle coperture (h) a partire dai valori delle frequenze di risonanza ( $F_0$ ) determinate dalle misure H/V (Albarellò D., Castellaro S., 2011)

Per una prima valutazione di queste profondità si può fare riferimento a valori tabellati alla tabella che segue (Tab.5; Albarellò e Castellaro, 2011) grazie alla quale è possibile attribuire una stima (assai approssimativa) della profondità dell'interfaccia risonante a partire dalla misura della frequenza di risonanza dedotta dalle misure HVSR.

Se si considerano i valori acquisiti queste profondità risultano dell'ordine di parecchie decine di metri nella parte più settentrionale del territorio comunale per scendere fino a poche decine o addirittura qualche metro nella parte più meridionale dello stesso.

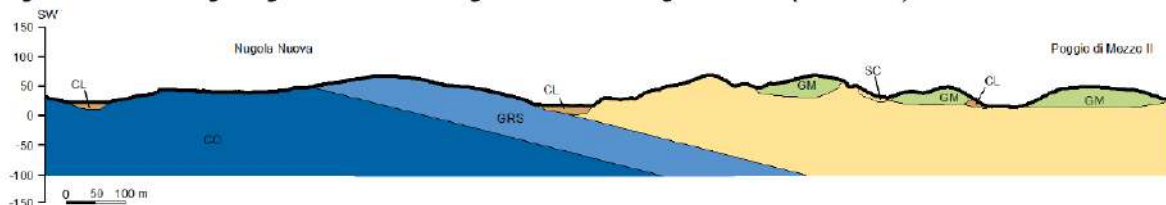
Alla luce dei valori di ampiezza dei massimi HVSR riscontrati, questi orizzonti sembrano corrispondere a contrasti di impedenza sismica significativi soprattutto nella parte più settentrionale del territorio comunale, dove i fenomeni di amplificazione sismica attesi sono maggiori.

In allegato si riporta un estratto dalla "Carta delle frequenze del terreno naturale", dalla quale si evidenzia una frequenza  $F_0 < 0,5$  Hz ed un'ampiezza  $A = 4,4$ .

#### Modello geologico del sottosuolo Nugola.

Il centro abitato si estende lungo un crinale molto irregolare che costituisce lo spartiacque tra il Rio Fontaccia a Nord e il Torrente Tanna a Sud. Si tratta di un crinale con la sommità molto ampia la cui quota e la cui morfologia cambia al cambiare dei litotipi presenti. Da SW la prima parte dell'abitato è ubicato in corrispondenza della Formazione delle Argille Azzurre (Unità Pliocenica) che verso l'alto e verso NE passa alla litofacies sabbiosa, potente alcune decine di metri la cui presenza è marcata dalla scarpata modellata sul lato a reggipoggio. Verso NE, in prossimità della sella che separa Nugola Nuova da Nugola Vecchia, è presente il contatto discordante con i terreni sabbiosi del Quaternario marino (QM-PL), anch'essi immergenti verso nord-est; infine, a Nugola Vecchia è presente il terrazzo alluvionale del Pleistocene medio finale (bnb1, QC).

Figura 54. Sezione geologica dell'area di Nugola Vecchia – Nugola Nuova (Sezione 5)



Le misure HVSR realizzate presso Nugola Vecchia e Nugola Nuova mostrano un picco evidente a circa 0,4 Hz: tale massimo può corrispondere ad un contrasto di impedenza significativo ad una profondità di circa 250-300 metri che potrebbe geometricamente corrispondere al contatto tra UP (unità plioceniche) e UM (unità mioceniche).

La carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) è l'elaborato finale previsto per il Livello 1 di Microzonazione Sismica; l'individuazione delle Microzone è stata effettuata attribuendo i caratteri di stabilità o instabilità ai diversi contesti geologici e geomorfologici rappresentati nella CGT.

L'area di intervento ricade tra le "Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali" che corrispondono alle aree caratterizzate da substrato affiorante o sub-affiorante con pendenze maggiori di 15°, al substrato caratterizzato da  $V_s < 800$  m/sec od alle aree caratterizzate da terreni di copertura.

Nello specifico l'area di intervento rientra nella "Zona 13: caratterizzata da sabbie da fini a grossolane, sabbie limose, con livelli ghiaiosi, stratificate, con stratificazioni incrociate planari (GRS), generalmente da addensate a molto addensate. Si osservano in tre principali corpi sedimentari spessi fino a 100 m, trattasi della litofacies sabbiosa della formazione delle Argille Azzurre (FAAe)".

A livello nazionale, la pericolosità sismica di base è stata aggiornata in seguito alla più recente revisione della macrozonazione sismogenica del territorio nazionale, nota con la semplice sigla "ZS9" (2004) e prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Essa rappresenta, al momento, il più recente riferimento per gli studi di pericolosità sismica del territorio italiano. In particolare, il territorio del Comune di Collesalveti ricade nell'ampia zona 921 che rappresenta la fascia più esterna occidentale dell'arco appenninico settentrionale, a questa zona sismogenica viene attribuita una magnitudo massima  $M = 6,14$  dunque caratterizzata da terremoti storici che raramente hanno raggiunto elevate intensità.

La Carta di Microzonazione Sismica rappresenta il passaggio dal Livello 1 al Livello 2; questo approfondimento è stato effettuato solamente per i sistemi insediativi e produttivi dei principali centri abitati quali Collesalveti, Vicarello, Guasticce-Interporto, Stagno e Nugola.

La realizzazione della Carta di MS è stata possibile solamente in seguito alla verifica di congruenza tra il modello di geologico reale e quello definito nello studio di primo livello, tramite controlli incrociati fra sezioni geologico-tecniche, indagini pregresse ed eseguite e la stesura della cartografia MOPS.

Fondamentale, per la costruzione della carta, è la disponibilità di dati ( $f_0$  e  $V_s$ ) necessari per la corretta applicazione degli abachi.

Difatti per la definizione del fattore di amplificazione sismica nelle aree analizzate, si è fatto uso degli abachi regionali che, tramite un approccio semplificato, consentono di quantificare l'amplificazione attesa nelle zone "stabili suscettibili di amplificazione".

Il fattore di amplificazione (fattore di amplificazione di Housner - FHa), che si distingue in FHa (0,1-0,5 s) e FHa (0,5-1,0 s), è funzione delle classi relative ai valori dei due parametri rappresentativi dalla situazione sismo-stratigrafica locale ovvero della frequenza fondamentale ( $f_0$ ) e della velocità media  $V_{s30}/V_{sh}$ .

L'area di intervento ricade nella "Zona 2013":

### **ZONA 2013**

Indagini HVSR				Indagini Sismiche			
HVSR	FO	A0	CLASSE ABACO	NOTE	NUMERO	VS	CLASSE ABACO
217	0,3	4,4	$f_0 < 1$	Nugola	P183	415	500
218	0,4	4	$f_0 < 1$	Nugola			

	<b>FO</b>	$f_0 < 1$
	<b>VS</b>	500
	<b>FHa (0.1-0.5s)</b>	1,1
	<b>FHa (0.5-1.0s)</b>	1,2

Nell'area di studio è stato verificata una  $V_s = 326$  m/sec ed una  $F_0 = 7,0$  Hz ed  $A_0 = 2,1$ ; adottando gli abachi abbiamo per il sito in oggetto un valore di FHa (0,1-0,5 sec) = 1,1 e FHa (0,5-1,0 sec) = 1,4.

#### **5.1 - Modello geologico di riferimento - Analisi geologico-stratigrafica dell'area di intervento**

L'indagine eseguita ci ha consentito di appurare la presenza dei depositi pliocenici della "Formazione delle Argille azzurre nella facies sabbiosa - FAAe" individuati anche come "Sabbie gialle (p3)", Pliocene Inferiore e Medio. Si presentano in banchi, hanno una granulometria medio-fine, grado di addensamento variabile da sciolto a talora cementato, sono intercalate da strati arenacei o calcareo-arenacei o argillosi. Affiorano in tre corpi sedimentari principali intercalati alle Argille azzurre ed al tetto a queste si sostituiscono in concordanza stratigrafica ma in modo abbastanza netto ed evidente nonostante le argille mostrino componente sabbiosa e limosa abbondante.

Analizzando i dati acquisiti nel contesto geologico-stratigrafico locale è possibile affermare che esiste una buona omogeneità litologica laterale e verticale in condizioni non antropizzate, ove le minime differenze sono ascrivibili al sistema deposizionale di origine (modello geologico generale). Il piano di riferimento indicato è quello del suolo al momento dell'esecuzione delle indagini (20 febbraio e 15-16 marzo 2023).

Per l'intervento previsto è stato redatto il "profilo geologico di riferimento" con indicazioni geotecniche attraverso il quale passare al "modello geotecnico di esercizio" quale elemento indispensabile nelle verifiche "opera /terreno" ai sensi delle NTC'18.

Dall'analisi dei dati acquisiti è stato possibile formulare le seguenti considerazioni:

- nel giardino è presente uno spessore variabile di terreni/materiali da riempimento storico, posti in opera dopo la realizzazione del muro di contenimento oggi dissestato, che sono stati disposti sui terreni naturali/antropizzati (area urbana);
- l'indagine eseguita lungo la viabilità ha attraversato il *pacchetto carrabile* composto da asfalto e sottofondo granulare compattato (macerie edilizie, ciottoli, etc.), fino alla profondità compresa tra 0,4 e 0,8 m dal p.c.;
- al di sotto dell'orizzonte antropico sono presenti depositi della "Formazione delle Argille azzurre nella facies sabbiosa - FAAe" individuata anche come "Sabbie gialle (p3)" (Pliocene Inferiore e Medio), che nell'area di intervento sono risultati di composizione prevalentemente limo-argillosa e limo argillo-sabbiosa;
- in ragione dell'ipotesi progettuale avanzata (muro con fondazione superficiale continua a mensola), è possibile considerare il comportamento geotecnico dei depositi interessati dalle strutture di fondazione coesivo; si tratta di limi argillosi debolmente sabbiosi consistenti come meglio indicato nel modello geologico e geotecnico di riferimento;
- l'orizzonte limo-sabbioso individuato con la sigla "C" è mediamente addensato;
- l'assetto litostratigrafico dell'area di intervento viene schematizzato attraverso alcune sezioni, trasversali e parallele all'opera muraria, che definiscono il modello geologico e geotecnico;
- ipotizzando una mensola di fondazione con una larghezza "B" compresa tra 1,5 e 2,5 m, è possibile affermare che le indagini eseguite sono state sufficienti per definire il volume geotecnico significativo della struttura di fondazione (profondità di indagine "H" da indagare = 1÷2 B);
- il piano di campagna indicato si riferisce alla situazione presente al momento dell'esecuzione delle indagini, ovvero il 20/02/23 e 15-16/03/2023.

Per la definizione del "modello geologico e di quello geotecnico" relativamente ai terreni che saranno interessati dalle strutture di fondazione del manufatto in oggetto è stato redatto un profilo geologico e geotecnico unico utilizzando le prove eseguite.

## **5.2 - Analisi geologico-stratigrafica dei dati acquisiti**

L'analisi congiunta delle indagini eseguite ed acquisite ci consente di indicare la presenza nell'area di una successione litostratigrafica naturale di composizione prevalentemente limo-argillosa e limo argillo-sabbiosa con alternati orizzonti di sabbie limose ("Argille azzurre nella facies sabbiosa - FAAe"); questa successione litologica rappresenta il volume di terreno interessato dalle strutture di fondazione del manufatto in progetto. Al di sopra della successione pliocenica è presente uno spessore variabile di materiale di riporto/riempimento, specialmente a monte del muro nel giardino storico.

Per la definizione del "modello geologico e di quello geotecnico" relativamente ai terreni che saranno interessati dalle strutture di fondazione del manufatto in progetto è stato realizzato il profilo geologico stratigrafico della sezione trasversale al muro P3-S2 (misure riferite al piano stradale testa "S2"):

<b>Profondità</b>	<b>Descrizione del litotipo</b>
0,0-0,4	MR - Materiale di riporto, materiale di riempimento, sottofondo stradale;
0,4-1,5	A - Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. $\Rightarrow$ 1,75-2,0 Kg/cmq;
1,5-4,5	B - Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. $\Rightarrow$ 1,5-2,0 Kg/cmq; SPT1 tra 3,0 e 3,45 $\Rightarrow$ N = 3/7/9
4,5-6,1	C - Limo sabbioso, grigio-azzurro, mediamente addensato;
6,1-12,0	D - Limo argilloso, grigio-azzurro, da consistente a molto consistente; P.P. $\Rightarrow$ 2,0-2,5 Kg/cmq; SPT2 tra 6,1 e 6,55 m dal p.c. $\Rightarrow$ N = 3/8/12; SPT3 tra 9,0 e 9,45 m dal p.c. $\Rightarrow$ N = 5/10/14;

Nel piezometro realizzato nel foro del sondaggio S2 è stato possibile misurare il livello piezometrico a - 10,30 m dal p.c. il giorno 16/03/2023.

L'andamento geologico-stratigrafico degli orizzonti individuati viene evidenziato con la sezione ricostruita "S1 - S2" e le prove DPM proiettate.

### **5.3 - Modello geotecnico dei terreni di fondazione**

Per consentire lo svolgimento delle verifiche agli stati limite ultimi (SLU) e di esercizio (SLE), di seguito verranno schematizzati, partendo dai parametri geotecnici nominali, i *parametri geotecnici caratteristici* (*k*) necessari per giungere alla definizione dei parametri di progetto (*d*).

Di seguito vengono schematizzati dal punto di vista geotecnico i terreni di fondazione relativamente all'intervento in oggetto, considerando l'uso di una struttura di fondazione superficiale continua (mensola di fondazione): *parametri caratteristici* (*k*)

#### **Schematizzazione litotecnica del sondaggio S2<sub>mar'23</sub>**

Profondità	Strat.	$\gamma$	Cu	$\varphi_p$	$\varphi_{vc}$	C'	$\varphi'$	Dr	OCR	E <sub>25</sub>	M	v
m dal p.c.		kN/mc	kPa	°	°	KPa	°	%	-	Mpa	Mpa	-
0,0-0,4	MR	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4-1,5	A	18,9	-	27,5	24,1	5	26,0	22	-	12,2	14,3	0,279
1,5-4,5	B	19,7	90	-	-	19,7	27,5	-	6,0	-	7,8	0,45
4,5-6,1	C	20,5	-	35,5	30,7	5	30,0	50	-	14,6	20,6	0,283
6,1-12,0	D	20,7	125	-	-	20,0	26,0	-	6,0	-	12,5	0,45

$\gamma$   $\Rightarrow$  peso di volume; Cu  $\Rightarrow$  coesione non drenata;  $\varphi_p$   $\Rightarrow$  angolo di resistenza al taglio di picco;  $\varphi_{vc}$   $\Rightarrow$  angolo di resistenza al taglio a volume costante; Dr  $\Rightarrow$  densità relativa; OCR  $\Rightarrow$  grado di sovra-consolidazione; E<sub>25</sub>  $\Rightarrow$  modulo di elasticità operativo (Young); M  $\Rightarrow$  modulo di deformabilità; v  $\Rightarrow$  coefficiente di Poisson; c' = coesione drenata;  $\Phi'$  = angolo di resistenza al taglio drenato.

### **6.0 - Campagna geofisica di riferimento**

Per definire le caratteristiche sismiche dei terreni di fondazione del nuovo muro di contenimento è stata eseguita un'indagine geofisica nei pressi nell'area di intervento, ovvero dove è stato possibile eseguire la stesa dei geofoni (non è stato possibile eseguirla alla base del muro vista la presenza della fondazione); sono state eseguite un'indagine sismica MASW ed un'indagine sismica HVSR che ci hanno consentito di ricostruire la distribuzione e l'andamento delle velocità sismiche nel sottosuolo per poter determinare le principali caratteristiche sismo-stratigrafiche ed elastiche dei terreni.

Al fine di caratterizzare il sito in esame dal punto di vista della velocità delle onde di taglio (Vs) è stata utilizzata l'indagine sismica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di superficie da misure di sismica attiva - e.g. Park et al., 1999).

#### **6.1 - Aspetti sismici ed azioni sismiche**

Con l'Ordinanza del P.C.M. N° 3.519 del 28/04/06 e la Delibera di G.R.T. n° 431 del 19/06/06 sono stati approvati i "Criteri generali da utilizzare per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone". A livello di mappatura macrosismica, l'intero territorio nazionale viene considerato sismico e suddiviso in quattro zone sulla base di un differente valore dell'accelerazione di picco "ag" su terreno a comportamento litoide (espressa come frazione dell'accelerazione di gravità), derivante da studi macrosismici e sismotettonici a carattere nazionale.

Il territorio comunale di Collesalveti (LI) è inserito tra i 163 che rientrano nella classe "3" della zona sismica di riferimento, con accelerazione compresa tra 0,125g e 0,150g.

In attuazione ai disposti delle "Norme Tecniche per le costruzioni" (D.M. 17.01.2018), la stima della pericolosità sismica viene effettuata con l'approccio "sito-dipendente"; l'azione sismica di progetto viene definita in funzione della pericolosità di base del sito.

L'azione sismica di progetto in base, alla quale valutare il rispetto dei diversi *stati limite* presi in considerazione, viene definita partendo dalla pericolosità di base del sito di intervento, quale elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

I caratteri del moto sismico, su sito di riferimento rigido orizzontale, sono descritti dalla distribuzione sul territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono definite le forme spettrali per la generica probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento (P<sub>VR</sub>): "ag"  $\Rightarrow$  accelerazione massima di sito; "Fo"  $\Rightarrow$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; "TC\*"  $\Rightarrow$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore di "ag" è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento, mentre "Fo" e "TC\*" sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC'18 approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.

Lo scuotimento del suolo così individuato deve essere corretto per tenere conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo del sito ove è previsto l'intervento e della morfologia dell'area ove lo stesso ricade. Per far questo vengono determinati la "categoria di sottosuolo di fondazione" e "coefficienti di amplificazione topografica e stratigrafica".

## **6.2 - Indagine MASW**

Il metodo di indagine MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali (onde di Rayleigh e onde di Love) fatta 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. 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 sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Sono state eseguite un'indagine sismica MASW ed un'indagine sismica HVSR dalla società "GAIA Servizi srl" di San Giuliano Terme (PI).

## **6.3 - Categoria di sottosuolo**

Per ricostruire il profilo sismo-stratigrafico locale e determinare la categoria di sottosuolo ai fini delle azioni sismiche è stata considerata l'indagine sismica MASW1 e l'HVSR1 realizzate direttamente nell'area di intervento (giardino storico di Nugola); queste ci hanno consentito di caratterizzare l'area di intervento dal punto di vista sismo-stratigrafico.

Attraverso questa indagine è stato possibile ricostruire l'andamento delle velocità delle onde SH dei terreni alluvionali presenti nella zona, e da queste determinare il parametro  $V_{seq}$ , necessario alla classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto (Modellazione sismica del suolo - A16).

Con l'indagine sismica MASW1 è stato possibile ricostruire l'assetto sismo-stratigrafico della zona identificando sette orizzonti sismici nei primi 40 m dal p.c. locale, con miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni con la profondità. L'indagine non ha individuato, per lo spessore indagato, il substrato sismico inteso come "quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/sec".

Dall'indagine sismica è stato possibile calcolare un valore della  $V_{seq}$  riferito al piano di campagna (piano di calpestio del giardino storico) pari a 326 m/sec; in questo contesto specifico il  $V_{seq} = V_{s30}$  visto che il substrato inteso come deposito avente una  $V_s \geq 800$  m/sec è ben oltre i 30 m di profondità. Considerando la possibile quota del piano di fondazione del nuovo muro di contenimento, è stato possibile calcolare un valore della  $V_{seq}$  pari a 400 m/sec. (piano di fondazione -1,2/-1,4 m dal p.c.).

Il valore della  $V_{seq}$  calcolato supera di poco quello che separa le classi di suolo sismico "B e C"; quindi, in ragione della metodologia di indagine sismica utilizzata per l'acquisizione dei valori della velocità delle onde SH nei terreni di fondazione (MASW), riteniamo cautelativamente corretto adottare una "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 della velocità equivalente compresi tra 180 e 360 m/sec; tabella 3.2.II "Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato". Il coefficiente di amplificazione stratigrafica "Ss" legato alla "Categoria C" è pari a 1,50 (tabella 3.2.IV).

#### **6.4 - Coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica**

Per la verifica della categoria topografia si è fatto riferimento alle indicazioni delle NTC'18 e dall'articolo "Fattore di amplificazione topografica in presenza di scarpate e creste o cocuzzoli" di GeoStru; l'assetto morfologico e topografico nel quale ricade l'area di intervento è assimilabile ad un crinale allungato.

Attraverso la sezione morfologica ricostruita è stato possibile verificare che l'assetto morfologico locale è quello di una "cresta"; sono da considerarsi creste quelle situazioni in cui il dislivello altimetrico minimo "h" è maggiore od uguale ad un terzo del dislivello altimetrico massimo "H" e con inclinazione dei versanti  $\alpha_1$  ed  $\alpha_2$  maggiori o uguali a 15°. Nello specifico abbiamo  $h = 31$  m,  $H = 42$  m,  $\alpha_1 = 20^\circ$  ed  $\alpha_2 = 25^\circ$ , per cui si configura come una "cresta morfologica".

L'assetto morfologico locale è caratterizzato da una larghezza in cresta "l" pari a circa 84,5 m ed una larghezza di base "L" pari a circa 488 m. Questi valori evidenziano una configurazione tipo di "cresta appuntita", ovvero quei rilievi caratterizzati da una larghezza in cresta "l" molto inferiore rispetto alla larghezza alla base "L" che rispondendo alla seguente relazione:  $l < 1/3L$  ( $84,5 < 488/3$ ). Diversamente, una "cresta arrotondata" sarebbe caratterizzata da una larghezza in cresta "l" paragonabile alla larghezza alla base "L" con l'inclinazione  $< 10^\circ$  della porzione in cresta, e dovrebbe rispondere alla seguente relazione:  $l \geq 1/3 L$ .

Ci sono dei valori limite della larghezza in cresta "l", in rapporto all'altezza "H" dei versanti, oltre i quali non siamo più in presenza di una morfologia tipo cresta ma di due singole scarpate per le quali si determinerà il fattore di amplificazione topografica S per la configurazione scarpata.

Nelle situazioni di "cresta appuntita" con  $L > 488$  m il valore del fattore di amplificazione topografica, nell'intervallo di periodo 0,1-0,5 sec, è determinato dalla seguente formula:

$$S_{T(0,1-0,5s)} = e^{1,11 \cdot H/L}$$

dove  $H \Rightarrow$  all'altezza massima dei versanti ed  $L \Rightarrow$  la larghezza alla base del promontorio collinare.

Il valore di  $S_{T(0,1-0,5s)}$  determinato andrà assegnato all'area corrispondente alla larghezza in cresta "l", mentre lungo i versanti tale valore è scalato in modo lineare fino al valore unitario alla base di ciascun versante.

Nel caso specifico, visto che il manufatto in progetto si trova nei pressi del culmine della cresta con  $L = 488$  m ed  $H = 42$  m, il valore calcolato di  $S_{T(0,1-0,5s)} = e^{1,11 \cdot H/L} = 1, \cong 1,10$ ; questo conferma che l'area di intervento rientra nella "Categoria Topografica T3", ovvero "Rilievi con larghezza in cresta molto minori che alla base e inclinazione media  $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ ". Pertanto, ai sensi delle NTC'18 la categoria topografica è la "T3" (Tabella 3.2.III); il valore del coefficiente di amplificazione topografica è pari al massimo previsto per questa categoria:  **$S_T$  sarà pari a 1,2** (Tabella 3.2.V).

Nel caso specifico per la verifica sismica si dovrà considerare per i terreni di fondazione una "Categoria di sottosuolo C" da cui un coefficiente di amplificazione stratigrafica  **$S_s = 1,5$**  e per l'assetto morfologico una categoria topografica "T3", dalla quale deriva per quanto sopra indicato un coefficiente di amplificazione topografica  $S_T = 1,2$ .

Da qui si ottiene il coefficiente "S" che tiene conto dell'amplificazione stratigrafica e topografica mediante la seguente relazione " **$S = S_s \times S_T = 1,8$** ", dove "S<sub>s</sub>" il coefficiente di amplificazione stratigrafica e "S<sub>T</sub>" il coefficiente di amplificazione topografica.

#### **6.5 - Azioni sismiche**

Alle azioni sismiche contribuiscono i *parametri statici*, che dipendono essenzialmente dalla sorgente del terremoto (accelerazione di picco orizzontale al suolo "a<sub>0</sub>", intensità sismica "I") ed i *parametri dinamici*, che dipendono dalla posizione e dalle caratteristiche geologiche del sito (fattori di amplificazione "S" e "Fo") e dal periodo dello spettro di risposta (periodi di oscillazione massima del suolo). Questi parametri definiscono la pericolosità sismica dell'area di intervento.

La pericolosità sismica dell'area di intervento è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa "a<sub>g</sub>" in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, quindi a prescindere dalle caratteristiche litologiche e litotecniche dell'area, con superficie topografia orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente "Se(T)", con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza "P<sub>VR</sub>", come definite, nel "periodo di riferimento - V<sub>R</sub>".

La *vita di riferimento* "V<sub>R</sub>", che si ricava per ciascun tipo di costruzione, moltiplicando la *vita nominale* "V<sub>N</sub>" stabilita per questo ultima (tabella 2.4.I), per il proprio *coefficiente d'uso* "C<sub>u</sub>" (tabella 2.4.II).

Nel caso specifico sono stati considerati indicativamente i seguenti dati:



**a) vita nominale  $V_N \geq 50$  anni; b) classe d'uso II; c) coefficiente d'suo  $C_U = 1,0$ .**

Pertanto, si giunge ad un valore del periodo di riferimento  $V_R = 50 * 1,0 = 50$  anni

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni delle costruzioni nel suo complesso. I dati suddetti potranno comunque essere confermati o variati dal progettista; nel secondo caso i parametri sismici di progetto saranno riportati corretti nella Relazione Geotecnica redatta ai sensi delle NTC.

Gli Stati Limite di Esercizio (SLE) 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 rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile per nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature;

Gli Stati Limite Ultimi (SLU) 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 rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità 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 probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportati nella tabella 3.2.I.

I parametri sismici *sito specifici* sono stati acquisiti attraverso programmi di calcolo che utilizzano i quattro nodi del reticolo di riferimento prossimi al sito di intervento.

Gli spettri di risposta elastici orizzontali e verticali sono stati calcolati attraverso l'utilizzo del programma "NTCSISMA - ver.3.0"; alla presente vengono allegati i dati relativi alla localizzazione dell'area di indagine nell'ambito del reticolo di riferimento, nonché i dati ed i grafici relativi agli spettri di risposta agli stati limite SLV e SLD per le componenti orizzontali e verticali.

## **6.6 - Parametri sismici (da Geostru) - Ubicazione del sito in esame**

Sito in esame: latitudine 43,57789 – longitudine 10,441439 – Classe 2 - Vita nominale 50 anni

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 20712 Lat: 43,5936 Lon: 10,3834 Distanza: 4992,307

Sito 2 ID: 20713 Lat: 43,5954 Lon: 10,4524 Distanza: 2141,871

Sito 3 ID: 20935 Lat: 43,5455 Lon: 10,4549 Distanza: 3763,413

Sito 4 ID: 20934 Lat: 43,5437 Lon: 10,3859 Distanza: 5874,260

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50 - Geostru software - www.geostru.com

*Parametri sismici*

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T3

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente  $c_u$ : 1,0

<b>Operatività</b>	SLO	SLD	SLV	SLC
Probabilità di superamento (%)	81	63	10	5
Tr (anni)	30	50	475	975
Ag	0,039 g	0,051 g	0,137 g	0,173 g
Fo	2,560	2,474	2,429	2,478
Tc* (s)	0,221	0,243	0,268	0,276

### **Coefficienti Sismici (da Geostru) - Stabilità dei pendii e strutture di fondazione**

Operatività	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,500	1,500	1,500	1,440
Cc	1,730	1,680	1,620	1,610
St	1,200	1,200	1,200	1,200
Kh	0,014	0,019	0,059	0,072
Kv	0,007	0,009	0,030	0,036
A <sub>max</sub>	0,682	0,908	2,425	2,935
Beta (β)	0,200	0,200	0,240	0,240

Dove: A<sub>max</sub> (accelerazione massima attesa al sito);  
 $A_{max} = ag * Ss * St - Kh = \beta * A_{max} / g$   
 $Kv = 0,5 * Kh$

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50 - Geostru software

Riferimento area: le coordinate WGS84

Lat. 43,576921; Lon. 10,440441

### **Coefficienti Sismici (da Geostru) - Fronti di scavo e rilevati**

Operatività	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,500	1,500	1,500	1,440
Cc	1,730	1,680	1,620	1,610
St	1,200	1,200	1,200	1,200
Kh	0,000	0,044	0,094	0,000
Kv	0,000	0,022	0,047	0,000
A <sub>max</sub>	0,682	0,908	2,425	2,935
Beta (β)	0,000	0,470	0,380	0,000

Dove: A<sub>max</sub> (accelerazione massima attesa al sito);  
 $A_{max} = ag * Ss * St - Kh = \beta * A_{max} / g$   
 $Kv = 0,5 * Kh$

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50 - Geostru software

Riferimento area: le coordinate WGS84

Lat. 43,576921; Lon. 10,440441

### **Coefficienti Sismici (da Geostru) - Opere di sostegno**

Operatività	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss	1,500	1,500	1,500	1,440
Cc	1,730	1,680	1,620	1,610
St	1,200	1,200	1,200	1,200
Kh	0,000	0,044	0,094	0,000
Kv	0,000	0,022	0,047	0,000
A <sub>max</sub>	0,682	0,908	2,425	2,935
Beta (β)	0,000	0,470	0,380	0,000

Dove: A<sub>max</sub> (accelerazione massima attesa al sito);  
 $A_{max} = ag * Ss * St - Kh = \beta * A_{max} / g$   
 $Kv = 0,5 * Kh$

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50 - Geostru software

Riferimento area: le coordinate WGS84

Lat. 43,576921; Lon. 10,440441

### **6.7 - Verifica alla liquefazione dei terreni di fondazione**

Le NTC'18 propongono una griglia di casi per i quali il sito non presenta possibilità di liquefazione dei terreni. Le NTC recitano che "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  $qc1N > 180$  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  $qc1N$  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 Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $Uc < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $Uc > 3,5$ .

Quando nessuna delle condizioni precedenti risulti soddisfatta ed il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda (in genere vanno considerati livelli con spessore superiore a 3 m), occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili.

Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto.

La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse. L'adeguatezza del margine di sicurezza nei confronti della liquefazione deve essere valutata e motivata dal progettista."

É inoltre importante, al di là dei risultati della verifica, valutare le conseguenze della eventuale liquefazione degli strati sabbiosi, tenendo sempre presente che:

- lo strato liquefacibile deve avere uno spessore maggiore di 3 m oppure due contorni impermeabili;
- la liquefazione può avere effetti sulle fondazioni superficiali solo se lo strato superficiale non soggetto a liquefazione è più sottile di 3 m.

La valutazione della Magnitudo attesa è stata effettuata secondo quanto proposto dagli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica - Gruppo di lavoro MS 2008" dove viene indicato il metodo che si basa, a partire sempre dalla zonazione sismogenetica (ZS 9), sulle coppie di valori "Magnitudo media - distanza M-R" caratteristici di ogni sito desunti dai dati di disaggregazione della pericolosità sismica (vedi dati Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia - Gruppo di lavoro, 2004 e INGV Spallarossa e Barani, 2007), i quali ci permettono di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito per determinati tempi di ritorno. L'uso di tale metodica ci viene indicato anche dal Responsabile P.O. - Valutazione effetti locali in zona sismica - Settore Prevenzione Sismica della Regione Toscana, di cui alleghiamo un estratto della e-mail inviataci. I risultati di tale operazione, esposti nelle tavole allegate, evidenziano che il valore della magnitudo media del sito di studio è sempre minore di 5,0.

Nella successione indagata sono presenti terreni prevalentemente coesivi con intercalati pochi livelli sabbiosi come meglio indicato nel modello geologico allegato; nel piezometro S2-Pz2 è stato misurato il livello piezometrico a -10,30 m dal p.c. (16/03/2023).

Si è proceduto con la verifica alla liquefazione dei terreni di fondazione utilizzando metodi semplificati; per queste sono state assunte le seguenti caratteristiche:

- magnitudo attesa  $M_{max}$  5,91-6,14 (ZS9 - n° 921);
- livello piezometrico della falda: -10,30 m dal p.c. (situazione reale del 16/03/2023);
- accelerazione  $a_{MAX} = a_{SLV} \times (S_s \times S_t) = 0,137 \times 1,5 \times 1,2 = 0,2466$
- profilo stratigrafico: come indicato nel modello geologico.

Per la verifica del potenziale di liquefazione si è fatto riferimento alla colonna stratigrafica locale, considerando sia le caratteristiche granulometriche che quelle geotecniche degli orizzonti individuati; è stato associato ad ogni orizzonte un valore medio della SPT acquisto con la campagna geognostica.

L'analisi è stata effettuata con i seguenti metodi: "Stima del rischio di liquefazione con i metodi di Seed e Idriss (1982), Iwasaki et al (1984), Youd e Idriss (2001), Seed et al. (1985), Rauch (1998) e Eurocodice 8"; è stato possibile verificare che i terreni di fondazione risultano non liquefacibili come evidenziato nelle tabelle di analisi per lo spessore considerato (12,0 m dal p.c.).

Pertanto, il deposito sul quale insisteranno le strutture di fondazione del muro in progetto non è suscettibile a liquefazione, in quanto il parametro CRR è sempre maggiore del parametro CSR, con un valore di Magnitudo pari a 6,14 ("zona 921" dalle ZS9).

Inoltre, per quanto riguarda la valutazione della potenzialità di liquefazione dei terreni facciamo presente che il potenziale di liquefazione prodotto per tensioni cicliche derivate da un evento tellurico, nasce dall'istantaneo incremento di pressioni neutre sottoposte all'accelerazione sismica che possono comportare il totale annullamento delle pressioni effettive intergranulari, determinando il completo decadimento della resistenza tangenziale di un terreno a comportamento esclusivamente granulare.

Perché ciò possa accadere occorre che il sedimento non sia dotato di coesione e che il drenaggio non sia talmente rapido da avvenire istantaneamente; per tali motivazioni, soltanto i depositi sabbiosi fini monogranulari, saturi e non addensati risultano soggetti a tale tipo di rischio.

### **6.9 - Programma di calcolo utilizzato**

Per la verifica sismica è stato il programma "Liquefazione dei terreni in condizioni sismiche" di Sebastiano G. Monaco - Quaderni per la progettazione della EPC Libri.

### **Allegati:**

Ubicazione delle indagini geognostiche e sismiche eseguite (febbraio-marzo 2023);

Estratto dalla Carta Geologica - Piano Strutturale (2021), 1:10.000;

Estratto dalla carta Geologica della Regione Toscana, 1:10.000;

Estratto dalla Carta Geologico-Tecnica - Microzonazione Sismica Livello I e II (ottobre 2019), 1:10.000;

Estratto dalla Carta delle frequenze naturali del terreno - Microzonazione Sismica Livello I e II (ottobre 2019), 1:10.000;

Estratto dalla Carta dei dati di base - Microzonazione Sismica Livello I e II (ottobre 2019), 1:10.000;

Estratto dalla Carta delle MOPS - Microzonazione Sismica Livello I e II (ottobre 2019), 1:10.000;

Estratto dalla Carta FH<sub>a</sub> (0,1-0,5 sec) - Microzonazione Sismica Livello I e II (settembre 2018), 1:10.000;

Estratto dalla Carta FH<sub>a</sub> (0,5-1,0 sec) - Microzonazione Sismica Livello I e II (settembre 2018), 1:10.000;

Modello geologico locale con parametri geotecnici nominali: P4-P3-P2-P1 (riferimento prove piano calpestio giardino), 1:100;

Modello geologico locale: S1-S2 (piano stradale), 1:100;

Modello geologico locale: P4-S1 e P3-S2 con parametri geotecnici nominali, 1:100;

Modello Sismo-stratigrafico locale: MASW e HVSr;

Mappa di pericolosità sismica;

Verifica liquefazione sismica eseguita sulla colonna stratigrafica locale.

Terricciola, 11 maggio 2023

Geol. Mosè Montagnani

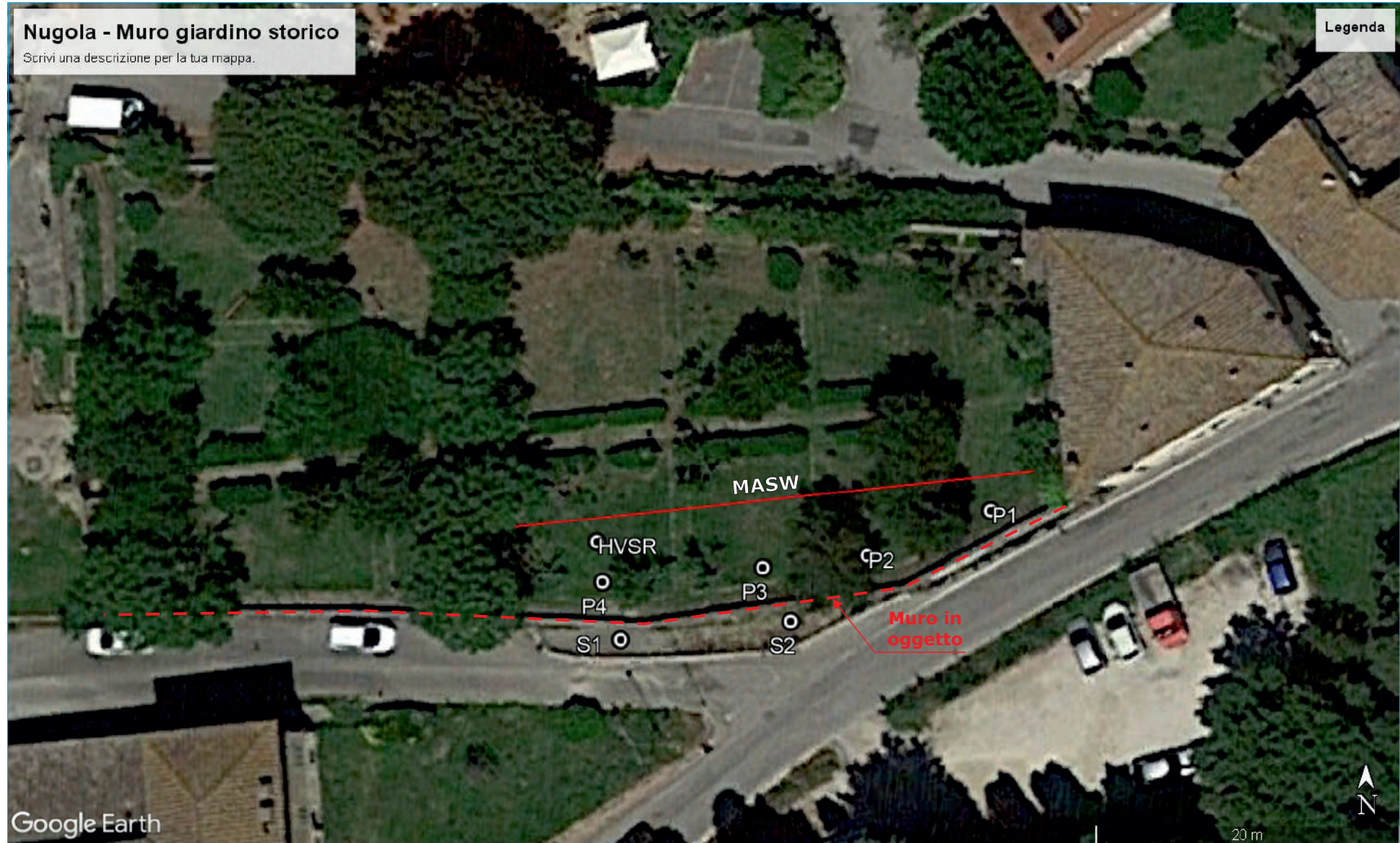


LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

**Mosè Montagnani**  
**GEOLOGO**

**Ubicazione delle indagini geognostiche  
e sismiche eseguite (febbraio-marzo 2023)**

Maggio 2023



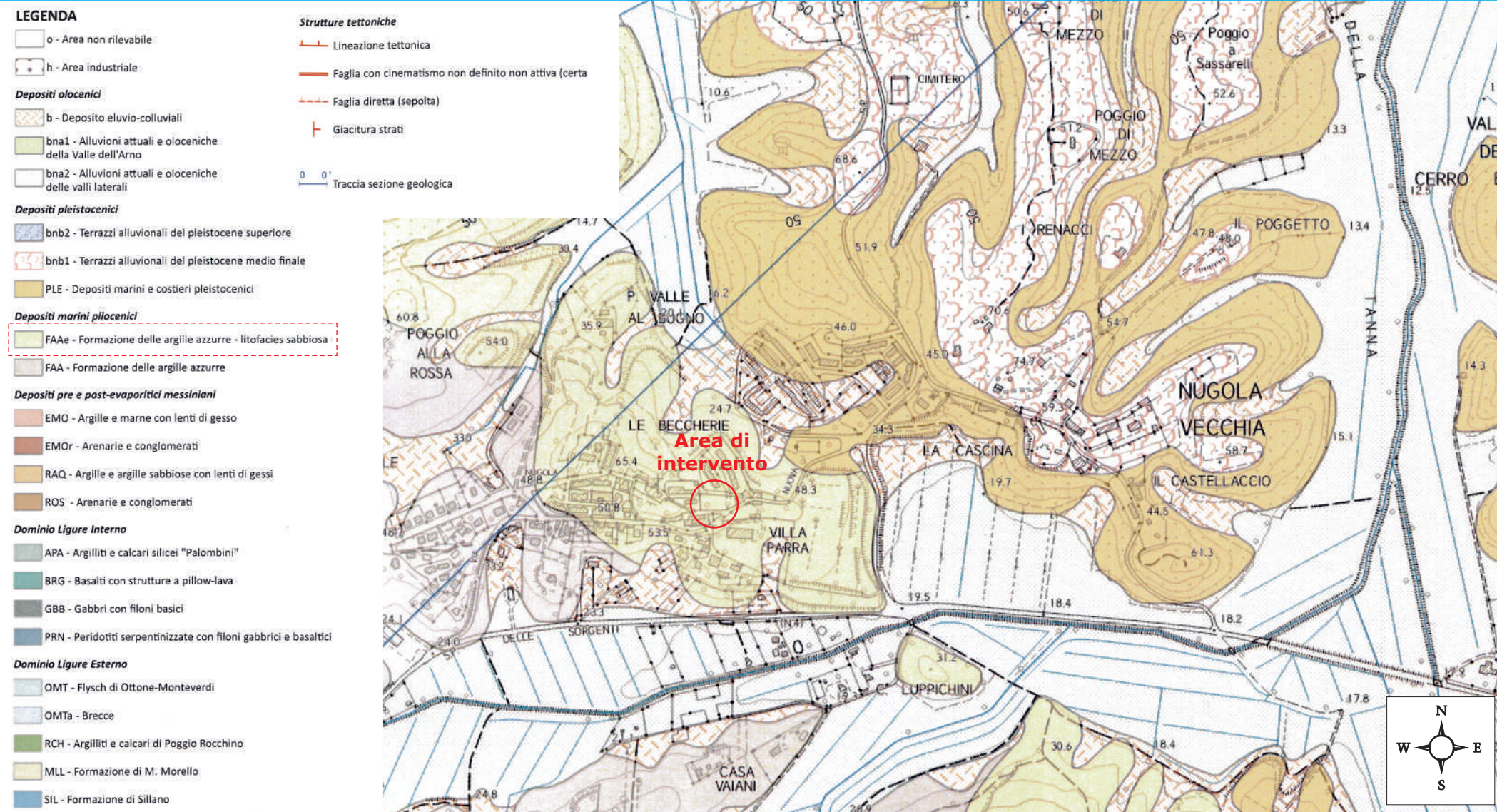
LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

## Estratto dalla Carta Geologica Piano Strutturale (2021)

Mosè Montagnani  
**GEOLOGO**

Maggio 2023

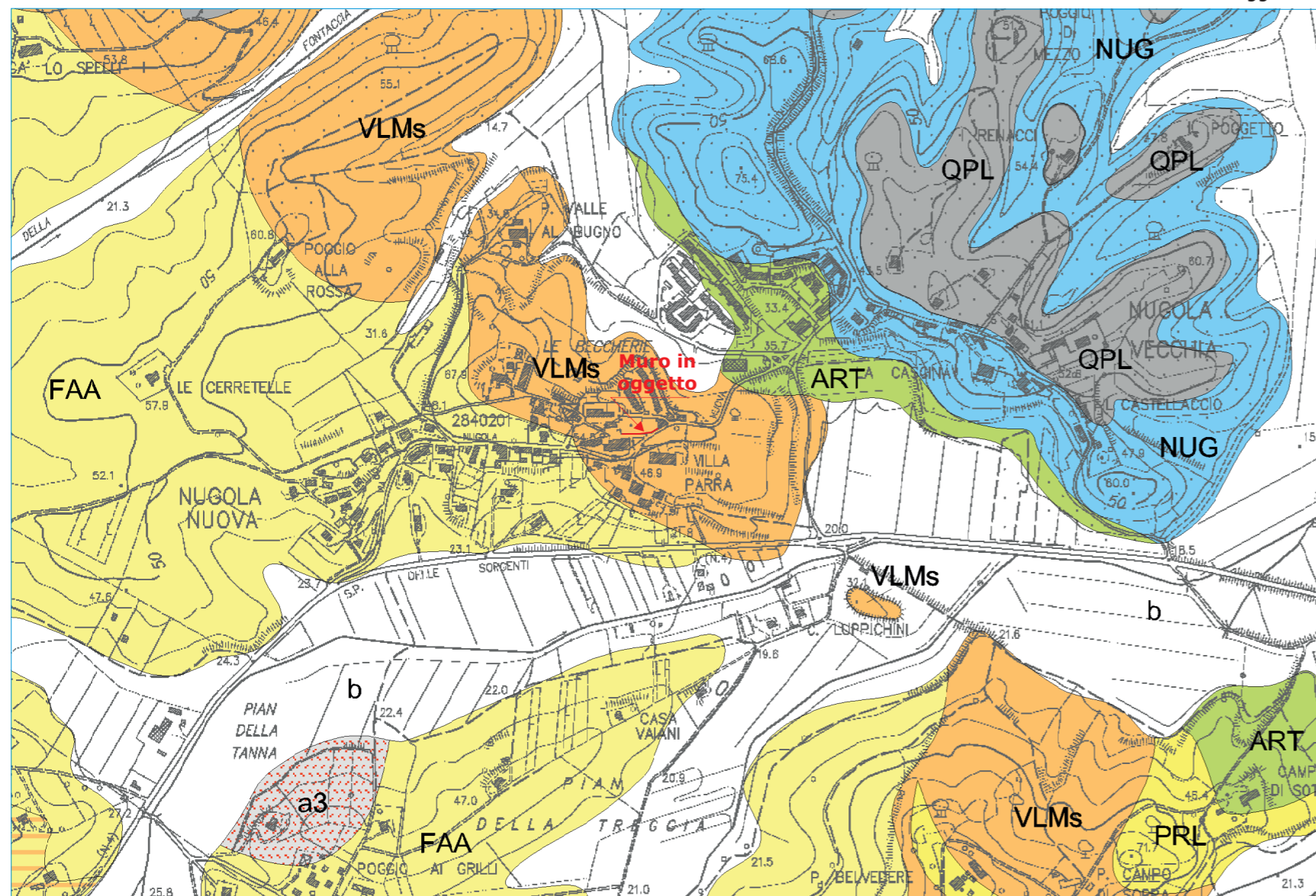
Scala 1: 10.000







Scala 1:10.000

Maggio 2023

Estratto dalla carta Geologica della Regione Toscana

















**Depositi continentali recenti e attuali**

-  a3 - Coperture detritiche indifferenziate
-  b - Deposito alluvionale e fluvioglaciale attuale
-  bn - Deposito alluvionale terrazzato
-  Area non rilevabile/non classificabile











**Depositi quaternari dei terrazzi glacioeustatici**

-  QVC- Sabbie e limi di Vicarello
-  QPL- Formazione di Casa Poggio ai Lecci

**Successione neogenico-quaternaria**

-  NUG - Sabbie di Nugola Vecchia
-  ART - Sabbie ed argille ad Artica Islandica
-  PRL - Biocalcarenti di Parlascio ad Amphistegina
-  VLMs - Sabbie di Laiatico (Formazione di Villamagna)
-  FAA - Argille Azzurre
-  FAAs - Sabbie di Mazzola (Formazione Argille Azzurre)
-  EMO - Argille e Gessi del Fiume Era Morta
-  EMOg - Gessi di origine primaria e secondaria (Formazione delle Argille e Gessi del Fiume Era Morta)
-  RSNg - Gessi di origine primaria e secondaria (Formazione del Rio Sanguigna)
-  RAQ - Formazione del Torrente Raquese
-  ROS5 - Membro dei Calcari di Castelnuovo (Formazione del Calcare di Rosignano)
-  ROS4 - Membro dei Conglomerati di Villa Mirabella (Formazione del Calcare di Rosignano)
-  ROS3 - Membro dei Calcari di Le Cave (Formazione del Calcare di Rosignano)
-  LUP - Conglomerati di Castello di Luppiano

**Segni convenzionali**

-  strati dritti
-  strati rovesciati
-  strati a polarità sconosciuta
-  strati verticali
-  assi di piega
-  strati orizzontali
-  superfici di clivaggio o di scistosità
-  contatti stratigrafici e/o litologici
-  faglia o contatto tettonico con senso di movimento indeterminato
-  sovrascorrimenti

**Dominio Ligure**


**Unità di M.Vitalba (cfr. Unità Bracco - Val Grevaglia)**

-  Serpentiniti

**Unità di Monteverdi Marittimo**

-  PGR- Argilliti di Poggio Rocchino

**Unità di S.Fiora**

-  FIA2- Membro di Antignano (Formazione di S.Fiora)

LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

## Legenda

### Terreni di copertura

- Terreni contenenti resti di attività antropica di altro ambiente (Rlzz)
- Ghiaie limose, miscela di ghiaia, sabbia e limo di terrazzo fluviale (GMtf)
- Sabbie limose, miscela di sabbia e limo di cordone litoraneo (SMcl)
- Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla di terrazzo fluviale (SCtf)
- Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla di eluvi/colluvi (SCec)
- Sabbie argillose, miscela di sabbia e argilla di altro ambiente (SCzz)
- Limi inorganici, farina di roccia, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di eluvi/colluvi (MLEc)
- Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di piana inondabile (CLpi)
- Argille inorganiche di medio-bassa plasticità, argille ghiaiose o sabbiose, argille limose, argille magre di argine/barra/canali (CLes)

### Substrato geologico

- Lapidico (LP)
- Granulare cementato (GR)
- Coesivo sovraconsolidato (CO)
- Lapidico, stratificato (LPS)
- Granulare cementato, stratificato (GRS)
- Coesivo sovraconsolidato, stratificato (COS)
- Alternanza di litotipi, stratificato (ALS)

### Instabilità di versante

- Crollo/ribaltamento - attiva
- Scorrimento - attiva
- Colata - attiva
- Crollo/ribaltamento - quiescente
- Scorrimento - quiescente
- Colata - quiescente
- Crollo/ribaltamento - inattiva
- Scorrimento - inattiva
- Colata - non definita

### Forme di superficie o sepolte

- Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (10-20m)
- Orlo di terrazzo fluviale (10-20m)
- Faglia diretta potenzialmente attiva e capace (incerta)
- Faglia diretta non attiva (incerta)
- Cavità sepolta isolata

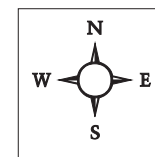
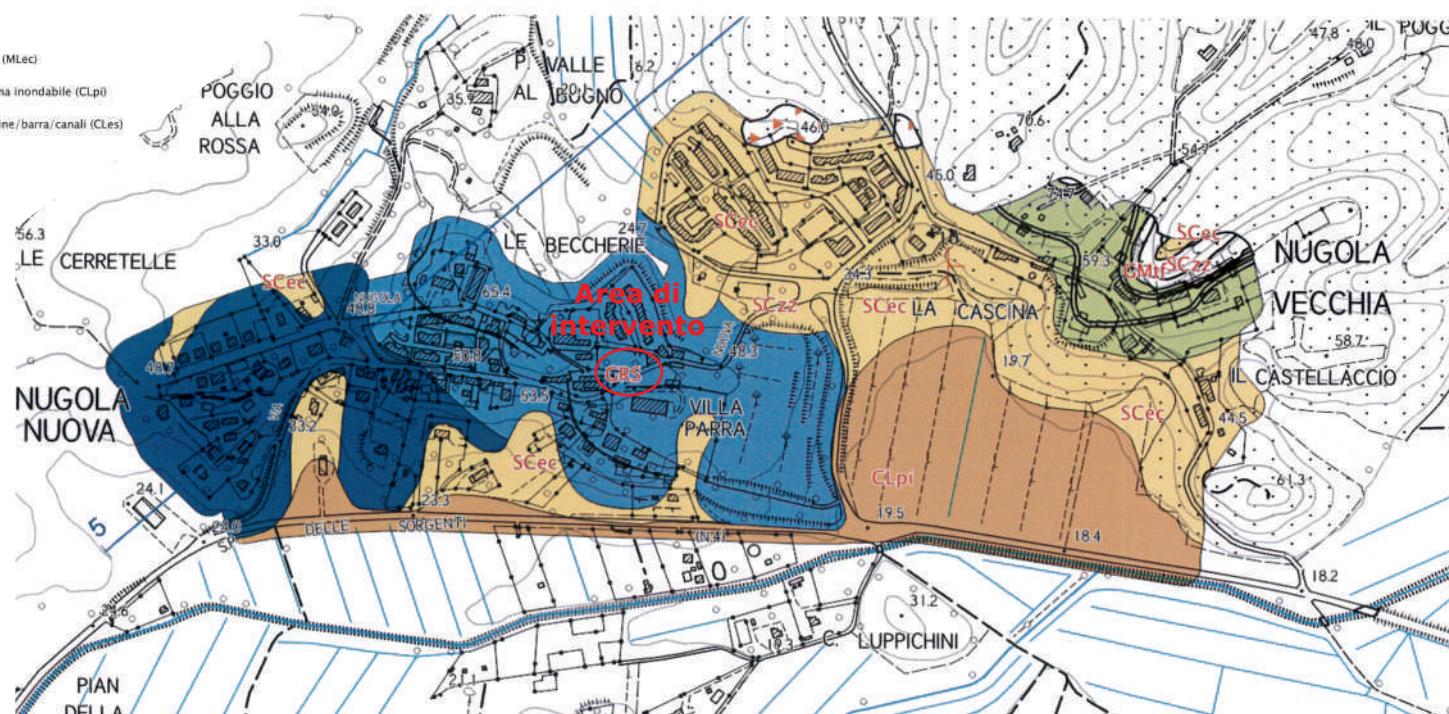
### Elementi geologici e idrogeologici

- Pozzo o sondaggio che ha raggiunto il substrato geologico
- Pozzo o sondaggio che non ha raggiunto il substrato geologico
- Presenza della falda in aree con sabbie e/o ghiaie
- Giacitura strati



## Estratto dalla Carta Geologico-Tecnica Microzonazione Sismica Livello I e II (ottobre 2019)

Scala 1: 10.000



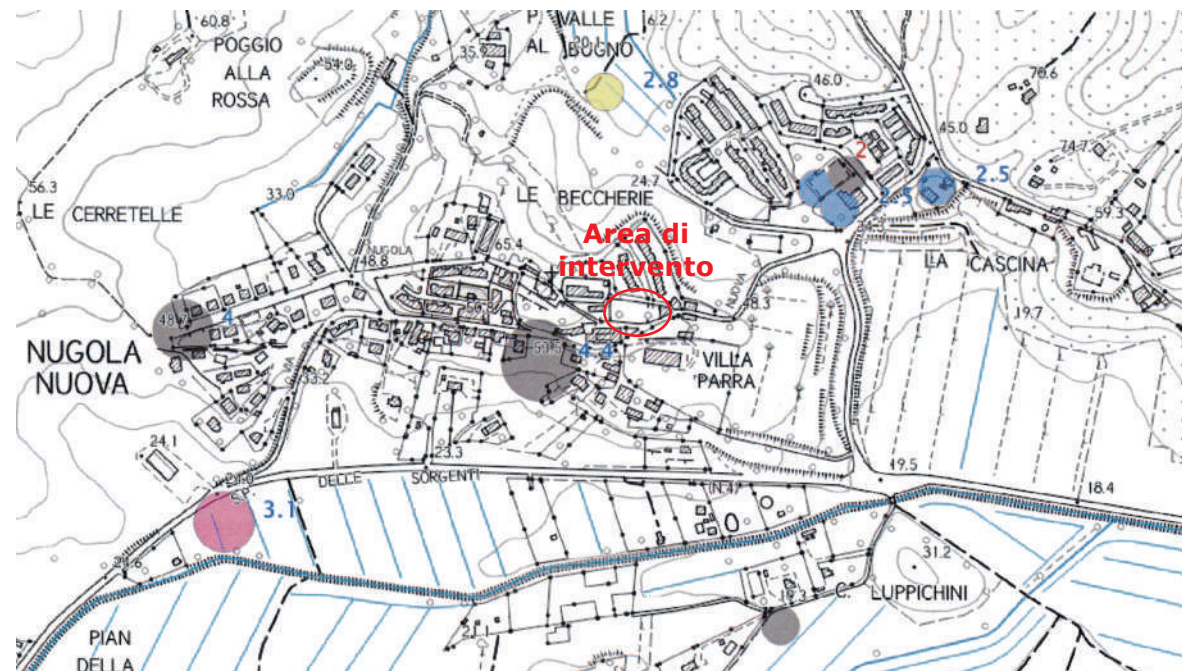


LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

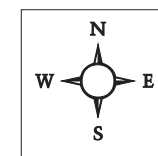
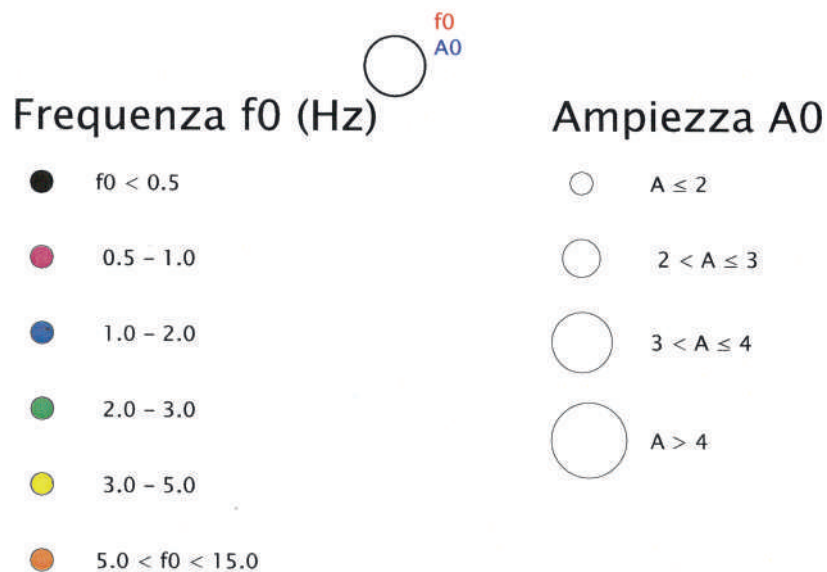
Maggio 2023

Scala 1: 10.000

**Estratto dalla Carta delle frequenze naturali del terreno  
Microzonazione Sismica Livello I e II  
(ottobre 2019)**



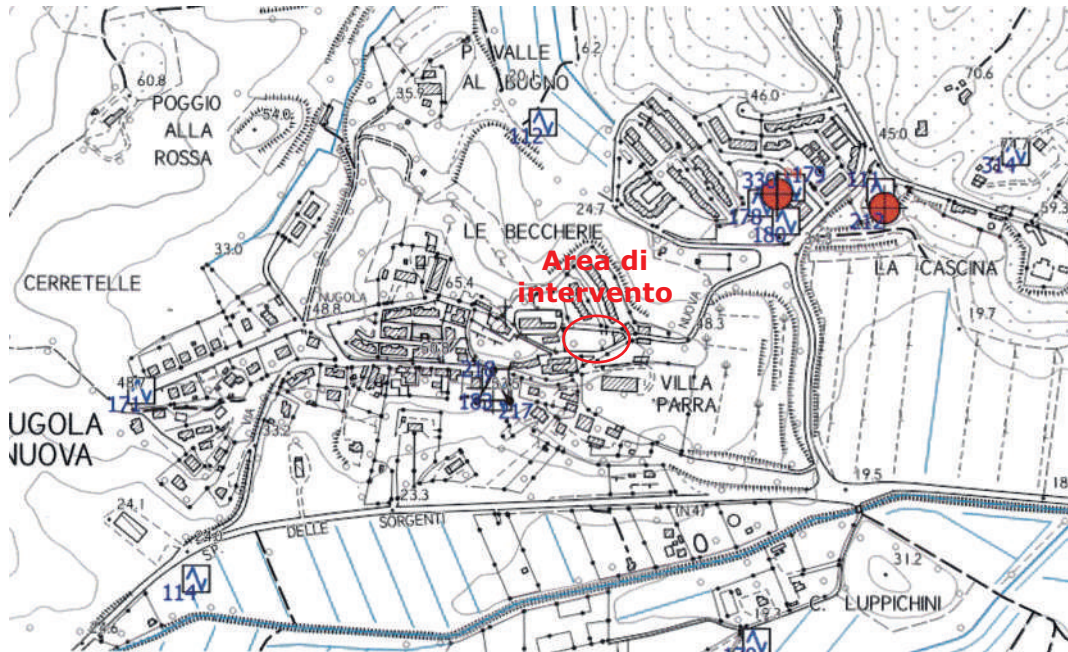
**Legenda**



LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

Maggio 2023




**Estratto dalla Carta dei dati di base  
Microzonazione Sismica Livello I e II  
(ottobre 2019)**

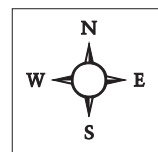


# Legenda

## Indagini

Scala 1: 10.000

-  Sondaggio a carotaggio continuo
-  Sondaggio a distruzione di nucleo
-  Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
-  Sondaggio da cui sono stati prelevati campioni
-  Sondaggio con piezometro
-  Prova penetrometrica statica con punta meccanica (CPT)
-  Prova penetrometrica statica con punta elettrica
-  Prova penetrometrica statica con piezocono
-  Prova penetrometrica dinamica super pesante
-  Prova dilatometrica
-  Pozzo per acqua
-  Verticale virtuale lungo profilo sismico a rifrazione
-  Verticale virtuale lungo tomografia elettrica
-  Prova sismica in foro tipo Downhole
-  Prova penetrometrica con cono sismico
-  Stazione microtremore a stazione singola
-  ESAC\_SPAC
-  Profilo sismico a rifrazione
-  MASW
-  Sondaggio elettrico verticale

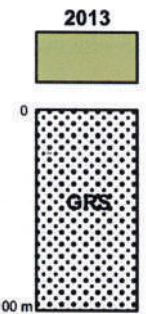


# Legenda

Zone stabili suscettibili di amplificazione locali

- 2001 Zona 1
- 2002 Zona 2
- 2004 Zona 4
- 2005 Zona 5
- 2006 Zona 6
- 2008 Zona 8
- 2009 Zona 9
- 2010 Zona 10
- 2011 Zona 11
- 2012 Zona 12
- 2013 Zona 13
- 2014 Zona 14
- 2015 Zona 15
- 2017 Zona 17
- 2018 Zona 18
- 2019 Zona 19
- 2022 Zona 22
- 2023 Zona 23
- 2024 Zona 24
- 2025 Zona 25
- 2026 Zona 26
- 2027 Zona 27
- 2028 Zona 28

**2013**



GRS

100 m

Sabbie da fini a grossolane, sabbie limose, con livelli ghiaiosi, stratificate, con stratificazioni incrociate planari (GRS), generalmente da addensate a molto addensate, spesse fino a 100 m.

Via Volterrana, 427 - 56030 - Terricciola (PI)  
e-mail: m.montagnani@studigeologici.it

Mosè Montagnani  
GEOLOGO

## Zone di attenzione per instabilità

-  ZAfr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 1
-  ZAfr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 2
-  ZAfr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 8
-  ZAfr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 11
-  ZAfr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 12
-  ZAfr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 13
-  ZAfr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 15
-  ZAfr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 17
-  ZAfr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 18
-  ZAfr - Zona di attenzione per instabilità di versante - Zona 99
-  ZAlq - Zona di attenzione per Liquefazione - Zona 3
-  ZAlq - Zona di attenzione per Liquefazione - Zona 7
-  ZAlq - Zona di attenzione per Liquefazione - Zona 21

## Forme di superficie e sepolte

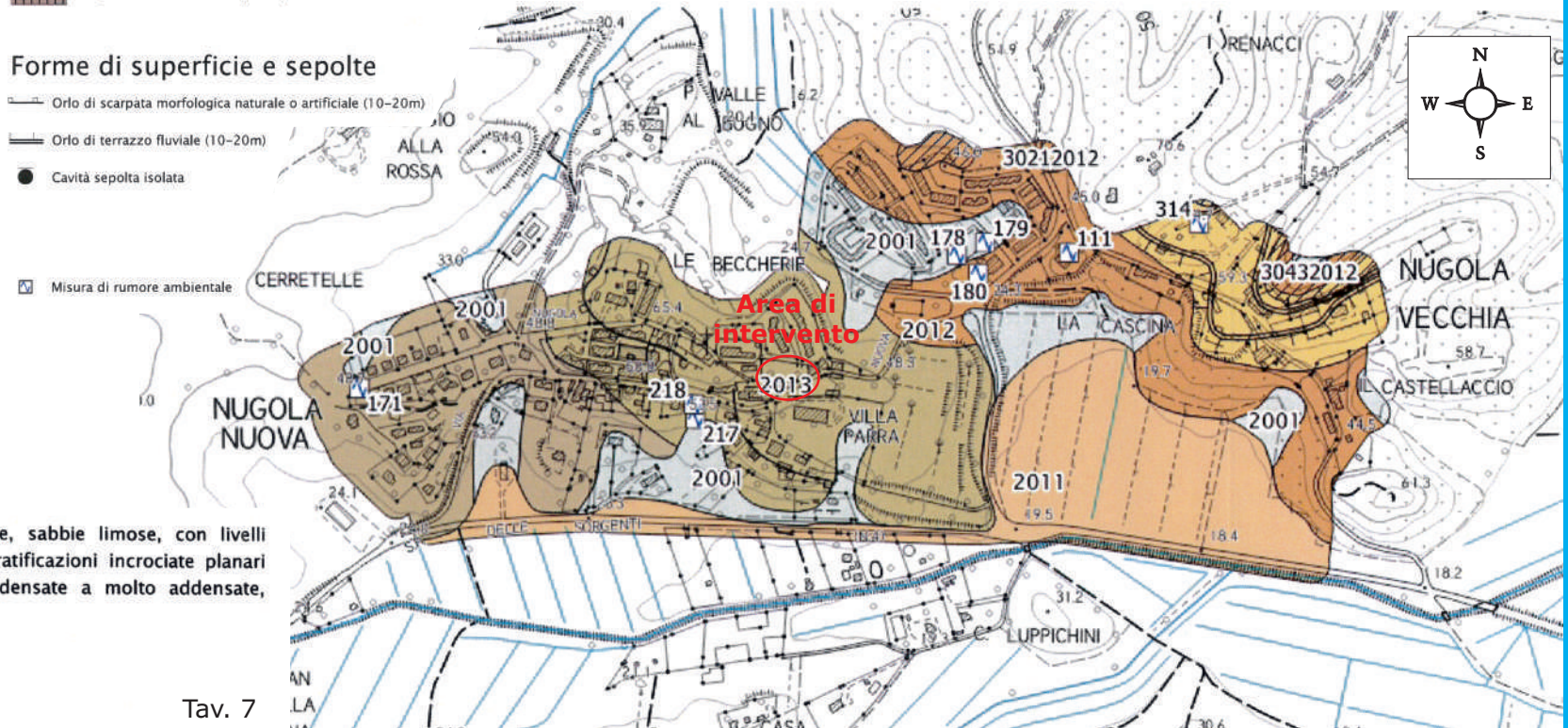
-  Orlo di scarpata morfologica naturale o artificiale (10-20m)
-  Orlo di terrazzo fluviale (10-20m)
-  Cavità sepolta isolata
-  Misura di rumore ambientale

LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

## Estratto dalla Carta delle MOPS Microzonazione Sismica Livello I e II (ottobre 2019)

Maggio 2023

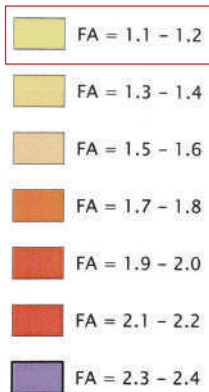
Scala 1: 10.000



LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

## Legenda

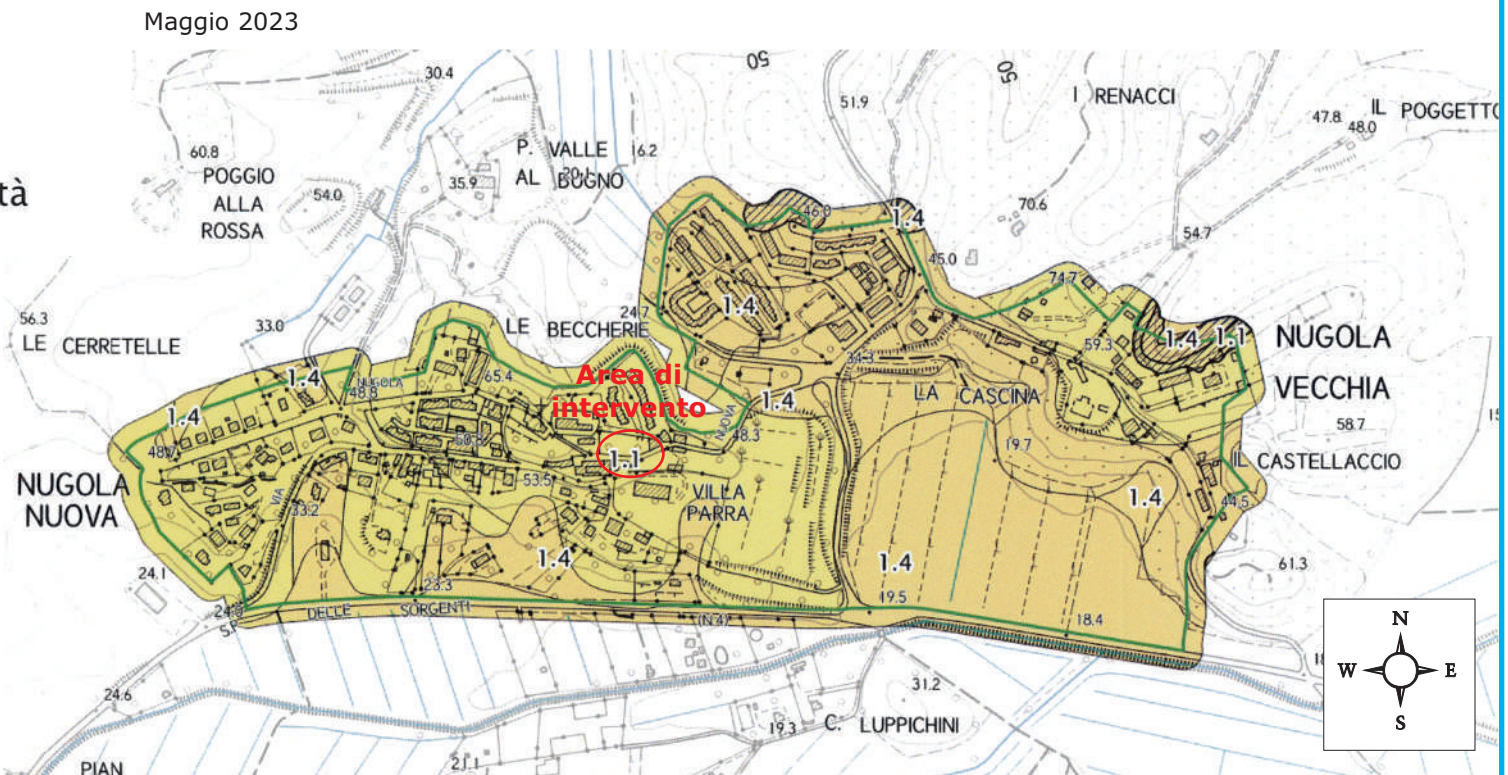
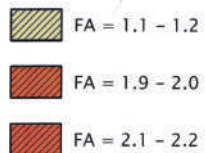
### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Estratto dalla Carta FHa (0,1-0,5 sec)  
Microzonazione Sismica Livello I e II  
(settembre 2018)

Scala 1: 10.000

### Zona di attenzione per instabilità

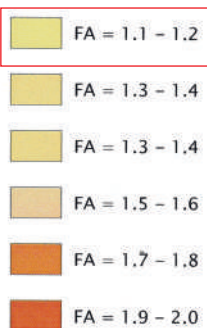


Tav. 8

LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

## Legenda

### Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



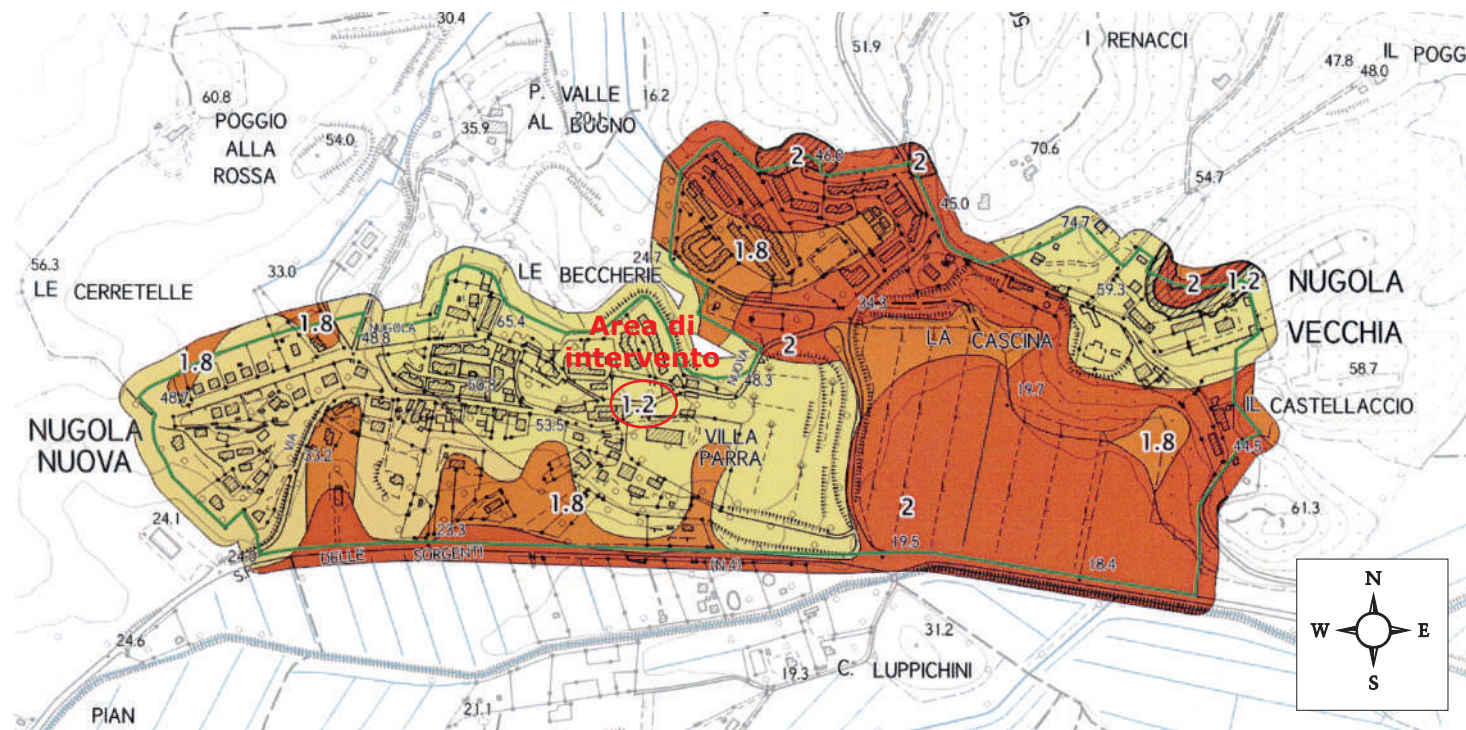
### Zona di attenzione per instabilità



Estratto dalla Carta FHa (0,5-1,0 sec)  
Microzonazione Sismica Livello I e II  
(settembre 2018)

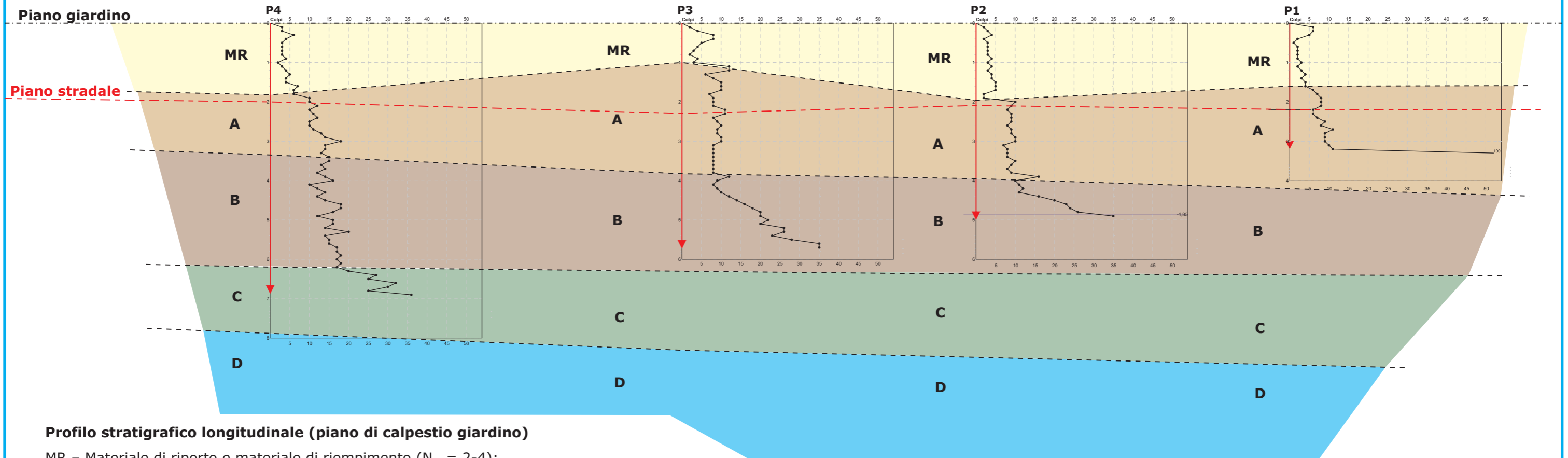
Scala 1: 10.000

Maggio 2023



Tav. 9

Colmo muro



**Profilo stratigrafico longitudinale (piano di calpestio giardino)**

- MR – Materiale di riporto e materiale di riempimento ( $N_{10} = 2-4$ );
- A – Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente ( $N_{10} = 8-14$ );
- B – Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone-avana, consistente ( $N_{10} = 10-26$ );
- C – Limo sabbioso, grigio-azzurro, mediamente addensato ( $N_{10} = 20-35$ ).

**Prova P3<sub>mar'23</sub>**

Profondità	Strat.	$\gamma$	Cu	$\varphi_p$	$\varphi_{vc}$	C'	$\varphi'$	Dr	OCR	E <sub>25</sub>	M	v
m dal p.c.		kN/mc	kPa	°	°	KPa	°	%	-	Mpa	Mpa	-
0,0-1,0	MR	18,3-18,5	-	26,5-27,5	24,0-24,2	5	25,0	15	-	10,0	12,0	0,278
1,0-3,8	A	18,3-18,6	-	27,0-28,0	24,0-24,2	5	26,0	22-23	-	12,0	14,0	0,280
3,8-5,7	B	19,3-19,5	65-80	-	-	7	24,0	-	6,0	-	6,0-7,0	0,45

**Prova P4<sub>mar'23</sub>**

Profondità	Strat.	$\gamma$	Cu	$\varphi_p$	$\varphi_{vc}$	C'	$\varphi'$	Dr	OCR	E <sub>25</sub>	M	v
m dal p.c.		kN/mc	kPa	°	°	KPa	°	%	-	Mpa	Mpa	-
0,0-1,8	MR	18,3-18,5	-	26,5-27,5	24,0-24,2	5	25,0	15	-	10,0	12,0	0,278
1,8-3,3	A	18,7-18,9	-	27,5-28,5	24,5-24,8	5	26,0	22-23	-	12,0	14,0	0,280
3,3-6,2	B	19,3-19,5	70-80	-	-	8	24,0	-	6,0	-	6,0-7,0	0,45
6,2-6,9	C	20,5-20,6	-	35,0-36,0	27,5-28,2	5	28,0	47-52	-	14,4	20,6	0,283

**Prova P1<sub>mar'23</sub>**

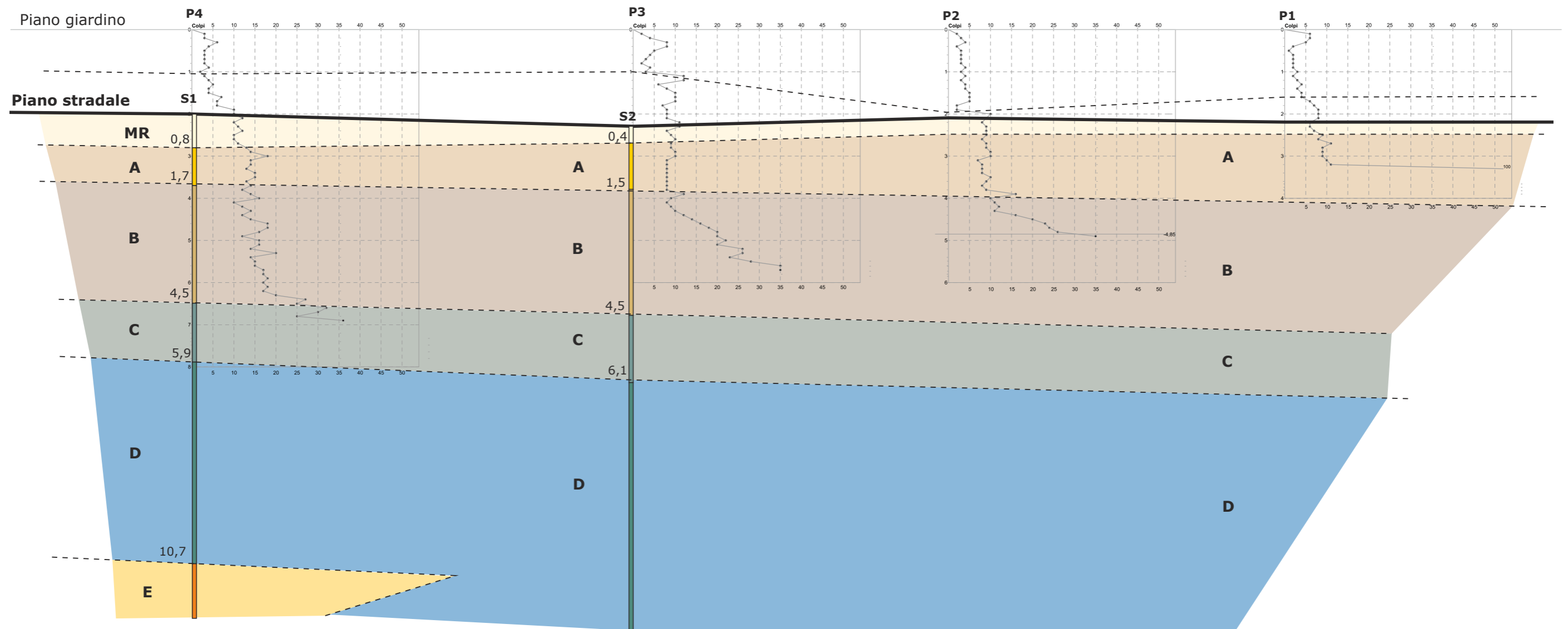
Profondità	Strat.	$\gamma$	Cu	$\varphi_p$	$\varphi_{vc}$	C'	$\varphi'$	Dr	OCR	E <sub>25</sub>	M	v
m dal p.c.		kN/mc	kPa	°	°	KPa	°	%	-	Mpa	Mpa	-
0,0-1,6	MR	18,0-18,1	-	26,0-27,0	23,5-23,8	5	25,0	10	-	9,0	11,0	0,274
1,6-3,3	A	18,3-18,6	-	27,0-28,0	24,0-24,2	5	26,0	22-23	-	12,0	14,0	0,280

**Prova P2<sub>mar'23</sub>**

Profondità	Strat.	$\gamma$	Cu	$\varphi_p$	$\varphi_{vc}$	C'	$\varphi'$	Dr	OCR	E <sub>25</sub>	M	v
m dal p.c.		kN/mc	kPa	°	°	KPa	°	%	-	Mpa	Mpa	-
0,0-1,9	MR	18,0-18,1	-	26,0-27,0	23,5-23,8	5	25,0	10	-	9,0	11,0	0,274
1,9-3,8	A	18,3-18,6	-	27,0-28,0	24,0-24,2	5	26,0	22-23	-	12,0	14,0	0,280
3,8-4,9	B	19,3-19,5	65-80	-	-	7	24,0	-	6,0	-	6,0-7,0	0,45

$\gamma$  ⇒ peso di volume; Cu ⇒ coesione non drenata;  $\varphi_p$  ⇒ angolo di resistenza al taglio o di picco;  $\varphi_{vc}$  ⇒ angolo di resistenza al taglio a volume costante; Dr ⇒ densità relativa; OCR ⇒ grado di sovra-consolidazione; E<sub>25</sub> ⇒ modulo di elasticità operativo (Young); M ⇒ modulo di deformabilità; v ⇒ coefficiente di Poisson; c' = coesione drenata;  $\varphi'$  = angolo di resistenza al taglio drenato. (\* - I parametri drenati sono stati ricavati facendo riferimento a dati tabellati di terreni equivalenti a quelli presenti nel sito d'indagine dal manuale "Prove geotecniche in situ" di Alberto Bruschi, Dario Flaccovio Editore, e dal "Manuale del Geotecnico" di Maurizio Tanzini, Dario Flaccovio Editore).

Modello geologico locale: S1-S2  
(piano stradale)



Profilo stratigrafico longitudinale (piano stradale)

Per la definizione del "modello geologico e di quello geotecnico" relativamente ai terreni che saranno interessati dalle strutture di fondazione e del manufatto in progetto è stato realizzato il profilo geologico stratigrafico della sezione trasversale al muro P3-S2 (misure riferite al piano stradale testa "S2"):

Profondità	Descrizione del litotipo
0,0-0,4	MR – Materiale di riporto, materiale di riempimento, sottofondo stradale;
0,4-1,5	A – Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. 1,75-2,0 Kg/cmq;
1,5-4,5	B – Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. 1,5-2,0 Kg/cmq; SPT1 tra 3,0 e 3,45 N = 3/7/9
4,5-6,1	C – Limo sabbioso, grigio-azzurro, mediamente addensato;
6,1-12,0	D – Limo argilloso, grigio-azzurro, da consistente a molto consistente; P.P. 2,0-2,5 Kg/cmq; SPT2 tra 6,1 e 6,55 m dal p.c. N = 3/8/12; SPT3 tra 9,0 e 9,45 m dal p.c. N = 5/10/14;

Nel piezometro realizzato nel foro del sondaggio S2 è stato possibile misurare il livello piezometrico a -10,30 m dal p.c. il giorno 16/03/2023.

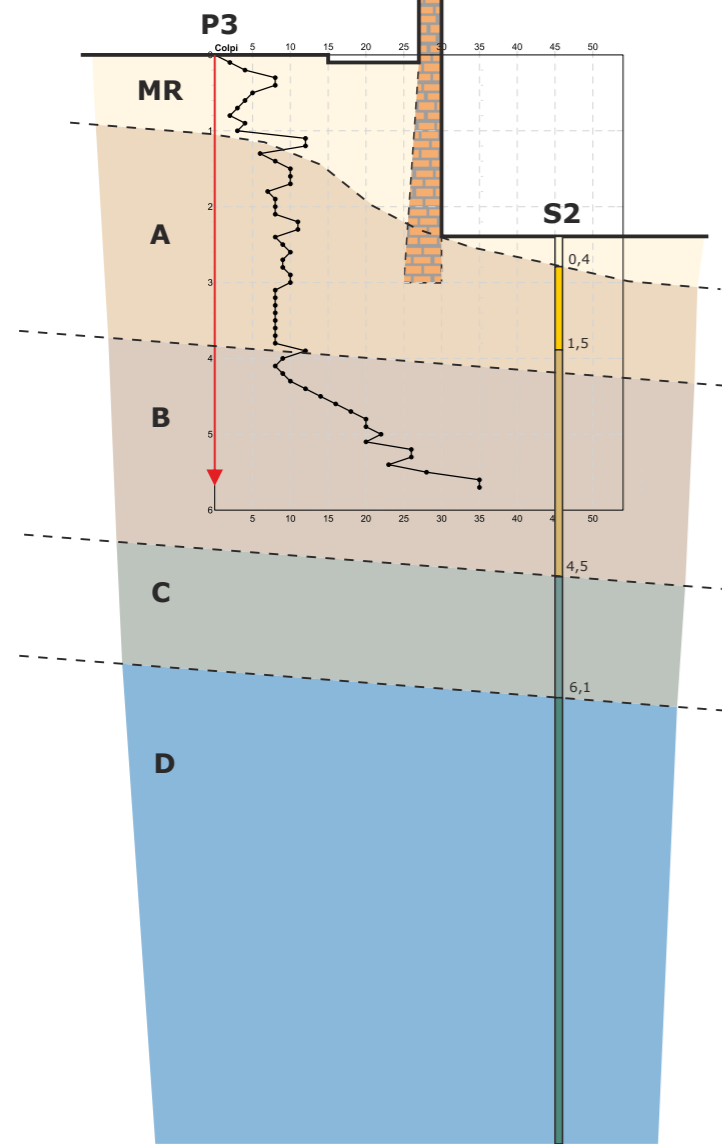
Schematizzazione litotecnica del sondaggio S2<sub>mar'23</sub>

Profondità	Strat.		Cu	$\rho$	$\nu_c$	C'	$\nu'$	Dr	OCR	E <sub>25</sub>	M	
m dal p.c.		kN/mc	kPa	°	°	KPa	°	%	-	Mpa	Mpa	-
0,0-0,4	MR	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4-1,5	A	18,9	-	27,5	24,1	5	26,0	22	-	12,2	14,3	0,279
1,5-4,5	B	19,7	90	-	-	19,7	27,5	-	6,0	-	7,8	0,45
4,5-6,1	C	20,5	-	35,5	30,7	5	30,0	50	-	14,6	20,6	0,283
6,1-12,0	D	20,7	125	-	-	20,0	26,0	-	6,0	-	12,5	0,45

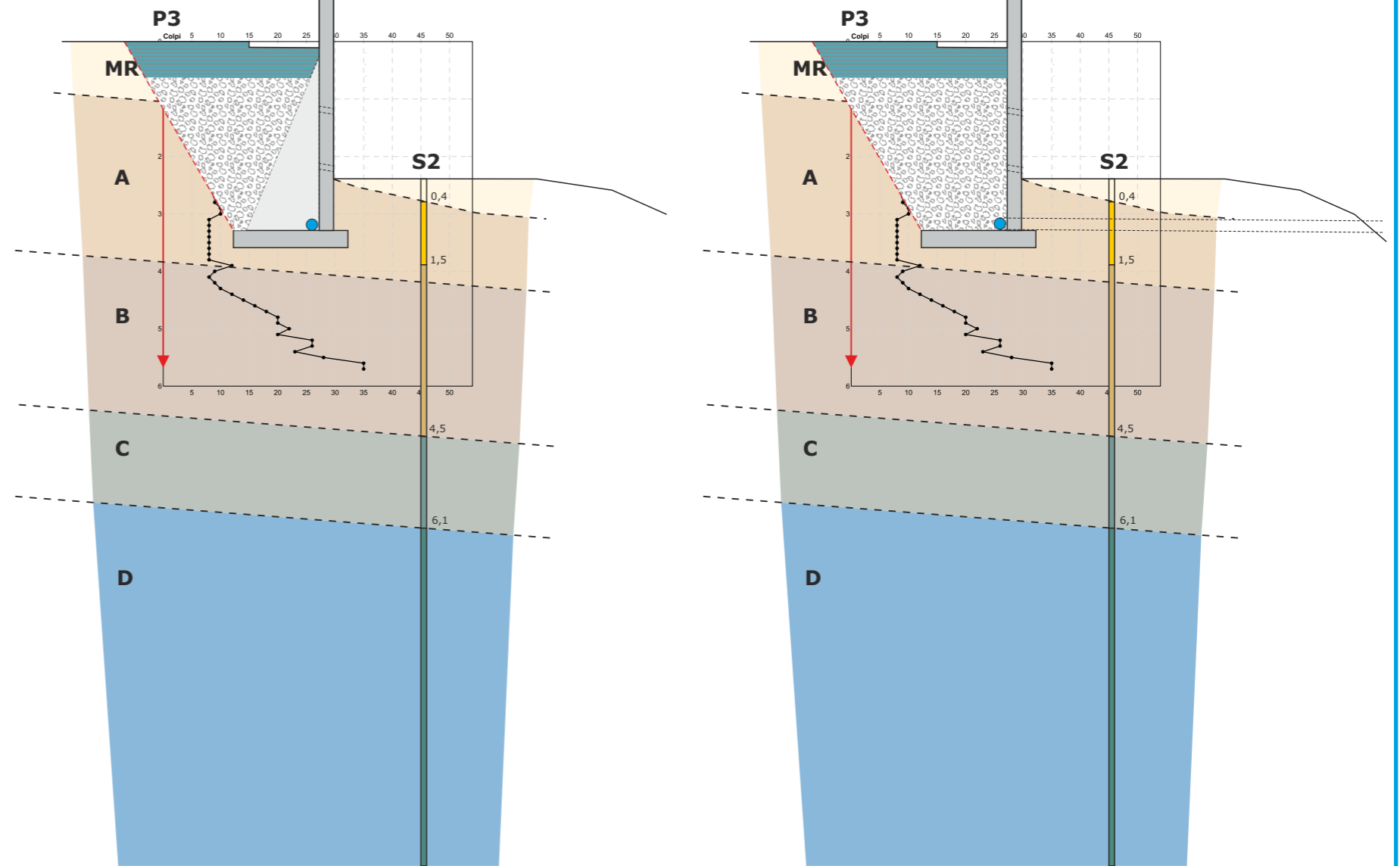
peso di volume; Cu coesione non drenata;  $\rho$  angolo di resistenza al taglio di picco;  $\nu_c$  angolo di resistenza al taglio a volume costante; Dr densità relativa; OCR grado di sovra-consolidazione; E<sub>25</sub> modulo di elasticità operativo (Young); M modulo di deformabilità;  $\nu'$  coefficiente di Poisson; c' = coesione drenata;  $\nu'$  = angolo di resistenza al taglio drenato.

Modello geologico e geotecnico di riferimento  
con parametri geotecnici caratteristici  
(1:100)

Schema stato attuale



Schema progettuale



Profilo stratigrafico trasversale (piano stradale)

Per la definizione del "modello geologico e di quello geotecnico" relativamente ai terreni che saranno interessati dalle strutture di fondazione e del manufatto in progetto è stato realizzato il profilo geologico stratigrafico della sezione trasversale al muro P3-S2 (misure riferite al piano stradale testa "S2"):

Profondità	Descrizione del litotipo
0,0-0,4	MR – Materiale di riporto, materiale di riempimento, sottofondo stradale;
0,4-1,5	A – Limo argillo-sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. 1,75-2,0 Kg/cmq;
1,5-4,5	B – Limo argilloso, debolmente sabbioso, marrone-avana, consistente; P.P. 1,5-2,0 Kg/cmq; SPT1 tra 3,0 e 3,45 N = 3/7/9
4,5-6,1	C – Limo sabbioso, grigio-azzurro, mediamente addensato;
6,1-12,0	D – Limo argilloso, grigio-azzurro, da consistente a molto consistente; P.P. 2,0-2,5 Kg/cmq; SPT2 tra 6,1 e 6,55 m dal p.c. N = 3/8/12; SPT3 tra 9,0 e 9,45 m dal p.c. N = 5/10/14;

Nel piezometro realizzato nel foro del sondaggio S2 è stato possibile misurare il livello piezometrico a -10,30 m dal p.c. il giorno 16/03/2023.

Schematizzazione litotecnica del sondaggio S2<sub>mar23</sub>

Profondità	Strat.		Cu	p	vc	C'	'	Dr	OCR	E <sub>25</sub>	M	
m dal p.c.		kN/mc	kPa	°	°	KPa	°	%	-	Mpa	Mpa	-
0,0-0,4	MR	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0,4-1,5	A	18,9	-	27,5	24,1	5	26,0	22	-	12,2	14,3	0,279
1,5-4,5	B	19,7	90	-	-	19,7	27,5	-	6,0	-	7,8	0,45
4,5-6,1	C	20,5	-	35,5	30,7	5	30,0	50	-	14,6	20,6	0,283
6,1-12,0	D	20,7	125	-	-	20,0	26,0	-	6,0	-	12,5	0,45

peso di volume; Cu coesione non drenata; p angolo di resistenza al taglio o di picco; vc angolo di resistenza al taglio a volume costante; Dr densità relativa; OCR grado di sovra-consolidazione; E<sub>25</sub> modulo di elasticità operativo (Young); M modulo di deformabilità; coefficiente di Poisson; c' = coesione drenata; ' = angolo di resistenza al taglio drenato.



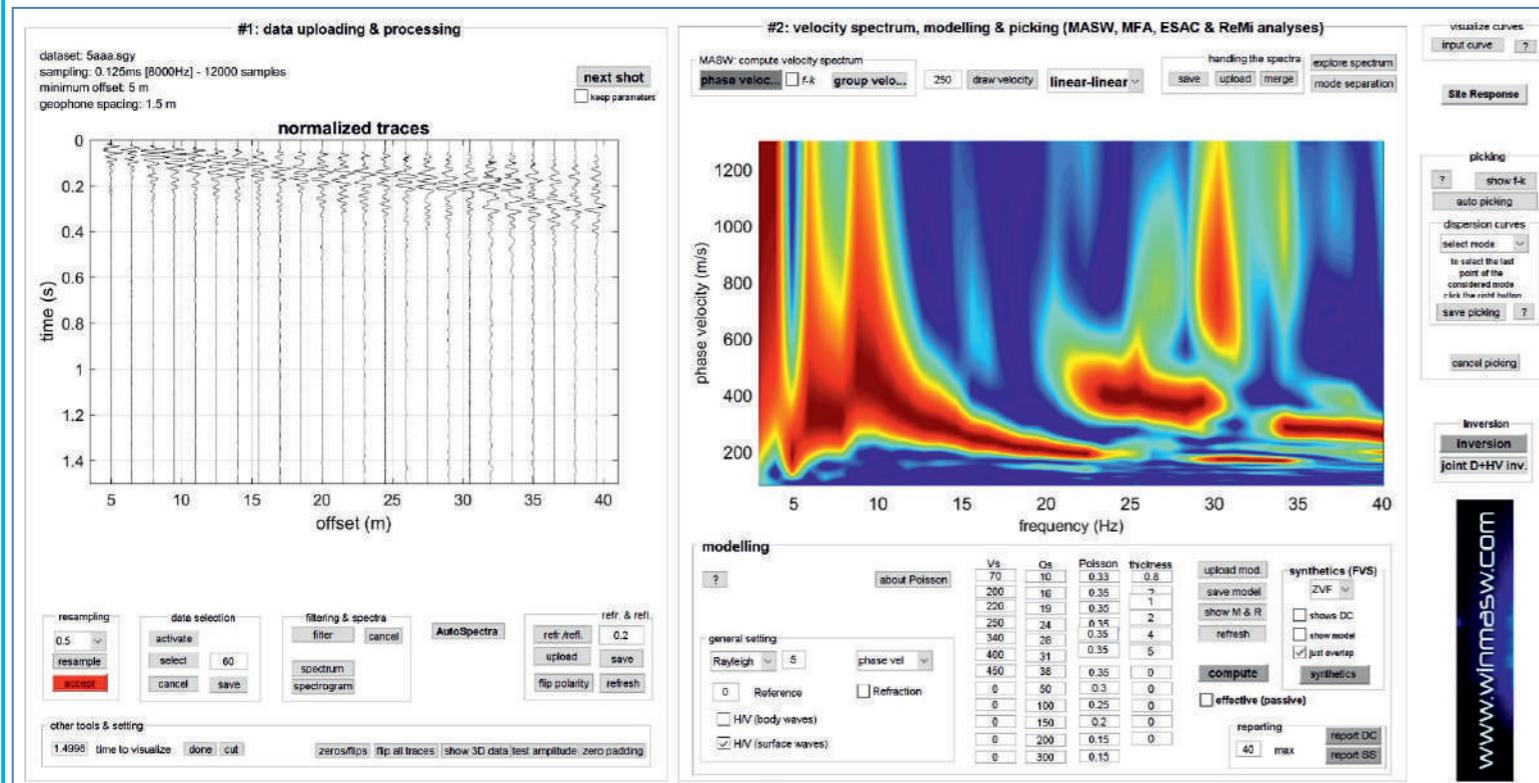


Figura 4: Sulla sinistra le tracce sismiche relative alla componenti ZVF e sulla destra i relativi spettri di velocità

Mean model

Vs (m/s): 70, 200, 220, 250, 340, 400, 450  
Thickness (m): 0.8, 2.0, 1.0, 2.0, 4.0, 5.0

Vs model (Vs30 & VsE: 326 326 m/s)

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	70	0.8000	0.8000
2	200	2	2.8000
3	220	1	3.8000
4	250	2	5.8000
5	340	4	9.8000
6	400	5	14.8000
7	450	0	0

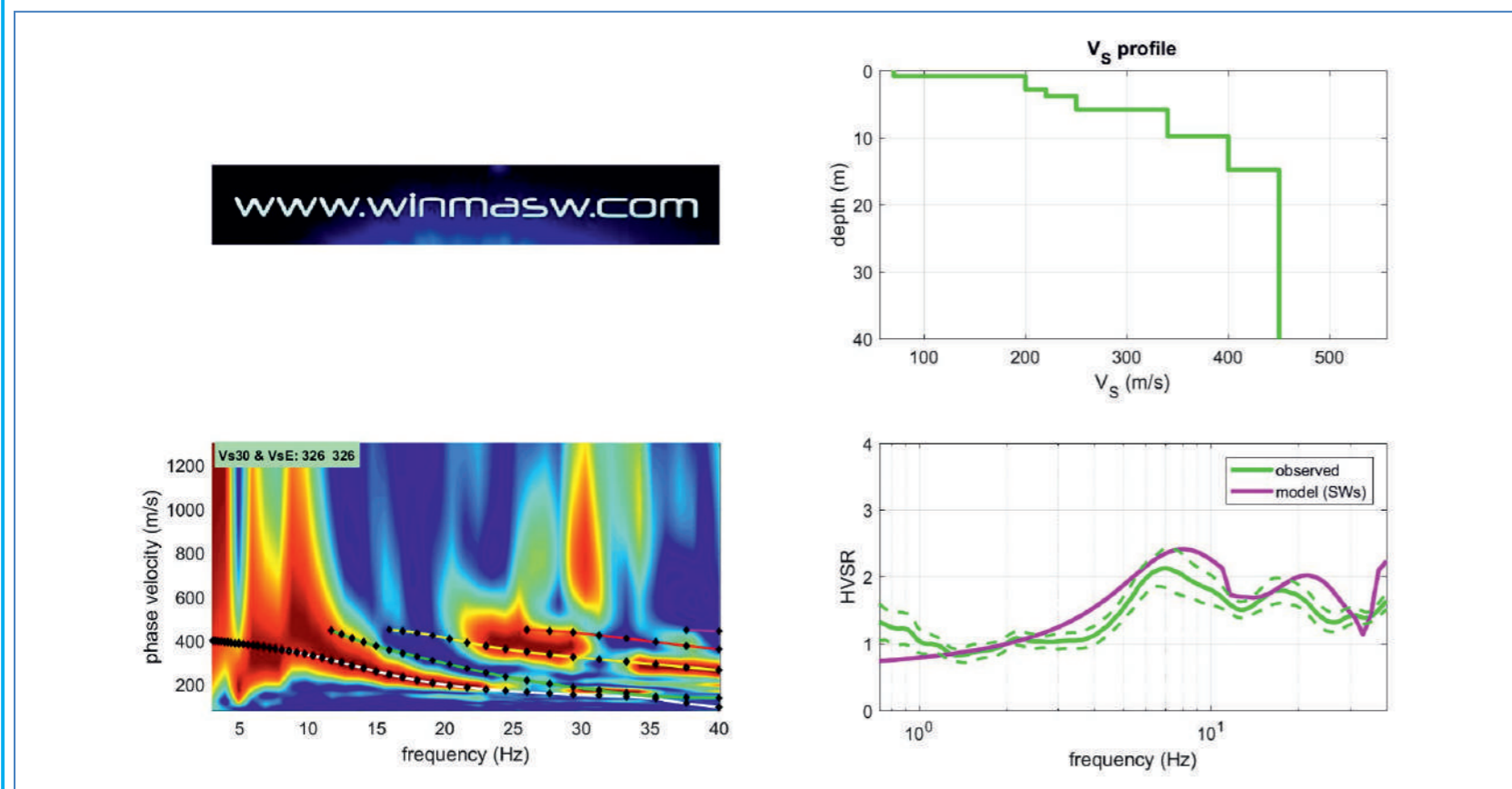


Figura 5 Sulla sinistra gli spettri di velocità relative alla componenti ZVF con in sovrapposizione le curve di dispersione per l'onda di Rayleigh; Sulla destra in basso in verde le misure HVSr effettuate in sito e in magenta la curva HVSr modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009); in alto il modello usato per la modellazione.

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.58 1.84 1.87 1.90 1.97 2.01 2.04  
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 8 74 90 118 228 322 413

Analyzing Phase velocities  
Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson  
Vp (m/s): 139 416 458 520 708 833 937  
Poisson: 0.33 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35 0.35

Vs30 and VsE (m/s): 326 326

GAIA Servizi S.r.l.  
Via Lenin, 132 - 56017 San Giuliano Terme (PI)  
Tel./Fax: 050 9910582 e-mail:info@gaiaservizi.com - p. IVA 01667250508

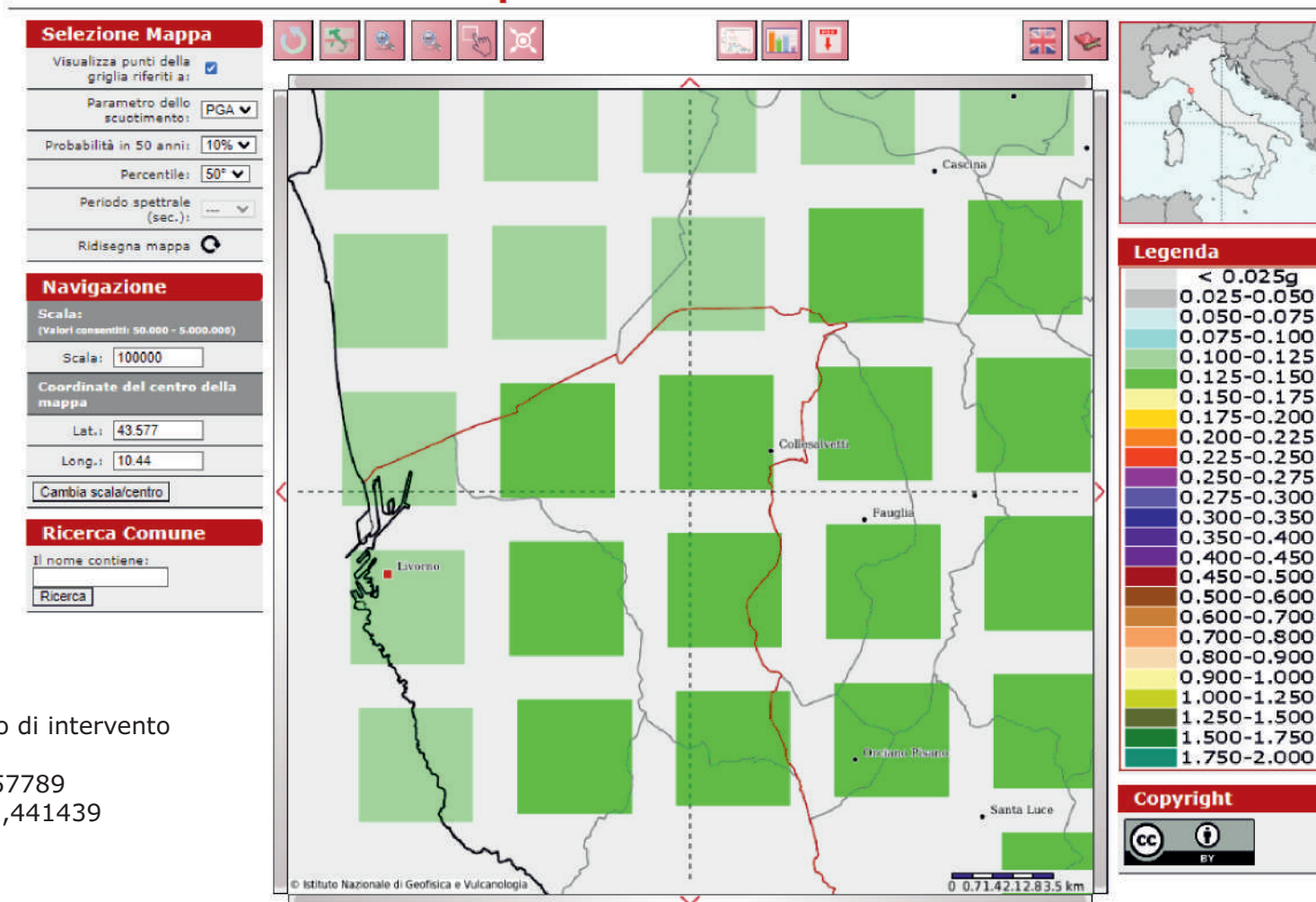
Via Volterrana, 427 - 56030 - Terricciola (PI)  
e-mail:m.montagnani@studigeologici.it

LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

Mappa di pericolosità sismica



Modello di pericolosità sismica MPS04-S1



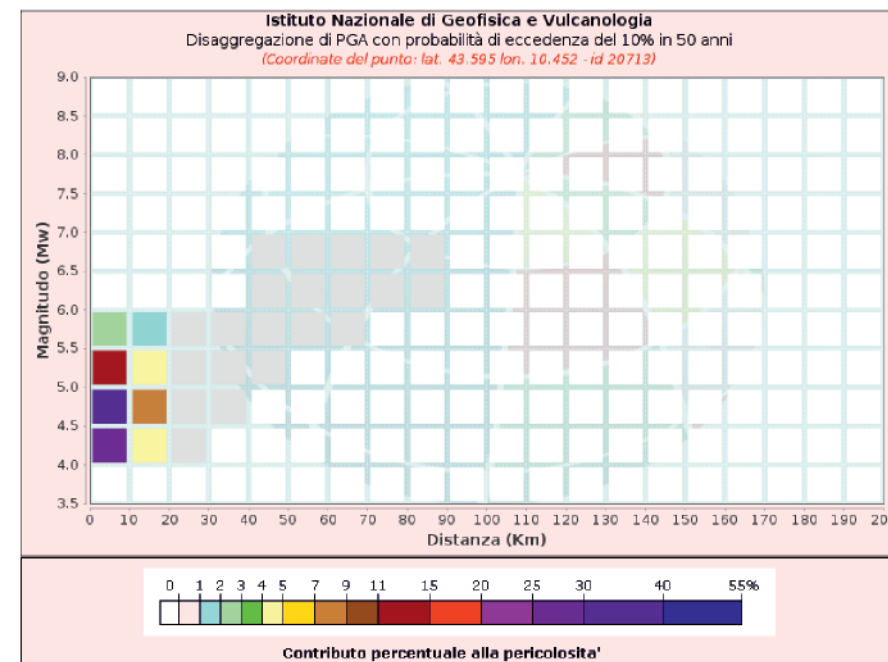
Coordinate sito di intervento  
(fuso ED50):  
latitudine: 43,57789  
longitudine: 10,441439

LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

### Disaggregazione del valore di ag(g) dalle Mappa di pericolosità sismica

Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.595 lon. 10.452 - id 20713)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5-4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5-6.0	6.0-6.5	6.5-7.0	7.0-7.5	7.5-8.0	8.0-8.5	8.5-9.0
0-10	0.0000	27.2000	36.4000	12.5000	2.8600	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	4.0600	8.3900	4.9700	1.5200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.0379	0.5270	0.7640	0.3180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0021	0.0996	0.0846	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0027	0.0393	0.0496	0.0111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0133	0.0709	0.0185	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0003	0.0340	0.0126	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0081	0.0057	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0006	0.0016	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.75	6.97	0.8



da: Progetto DPC-INGV-S1

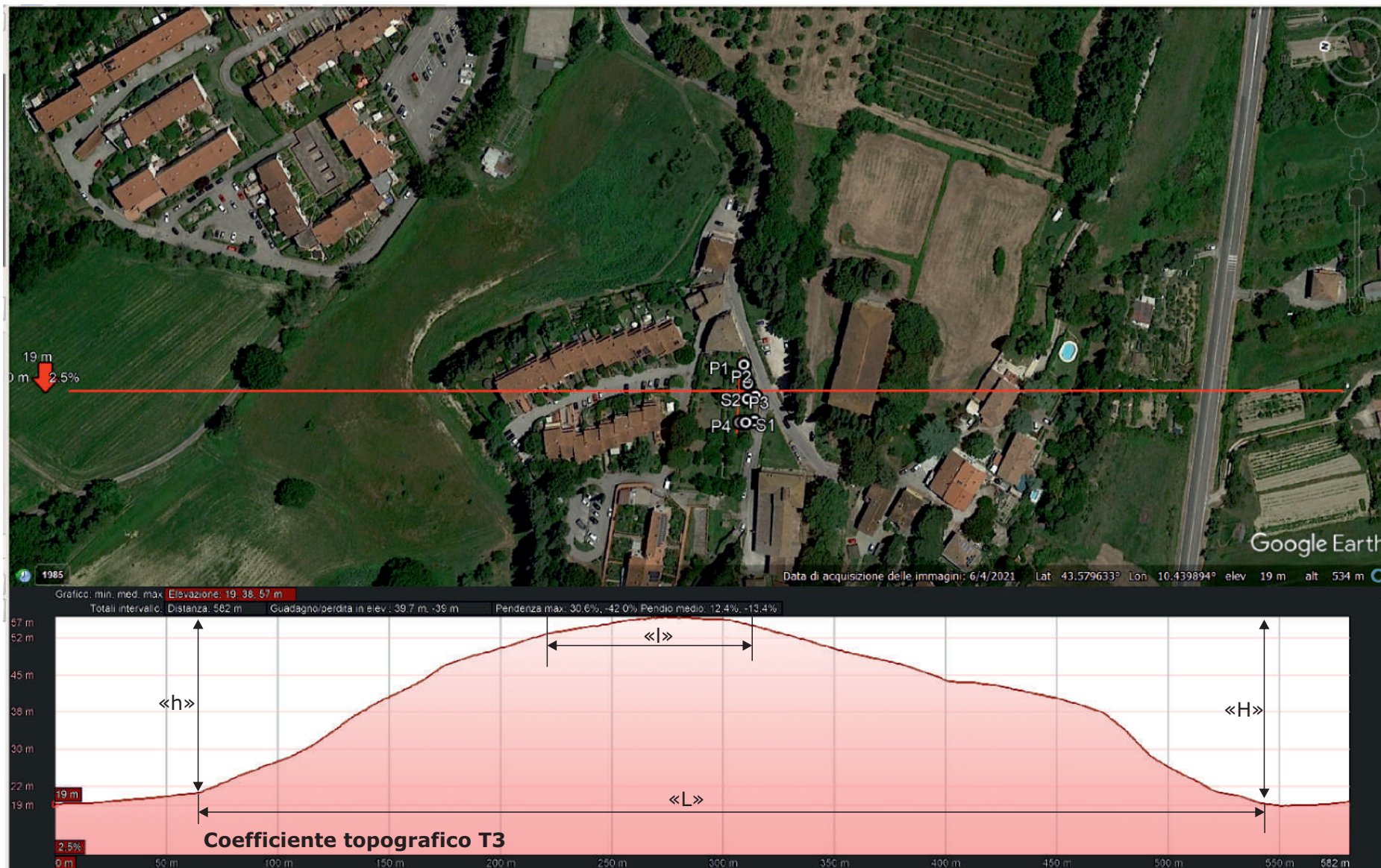
Coordinate sito di intervento  
(fuso ED50):  
latitudine:43,57789  
longitudine:10,441439

LAVORI DI RIPRISTINO DEL MURO DI CONTENIMENTO DEL GIARDINO STORICO DI NUGOLA - C.U.P. G32F22000370004: verifica delle caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dei terreni di fondazione sia del muro di contenimento che quelle dei terreni spingenti presenti a monte del paramento murario, elaborazione della relazione geologico-tecnica ai sensi del D.M. 17.01.2018

Mosè Montagnani  
GEOLOGO

Maggio 2023

Valutazione del coefficiente topografico  
(cresta morfologica)



## VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Committente: Amministrazione Comunale Collesalvetti  
 Riferimento: Campagna Indagini Geognostiche  
 Località: Nugola Prov.: PI  
 Oggetto: Nuovo muro giardino storico



### ANALISI E CONFRONTO FRA LE DIVERSE METODOLOGIE

Metodi che utilizzano	Fattore di sicurezza		Magnitudo di riferimento (M)	Indice del Potenziale di Liquefazione (IP <sub>L</sub> )	Rischio liquefazione Iwasaki et al. (1978)	
	Fs (Autore)	OPCM 3274				
Prove Penetrometriche dinamiche (SPT)						
Youd e Idriss (2001)	> 1,3	>1,25	6,14	0,000	Molto Basso	
Iwasaki et al. (1978;1984)	> 1,0	0,04 d <sub>50</sub> 0,6 0,6 < d <sub>50</sub> 1,5	>1,25	6,14	0,000	Molto Basso
Tokimatsu & Yoshimi (1983)	> 1,3 > 1,5	sabbie medio-dense sabbie medio-sciolte	>1,25	6,14	0,000	Molto Basso
Seed e Idriss (1982)	> 1,3	>1,25	6,14	0,000	Molto Basso	
Seed et al. (1985)	> 1,0	>1,25	6,14	0,000	Molto Basso	
Rauch (1998)	> 1,0	>1,25	6,14	0,000	Molto Basso	
Eurocodice 8	> 1,0	>1,25	6,14	0,000	Molto Basso	

## CALCOLO (N<sub>1</sub>)<sub>60</sub>

$$(N_{SPT} * C_N * C_E * C_B * C_R * C_S)$$



EPC LIBRI

Descrizione	1° strato	2° strato	3° strato	4° strato
Profondità prova	1,2	3	4,5	9
Spessore del singolo strato (m)	1,7	2,8	1,5	6
Profondità fine strato (m)	1,7	4,5	6	12
σ <sub>vo'</sub>	0,22	0,59	0,90	1,89
N <sub>SPT</sub>	7	16	23	24
CN	2,122	1,307	1,054	0,727
CE	1	1	1	1
CB	1	1	1	1
CR	0,75	0,75	0,85	0,95
CS	1	1	1	1
(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>	11,14	15,69	20,61	16,58
(N <sub>1</sub> ) <sub>60 CS</sub>	13,28	18,68	20,96	19,54

CONFRONTO METODI

STRATIGRAFIA 4

N.B.: Inserire i valori corrispondenti nelle celle colorate in giallo chiaro.

Verifica liquefazione sismica eseguita sulla colonna stratigrafica locale



EPC LIBRI

### VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(da prove dinamiche SPT)  
Metodo dell'Eurocodice 8

FORMULE:

$$CRR = \frac{a c N e N^2 g N^3}{1 b N d N^2 f N^3 h N^4}$$

$$CSR = \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF^4}$$

RISULTATI:

Spessore	1° Strato	2° Strato	3° Strato	4° Strato
	1,7	2,8	1,5	6

CRR	0,121	0,170	0,196	0,142
-----	-------	-------	-------	-------

M =	6,14	CSR	0,076	0,075	0,074	0,071
-----	------	-----	-------	-------	-------	-------

r <sub>d</sub>	0,99	0,98	0,97	0,93
----------------	------	------	------	------

1	< F <sub>s</sub> = CRR/CSR	M =	6,14	F <sub>s</sub>	1,594	2,271	2,659	1,992
					Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

1,25	< F <sub>s</sub> = CRR/CSR	M =	6,14	F <sub>s</sub> (O.P.C.M.)	1,594	2,271	2,659	1,992
					Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)	Molto Basso			
PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P <sub>L</sub> (%)]	0,07	0,02	0,01	0,03
SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta

Committente: Amministrazione Comunale Collesalvetti  
 Riferimento: Campagna Indagini Geognostiche  
 Località: Nugola Prov.: PI  
 Oggetto: Nuovo muro giardino storico

STRATIGRAFIA 4

### VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

(da prove dinamiche SPT)  
Metodo di Rauch (1998)

FORMULE:

$$CRR = \frac{1}{34} \cdot \frac{N_{1,60}}{N_{1,60}} \cdot \frac{N_{1,60}}{135} \cdot \frac{50}{10} \cdot \frac{1}{N_{1,60}} \cdot \frac{1}{45^2} \cdot \frac{1}{200}$$

$$CSR = \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma'_{v0}}{\sigma'_{v0}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF^4}$$

RISULTATI:

Spessore	1° Strato	2° Strato	3° Strato	4° Strato
	1,7	2,8	1,5	6

CRR	0,143	0,200	0,228	0,210
-----	-------	-------	-------	-------

M =	6,14	CSR	0,082	0,081	0,081	0,081
-----	------	-----	-------	-------	-------	-------

r <sub>d</sub>	0,99	0,98	0,97	0,93
----------------	------	------	------	------

1	< F <sub>s</sub> = CRR/CSR	M =	6,14	F <sub>s</sub>	1,745	2,466	2,814	2,591
					Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

1,25	< F <sub>s</sub> = CRR/CSR	M =	6,14	F <sub>s</sub> (O.P.C.M.)	1,745	2,466	2,814	2,591
					Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)	Molto Basso			
PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P <sub>L</sub> (%)]	0,05	0,02	0,01	0,01
SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta

Committente: Amministrazione Comunale Collesalvetti  
 Riferimento: Campagna Indagini Geognostiche  
 Località: Nugola Prov.: PI  
 Oggetto: Nuovo muro giardino storico

STRATIGRAFIA 4

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE					RISULTATI:					
(da prove dinamiche SPT)					1° Strato	2° Strato	3° Strato	4° Strato		
Metodo di Seed et al. (1985)					Spessore	1,7	2,8	1,5	6	
<b>FORMULE:</b>										
$CRR = \frac{a}{1} \frac{c}{b} \frac{N}{N} \frac{e}{d} \frac{N^2}{N^2} \frac{g}{f} \frac{N^3}{N^3} \frac{g}{h} \frac{N^3}{N^4}$					CRR	0,144	0,202	0,227	0,211	
$CSR = \frac{av}{1} \frac{1}{10} 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{1}{10} \frac{r_d}{MSF}$					M = 6,14	CSR	0,082	0,081	0,080	0,077
$r_d$						0,99	0,98	0,97	0,93	
1 < $F_s = CRR/CSR$					M = 6,14	$F_s$	1,752	2,490	2,843	2,736
							Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
1,25 < $F_s = CRR/CSR$					M = 6,14	$F_s (O.P.C.M.)$	1,752	2,490	2,843	2,736
							Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
<b>RISCHIO di Liquefazione</b> (Iwasaki et al., 1978)					<b>Molto Basso</b>					
<b>PROBABILITA' di Liquefazione</b> (Juang et al., 2001) [P <sub>L</sub> (%)]					0,05	0,02	0,01	0,01		
<b>SUSCETTIBILITA' di Liquefazione</b> (Juang et al., 2001)					Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta		
<b>Committente:</b> Amministrazione Comunale Collesalvetti					<b>STRATIGRAFIA 4</b>					
<b>Riferimento:</b> Campagna Indagini Geognostiche										
<b>Località:</b> Nugola <b>Prov.:</b> PI										
<b>Oggetto:</b> Nuovo muro giardino storico										

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE					RISULTATI:					
(da prove dinamiche SPT)					1° Strato	2° Strato	3° Strato	4° Strato		
Metodo di Iwasaki et al. (1978-1984)					Spessore	1,7	2,8	1,5	6	
<b>FORMULE:</b>										
$CRR = 0,0882 N_{SPT}^1 \sqrt{\frac{0,7}{v_{10}}} \log_{10} \frac{0,35}{d_{50}}$					A) per 0,04 <math>d_{50}</math> 0,6	0,555	1,297	1,707	2,203	
$CRR = 0,0882 N_{SPT}^1 \sqrt{\frac{0,7}{v_{10}}} 0,5$					B) per 0,60 <math>d_{50}</math> 1,5	0,625	1,367	1,839	2,273	
$CSR = \frac{av}{1} \frac{1}{10} 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{1}{10} \frac{r_d}{MSF}$					M = 6,14	CSR	0,082	0,081	0,080	0,077
$r_d$						0,99	0,98	0,97	0,93	
1,0 < $F_s = CRR/CSR$					M = 6,14	$F_s$	7,611	16,896	22,990	29,473
							Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
1,25 < $F_s = CRR/CSR$					M = 6,14	$F_s (O.P.C.M.)$	7,611	16,896	22,990	29,473
							Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
<b>RISCHIO di Liquefazione</b> (Iwasaki et al., 1978)					<b>Molto Basso</b>					
<b>PROBABILITA' di Liquefazione</b> (Juang et al., 2001) [P <sub>L</sub> (%)]					0,00	0,00	0,00	0,00		
<b>SUSCETTIBILITA' di Liquefazione</b> (Juang et al., 2001)					Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta		
<b>Committente:</b> Amministrazione Comunale Collesalvetti					<b>STRATIGRAFIA 4</b>					
<b>Riferimento:</b> Campagna Indagini Geognostiche										
<b>Località:</b> Nugola <b>Prov.:</b> PI										
<b>Oggetto:</b> Nuovo muro giardino storico										

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE					RISULTATI:				
(da prove dinamiche SPT)					1° Strato	2° Strato	3° Strato	4° Strato	
Metodo di Seed e Idriss (1982)					Spessore	1,7	2,8	1,5	6
FORMULE:					$N_a$	20,545	20,756	21,895	10,886
$N_a$	$N_{SPT}$	$\frac{1,7}{v_{vo}}$	$0,7$	$N_f$	$CRR$	0,228	0,231	0,243	0,121
$CRR = \frac{N_a}{90}$					$CSR$	0,082	0,081	0,080	0,077
$CSR$	$\frac{a_v}{v_{vo}}$	$0,65$	$\frac{a_{max}}{g}$	$\frac{1}{MSF}$	$r_d$	0,99	0,98	0,97	0,93
$r_d = 1 - 0,015 * z$					$F_s$	2,782	2,850	3,042	1,568
$1,3 < F_s = CRR/CSR$					$F_s$	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
$M = 6,14$					$F_s (O.P.C.M.)$	2,782	2,850	3,042	1,568
$1,25 < F_s = CRR/CSR$					$F_s (O.P.C.M.)$	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
$M = 6,14$					RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)				
					Molto Basso				
					PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P <sub>L</sub> (%)]				
					0,01	0,01	0,01	0,07	
					SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)				
					Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta	
Committente: Amministrazione Comunale Collesalvetti					STRATIGRAFIA 4				
Riferimento: Campagna Indagini Geognostiche									
Località: Nugola Prov.: PI									
Oggetto: Nuovo muro giardino storico									

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE					RISULTATI:				
(da prove dinamiche SPT)					1° Strato	2° Strato	3° Strato	4° Strato	
Metodo di Youd e Idriss (2001)					Spessore	1,7	2,8	1,5	6
FORMULE:					$N_a$	20,545	20,756	21,895	10,886
$N_a$	$N_{SPT}$	$\frac{1,7}{v_{vo}}$	$0,7$	$N_f$	$CRR$	0,228	0,231	0,243	0,121
$CRR = \frac{N_a}{90}$					$CSR$	0,082	0,081	0,080	0,077
$CSR$	$\frac{a_v}{v_{vo}}$	$0,65$	$\frac{a_{max}}{g}$	$\frac{1}{MSF}$	$r_d$	0,99	0,98	0,97	0,93
$r_d = 1 - 0,015 * z$					$F_s$	2,782	2,850	3,042	1,568
$1,3 < F_s = CRR/CSR$					$F_s$	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
$M = 6,14$					$F_s (O.P.C.M.)$	2,782	2,850	3,042	1,568
$1,25 < F_s = CRR/CSR$					$F_s (O.P.C.M.)$	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato
$M = 6,14$					RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)				
					Molto Basso				
					PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P <sub>L</sub> (%)]				
					0,01	0,01	0,01	0,07	
					SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)				
					Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta	Liquef. incerta	
Committente: Amministrazione Comunale Collesalvetti					STRATIGRAFIA 4				
Riferimento: Campagna Indagini Geognostiche									
Località: Nugola Prov.: PI									
Oggetto: Nuovo muro giardino storico									





EPC LIBRI

**VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

(da prove dinamiche SPT)  
Metodo di Seed e Idriss (1982)

FORMULE:

RISULTATI:

		Spessore	1° Strato	2° Strato	3° Strato	
$N_a$	$N_{SPT} \frac{1,7}{v_{90}^{0,7}}$		4	2,4	2,6	
		$N_a$	43,057	16,173	19,798	
	$CRR \frac{N_a}{90}$		CRR	0,478	0,180	0,220
		M = 6,14	CSR	0,082	0,081	0,079
	$CSR \frac{a_v}{v_{90}} 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{v_{90}}{r_d} r_d \frac{1}{MSF}$			0,98	0,96	0,94
1,3	< $F_s = CRR/CSR$	M = 6,14	$F_s$	5,809	2,225	2,779
				Verificato	Verificato	Verificato
1,25	< $F_s = CRR/CSR$	M = 6,14	$F_s (O.P.C.M.)$	5,809	2,225	2,779
				Verificato	Verificato	Verificato
RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)			Molto Basso			
PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P <sub>L</sub> (%)]			0,00			
SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)			Liquef. incerta			

Committente: Sig. Palmieri  
 Riferimento: Campagna Indagini geognostiche  
 Località: Via Lemmi - Chientina - Terricciola Prov.: PI  
 Oggetto: Nuovo manufatto edilizio

STRATIGRAFIA 3

**VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE**

(da prove dinamiche SPT)  
Metodo di Youd e Idriss (2001)

FORMULE:

RISULTATI:

		Spessore	1° Strato	2° Strato	3° Strato	
$N_a$	$N_{SPT} \frac{1,7}{v_{90}^{0,7}}$		4	2,4	2,6	
		$N_a$	43,057	16,173	19,798	
	$CRR \frac{N_a}{90}$		CRR	0,478	0,180	0,220
		M = 6,14	CSR	0,082	0,081	0,079
	$r_d$			0,98	0,96	0,94
1,3	< $F_s = CRR/CSR$	M = 6,14	$F_s$	5,809	2,225	2,779
				Verificato	Verificato	Verificato
1,25	< $F_s = CRR/CSR$	M = 6,14	$F_s (O.P.C.M.)$	5,809	2,225	2,779
				Verificato	Verificato	Verificato
RISCHIO di Liquefazione (Iwasaki et al., 1978)			Molto Basso			
PROBABILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001) [P <sub>L</sub> (%)]			0,00			
SUSCETTIBILITA' di Liquefazione (Juang et al., 2001)			Liquef. incerta			

Committente: Sig. Palmieri  
 Riferimento: Campagna Indagini geognostiche  
 Località: Via Lemmi - Chientina - Terricciola Prov.: PI  
 Oggetto: Nuovo manufatto edilizio

STRATIGRAFIA 3