



COMUNE DI LUCCA



UNI EN ISO 9001:2015
UNI EN ISO 14001:2015
UNI ISO 45001:2018
UNI ISO 37001:2016



PROGETTO DEFINITIVO

OGGETTO:

Estensione rete fognatura Zona Oltreserchio loc. S. Alessio
II LOTTO FUNZIONALE - Carignano

Rev.	Data	Descrizione / Motivo della revisione	Redatto	Controllato / Approvato
0	Giugno 2022	Emissione Progetto DEFINITIVO	Mesiti	Ferri/Landini

ELABORATO:

R.G.1.a

RELAZIONE GEOLOGICA DI VARIANTE
URBANISTICA

DATA:

Giugno 2022

SCALA:



DIRETTORE TECNICO

Ing. Giovanni Simonelli

PROGETTISTI

Ing. Manuela Bonsignori

COLLABORATORI TECNICI

GEOLOGIA

Dott. Geol. Filippo Landini

Dott. Geol. Carlo Ferri

Dott. Geol. Flaminia Mesiti

PATRIMONIO

Geom. Andrea Patriarchi

Dott. Per Agr. Davide Moretti

Geom. Andrea Bernardini

CONSULENTI TECNICI

RETI

Ing. Luisa Braccesi

SICUREZZA

Ing. Mihaela Dragan



 INGEGNERIE TOSCANE	RELAZIONE GEOLOGICA VARIANTE URBANISTICA II LOTTO FUNZIONALE RELATIVO ALL'ESTENSIONE DELLA RETE FOGNARIA ZONA OLTRESEBCHIO - LOC. S. ALESSIO - CARIGNANO, IN COMUNE DI LUCCA (LU).	Rev.00	pagina 1 di 49
--	---	--------	------------------------------

Sommaro

1. INQUADRAMENTO INTRODUTTIVO	2
1.1. PREMESSA	2
1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	2
1.3. UBICAZIONE GEOGRAFICA	3
1.4. VARIAZIONE DELLA DESTINAZIONE D'USO DEL SUOLO	4
1.5. DESCRIZIONE INTERVENTO IN PROGETTO	8
VINCOLI E SALVAGUARDIE.....	10
2. ASSETTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA DI VARIANTE	
12	
2.1. INDAGINI A DISPOSIZIONE	18
3. CLASSI DI PERICOLOSITÀ NELL'AREA DI VARIANTE.....	31
3.1. PERICOLOSITÀ GEOLOGICA	31
PERICOLOSITA' DA FRANA SECONDO IL PAI	35
3.2. PERICOLOSITÀ IDRAULICA.....	36
3.3. PERICOLOSITÀ SISMICA	42
4. VALUTAZIONI SPECIFICHE	45
CRITERI DI FATTIBILITÀ DELL'AREA IN VARIANTE URBANISTICA.....	48

 INGEGNERIE TOSCANE	RELAZIONE GEOLOGICA VARIANTE URBANISTICA II LOTTO FUNZIONALE RELATIVO ALL'ESTENSIONE DELLA RETE FOGNARIA ZONA OLTRESERCHIO - LOC. S. ALESSIO - CARIGNANO, IN COMUNE DI LUCCA (LU).	Rev.00	pagina 2 di 49
--	---	--------	------------------------------

1. INQUADRAMENTO INTRODUTTIVO

1.1. PREMESSA

La presente indagine riguarda, sotto gli aspetti geologici, idraulici e sismici, la definizione della fattibilità di una variante al Regolamento Urbanistico comunale di Lucca relativa al Progetto definitivo del II lotto funzionale per l'estensione della rete fognaria zona Oltreserchio - Loc. S. Alessio - Carignano, in Comune di Lucca (LU). Il progetto prevede, oltre alla posa di condotte fognarie, la realizzazione della nuova stazione di sollevamento, che sarà ubicata in Fraz. S. Alessio, poco a SE di Villa Guidi; tale area sarà soggetta a variante urbanistica.

Il quadro conoscitivo della presente indagine è costituito dai dati geologico-idraulici degli Strumenti Urbanistici comunali vigenti e dalle cartografie di P.A.I. e P.G.R.A. dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Al termine dell'indagine è stato possibile verificare la fattibilità della variante in funzione dei diversi aspetti che riguardano l'assetto geologico-idraulico delineato dai dati oggi a disposizione.

1.2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Il Piano Operativo del Comune di Lucca, adottato con deliberazione n. 103 del 26/10/2021
- Piano Strutturale del Comune di Lucca, approvato con Delibera CC 39 del. 24/04/2017
- DPGR n. 5/R/2020 ed entrato in vigore il 6 aprile 2020 regolamento regionale di attuazione dell'art. 104 della LR n.65/2014;
- L. R. n. 65 del 10/11/2014 "Norme per il governo del territorio";
- Delibera CIP n.15 del 18 novembre 2019: "Adozione del Piano di bacino, Stralcio Assetto Idrogeologico del fiume Serchio (P.A.I.) - 2° aggiornamento, per la parte relativa alla pericolosità geomorfologica e da frana";
- D.P.C.M. 27 ottobre 2016: "Approvazione del Piano di gestione del rischio di alluvioni del distretto idrografico dell'Appennino settentrionale." (G.U. n. 28 S.g. del 32-2017);
- Delibera n. 26 del 20 dicembre 2021, adozione del primo aggiornamento del PGRA (2021-2027).
- L.R. 24 luglio 2018 n. 41: "Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010 n. 49 ...";
- D.G.R.T. n° 421 del 26/05/2014 – Aggiornamento classificazione sismica Regione Toscana;
- R.D. n° 3267 del 30/12/1923 - L.R. 39/2000 in materia di vincolo idrogeologico.

 INGEGNERIE TOSCANE	RELAZIONE GEOLOGICA VARIANTE URBANISTICA II LOTTO FUNZIONALE RELATIVO ALL'ESTENSIONE DELLA RETE FOGNARIA ZONA OLTRESERCHIO - LOC. S. ALESSIO - CARIGNANO, IN COMUNE DI LUCCA (LU).	Rev.00	pagina 3 di 49
--	---	--------	------------------------------

1.3. UBICAZIONE GEOGRAFICA

L'area di variante è collocata nel territorio comunale di Lucca (LU), nella Frazione di S. Alessio in sponda destra rispetto al F. Serchio che dista circa 800 m dall'area di variante. L'area ricade nel Foglio 261100 in scala 1:10000 e nel foglio 20f62 in scala 1:2000 della Cartografia Tecnica Regionale reperibili sul sito della Regione Toscana.

La realizzazione della nuova stazione di sollevamento sarà ubicata nell'area a sud-est di Villa Guidi, il Loc. S. Alessio, ad una quota di circa 16.3 m s.l.m. (dato ricavato da DTM 1x1 elem. 20f62).



Figura 1 - Ubicazione area di variante, immagine estratta da Google Earth 2022.

1.4. VARIAZIONE DELLA DESTINAZIONE D'USO DEL SUOLO

Il progetto di sistemazione fognaria prevede la realizzazione di un impianto di sollevamento, che a seguito della trasposizione della relativa area sull'estratto di mappa catastale e il P.O.C. (Piano Operativo Comunale) vigente, risulta con la seguente destinazione d'uso (Fig. 2a):

- Impianti tecnici e per servizi territoriali (G1) (Figura 2a), per cui, secondo il P.O.C. stesso, la zona è conforme alla destinazione d'uso del suolo per la realizzazione dell'opera oggetto di studio, essendo area ad uso agricolo secondo il regolamento comunale.

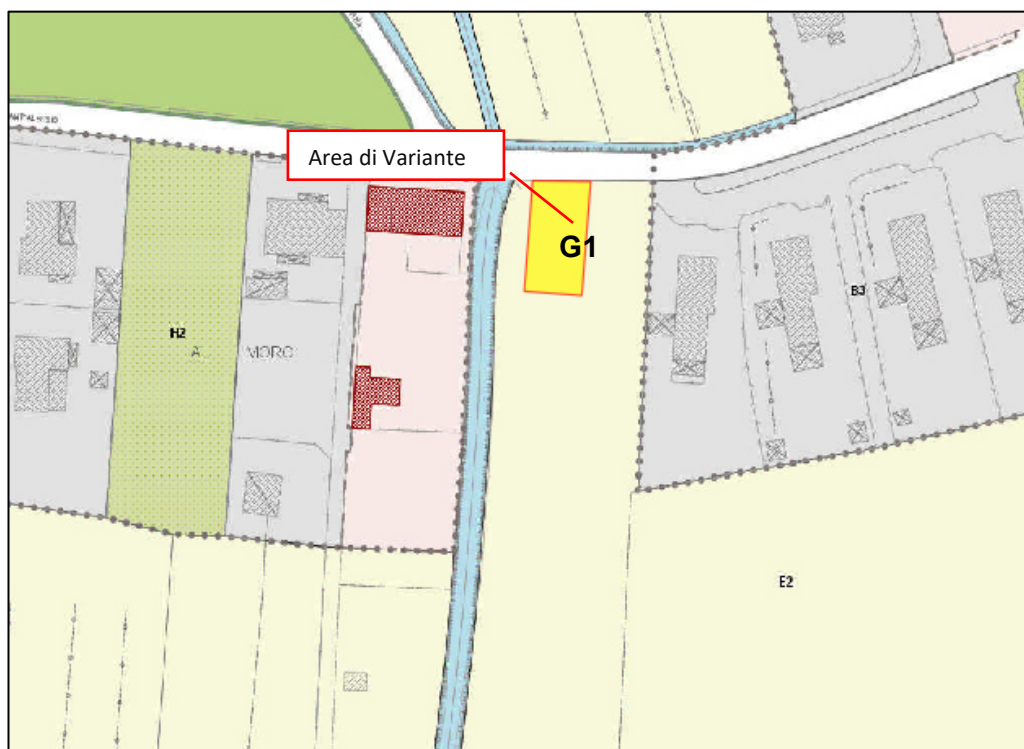


Figura 2a - Ubicazione area di variante (riquadro giallo). Sovrapposto su estratto da Piattaforma del Piano operativo di Lucca (QP.I – QP.II) Quadro generale e di dettaglio delle previsioni: Città, centri e nuclei storici - Stato di progetto.

Secondo il Regolamento Urbanistico vigente, tuttavia, la medesima area di interesse ricade in area insediativa residenziale. Secondo gli articoli che definiscono e regolamentano la destinazione d'uso del suolo per il R.U. vigente stesso, risulta necessaria la richiesta in variante urbanistica. Pertanto, dalle figg. 2b e 2c, che rappresentano lo stato attuale e stato di progetto del manufatto di sollevamento sovrapposto alla carta catastale del Regolamento Urbanistico, viene indicato che, nello stato di progetto, l'area di interesse rientra tra quelle "per impianti tecnologici".

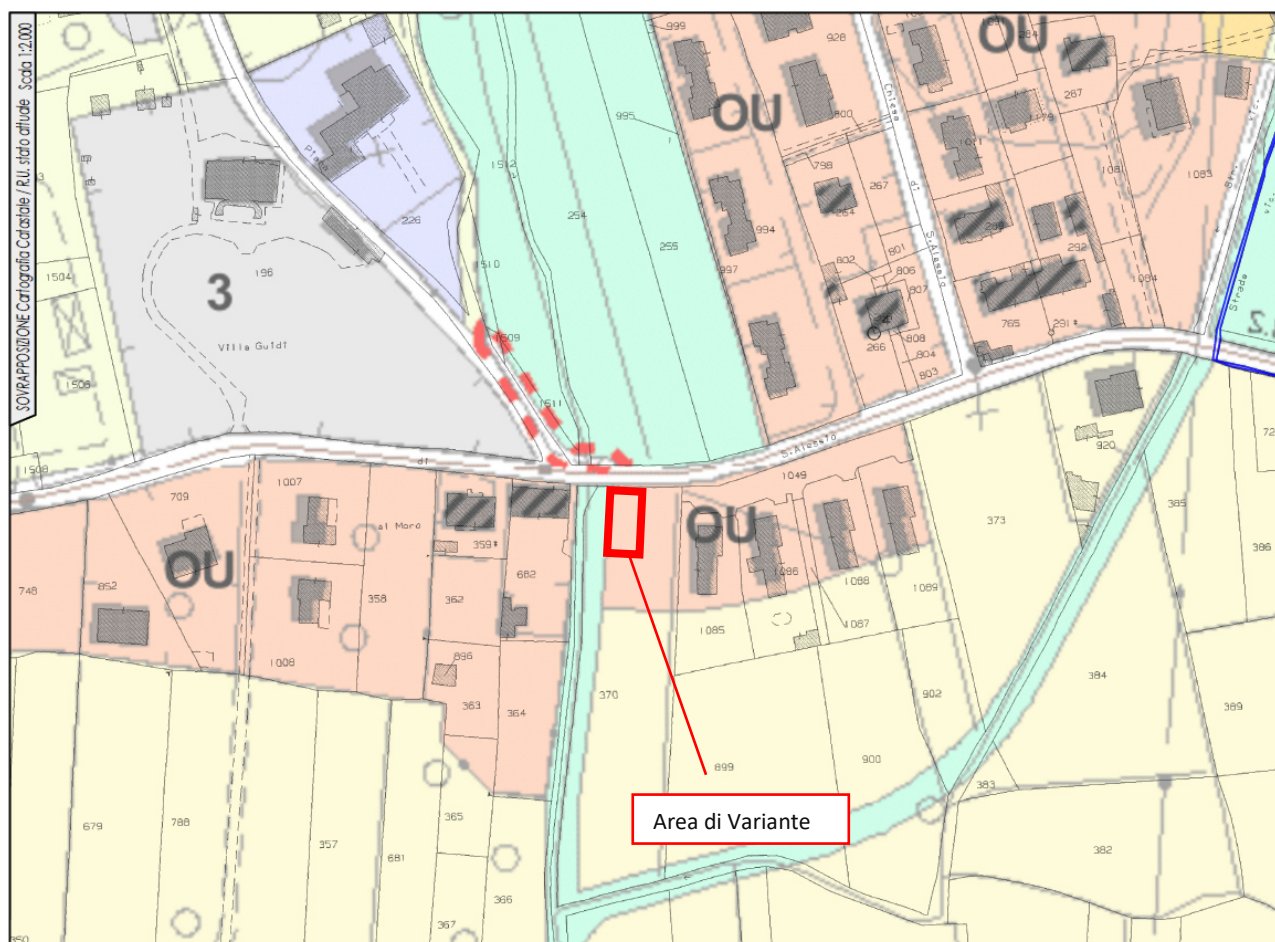


Figura 2b - Ubicazione area di variante (riquadro rosso). Sovrapposto su estratto da carta catastale del Regolamento Urbanistico - Stato attuale.

AREE INSEDIATIVE

	AREE RESIDENZIALI (UI art. 105) (UR art. 106) (PM art. 107) (PL art. 108) (VU art. 109) (CU - OU - QU - DU art. 110)	
	AREE RESIDENZIALI IN TERRITORIO AGRICOLO (VC, OC, CC, QC, PP, SP art. 111)	
	AREE PRODUTTIVE RICONVERTIBILI (UI art. 113) (UR art. 114) (PM art. 115)	
	AREE PRODUTTIVE ISOLATE (P art. 116) (V - O - C - Q art. 117) (D art. 118)	
	AREE PRODUTTIVE CONCENTRATE (UR art. 119) (PM art. 120)	
	AREA EX STABILIMENTO BERTOLLI	art. 121
	AREE PRODUTTIVE PER LA DELOCALIZZAZIONE	art. 122
	AREE TERZIARIE 1 - commerciali art. 124 3 - ricettive art. 126 2 - direzionali art. 123 4 - distributori art. 125	
	AREE A PARCO E PER IL GIOCO	art. 128
	AREE PER LO SPORT	art. 128
	ATTREZZATURE DI INTERESSE LOCALE (PC = art. 9.3.2.4.10)	art. 130
	ATTREZZATURE DI INTERESSE GENERALE	art. 131
	ATTREZZATURE FERROVIARIE	art. 131
	AREE PER PARCHEGGI PUBBLICI O DI USO PUBBLICO	art. 129
	FASCE DI RISPETTO STRADALE	art. 133
	AREE CIMITERIALI	art. 135
	LIMITE DI RISPETTO DEI CIMITERI	art. 135
	AREE PER IMPIANTI TECNOLOGICI	art. 136

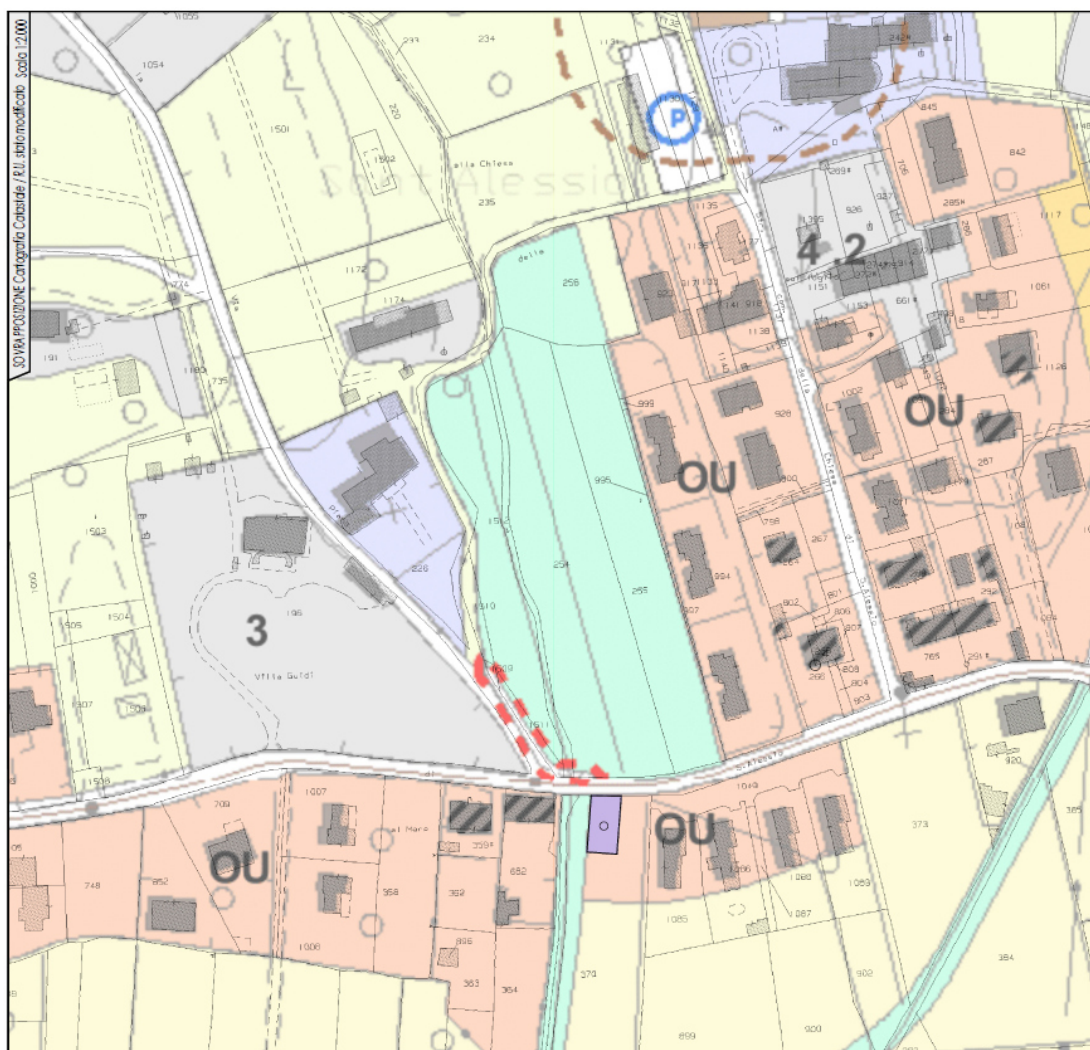


Figura 2c - Ubicazione area di variante (riquadro rosso). Sovrapposto su estratto da carta catastale del Regolamento Urbanistico - Stato di progetto.

AREE INSEDIATIVE

	AREE RESIDENZIALI (UI art. 105) (UR art. 106) (PM art. 107) (PL art. 108) (VU art. 109) (CU - OU - QU - DU art. 110)	
	AREE RESIDENZIALI IN TERRITORIO AGRICOLO (VC, OC, CC, QC, PP, SP art. 111)	
	AREE PRODUTTIVE RICONVERTIBILI (UI art. 113) (UR art. 114) (PM art. 115)	
	AREE PRODUTTIVE ISOLATE (P art. 116) (V - O - C - Q art. 117) (D art. 118)	
	AREE PRODUTTIVE CONCENTRATE (UR art. 119) (PM art. 120)	
	AREA EX STABILIMENTO BERTOLLI	art. 121
	AREE PRODUTTIVE PER LA DELOCALIZZAZIONE	art. 122
	AREE TERZIARIE 1 - commerciali art. 124 3 - ricettive art. 124 2 - direzionali art. 123 4 - distributori art. 125	
	AREE A PARCO E PER IL GIOCO	art. 128
	AREE PER LO SPORT	art. 128
	ATTREZZATURE DI INTERESSE LOCALE (PC = art. 9.3.2.4.10)	art. 130
	ATTREZZATURE DI INTERESSE GENERALE	art. 131
	ATTREZZATURE FERROVIARIE	art. 131
	AREE PER PARCHEGGI PUBBLICI O DI USO PUBBLICO	art. 129
	FASCE DI RISPETTO STRADALE	art. 133
	AREE CIMITERIALI	art. 135
	LIMITE DI RISPETTO DEI CIMITERI	art. 135
	AREE PER IMPIANTI TECNOLOGICI	art. 136

1.5. DESCRIZIONE INTERVENTO IN PROGETTO

Gli interventi di progetto previsti nell'area di variante sono:

- realizzazione del nuovo sollevamento S8 (identificato come sollevamento S8), mediante scavi a sezione obbligata, strutture in c.a. con ripristini delle aree a verde o delle eventuali essenze arboree che occorresse rimuovere in fase di esecuzione dei lavori. Tale impianto sarà ubicato in un'area adiacente alla viabilità lungo la quale verrà posata la condotta, tale da garantire un accesso semplice all'impianto da parte degli operatori, da avere la possibilità di disporre al meglio quanto necessario (carpenteria, quadri elettrici, etc.) e da poter eseguire interventi di manutenzione in area non soggetta al traffico stradale.

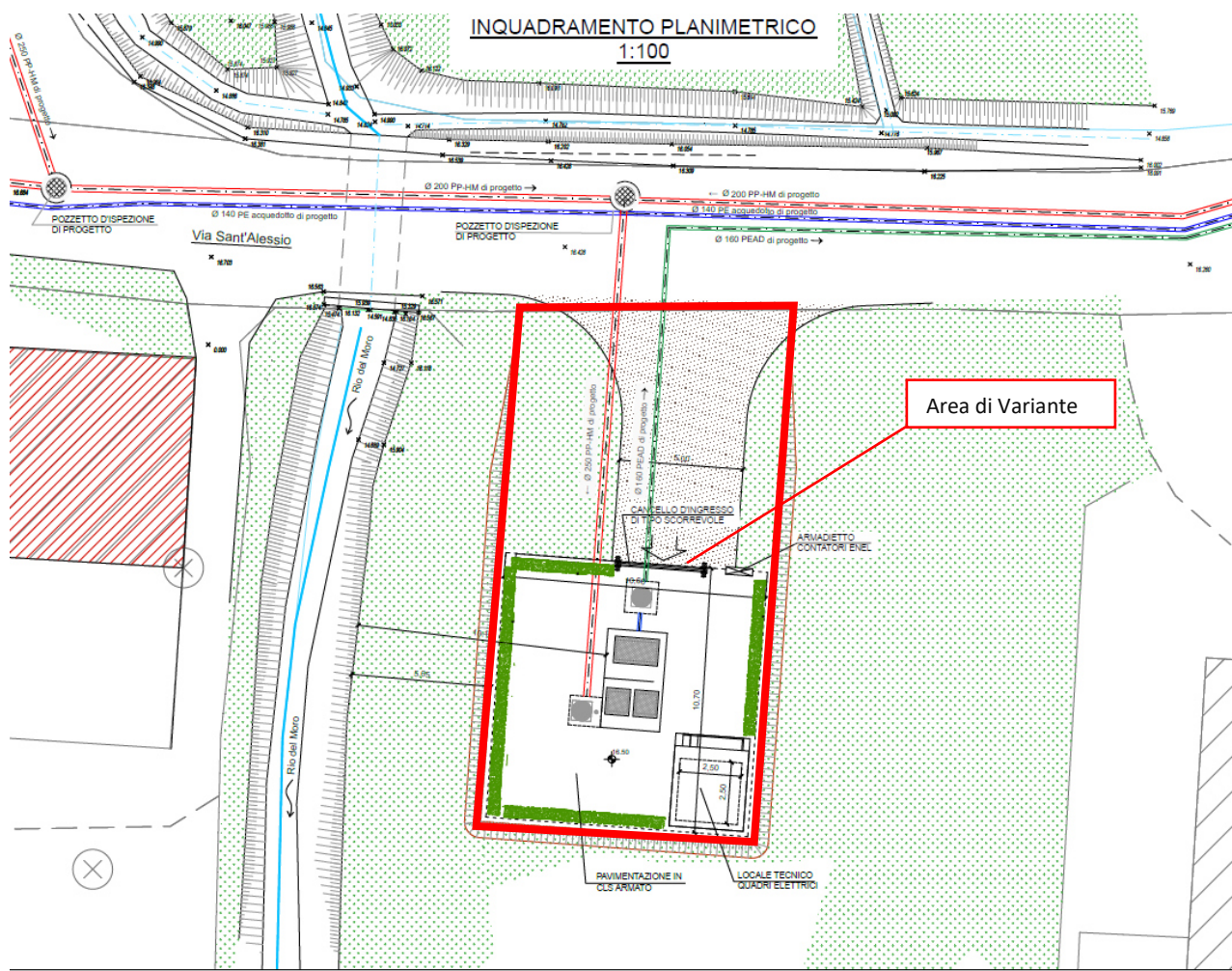


Figura 3 - Planimetria di progetto dell'area di variante estratto tavola T.ID.5.

VINCOLI E SALVAGUARDIE

Secondo la cartografia del Piano di Indirizzo Territoriale con valenza di piano paesaggistico, reperibile sul sito della Regione Toscana (Fig. 4), l'area oggetto di variante non ricade in aree tutelate per legge ai sensi dell'art. 142 D. Lgs. 42/2004.

Inoltre, l'area di variante non ricade in zone sottoposte a Vincolo Idrogeologico (R.D. 3267/1923, L.R. 39/00 – D.P.G.R. 48/R del 08/08/2003 e s.m.i.).

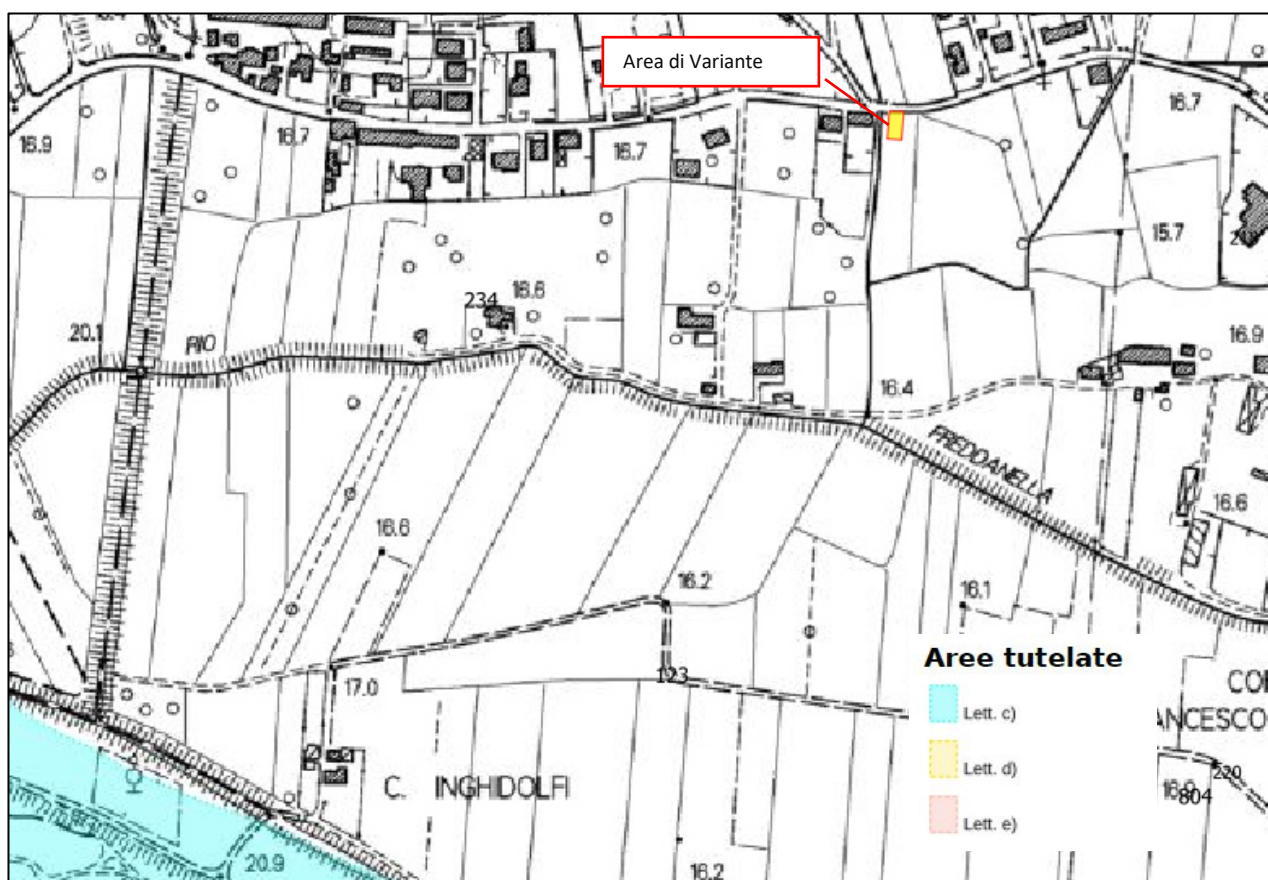


Figura 4 - Estratto Cartografia del PIT con valenza di Piano Paesaggistico (Regione Toscana)

Per quel che riguarda i vincoli ambientali, il tracciato **non** ricade tra le aree vincolate (aree di rispetto dei punti di prelievo ad uso acquedottistico – v. Fig. 5).

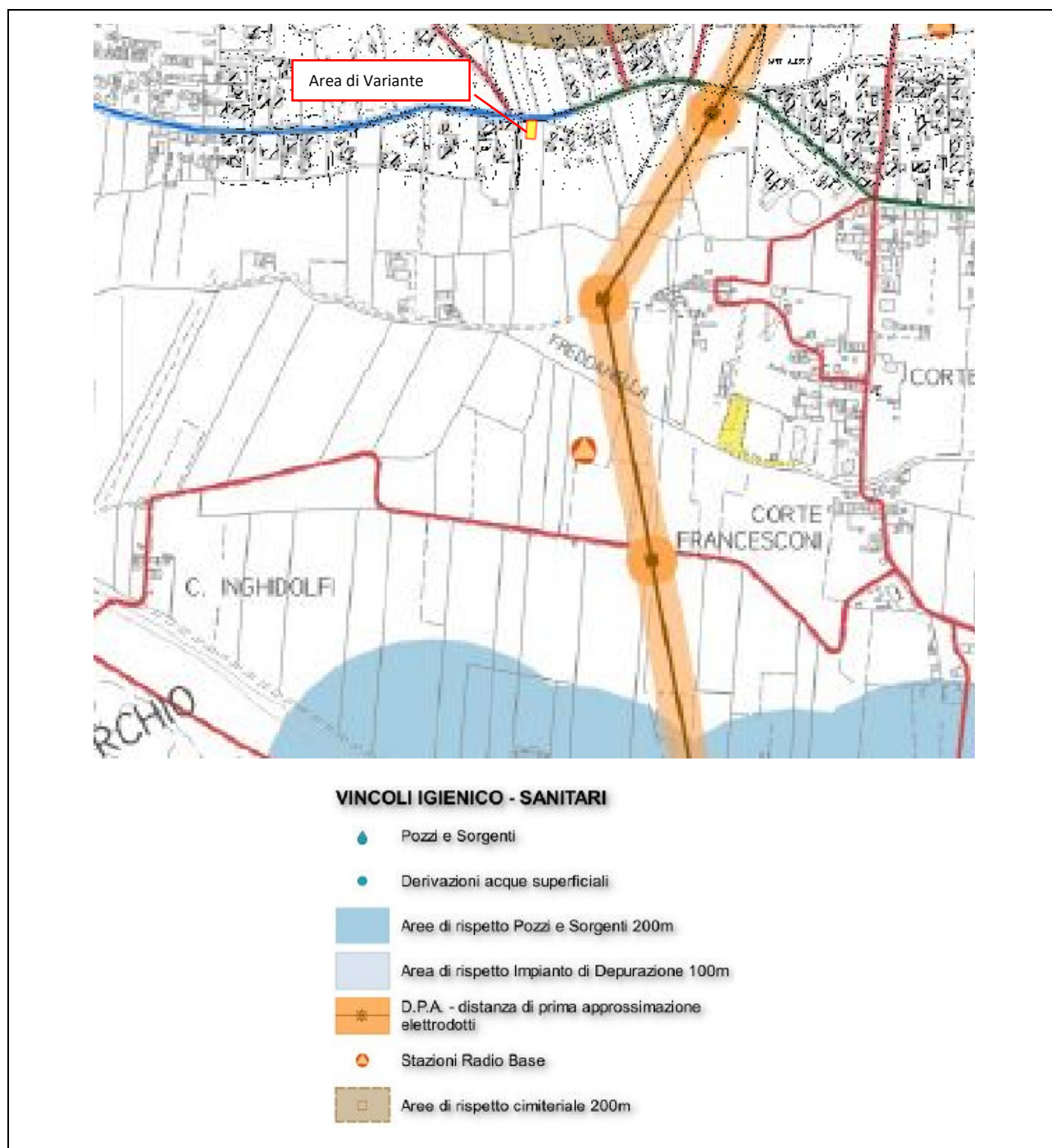
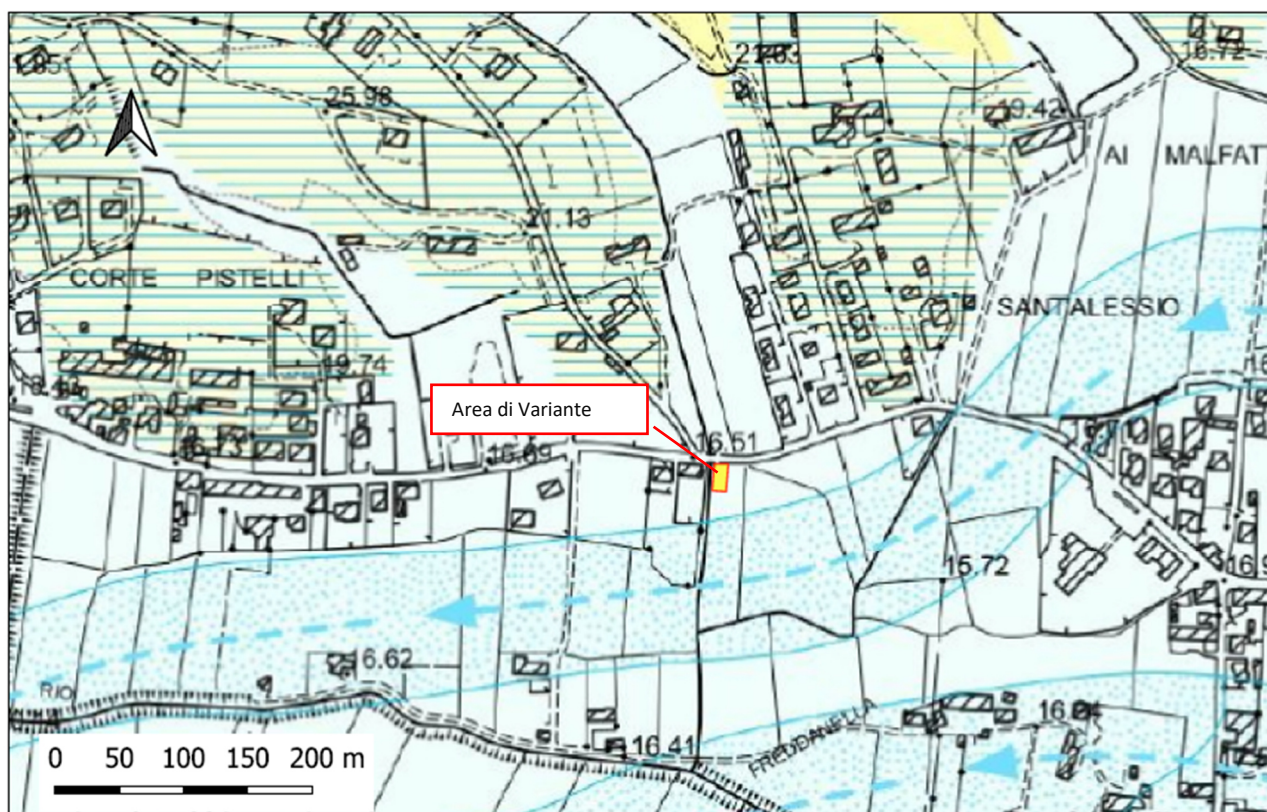


Fig. 5 –Vincoli di natura ambientale – da P.O.C. Comune di Lucca – tav. QC_VI_4

2. ASSETTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO DELL'AREA DI VARIANTE

Dal punto di vista geomorfologico l'area di variante si colloca in una zona pianeggiante (Fig. 6), che fa parte della pianura alluvionale del F. Serchio e si dispone ad una quota di circa 16.30 m s.l.m.



CLASSI LITOGEOLOGICHE

- Depositi alluvionali
- Depositi terrazzati
- Sabbie, sabbie argillose e conglomerati neogenico-quadernari
- Rocce filladiche, scistose argilliti d argilloscisti
- Flysch arenacei, calcarei e calcareo-marnosi
- Rocce stratificate competenti
- Calcarei cavernosi bruce
- Calcarei "massicci" e marmi

DEPOSITI DI ORIGINE ANTROPICA

- Terreno di riporto

PROCESSI E FORME DI ORIGINE GRAVITATIVA

- Orlo di scarpata di frana
- Frana di scorrimento attiva
- Frana di scorrimento quiescente
- Deposito di versante

FORME DOVUTE AI PROCESSI FLUVIALI

- Conoide alluvionale
- Superficie di terrazzo
- Orlo di terrazzo
- Traccia di paleovalve fluviale
- Aree soggette a franosità per erosione di spondi

ELEMENTI GEOLOGICI E STRUTTURALI

- Stratificazione dritta
- Stratificazione rovesciata
- Stratificazione verticale
- Stratificazione orizzontale
- Faglia
- Faglia presunta
- Limite di sovrascorimento tra Unità Tettoniche
- Limite di sovrascorimento tra Unità tettoniche, presunto
- Linea di crinale montuoso

Figura 6 - Carta Geologica e geomorfologica (estratta da P.O.C. Lucca Tav. QG.02.04)

 INGEGNERIE TOSCANE	RELAZIONE GEOLOGICA VARIANTE URBANISTICA II LOTTO FUNZIONALE RELATIVO ALL'ESTENSIONE DELLA RETE FOGNARIA ZONA OLTRESERCHIO - LOC. S. ALESSIO - CARIGNANO, IN COMUNE DI LUCCA (LU).	Rev.00	pagina 13 di 49
--	---	--------	-------------------------------

Nella porzione della pianura di Lucca interessata dall'area di variante, trattandosi di una morfologia pianeggiante in area semi-urbana, non si rilevano aspetti geomorfologici di rilievo. Nell'area esaminata non sussistono movimenti gravitativi in atto e/o dissesti geomorfologici attivi interessanti l'area in esame, né sono stati rilevati processi di erosione superficiale.

Le locali forme morfologiche sono principalmente dovute a modificazioni antropiche riconducibili soprattutto alle infrastrutture viarie, alle opere idrauliche sui corsi d'acqua ed alle modellazioni del terreno.

Si osserva la presenza di forme di rami fluviali relitti sepolti (paleoalvei), che contornano ed interessano in parte i terreni attraversati dal tracciato, come osservabile nella già menzionata Fig. 6.

Sotto l'aspetto geologico regionale l'area si inserisce nel contesto della pianura alluvionale di Lucca, che fa parte di uno dei bacini intermontani corrispondenti ad ampie depressioni tettoniche che cominciarono a delinearsi nell'Appennino settentrionale a partire dal Miocene superiore; tale depressione si trova sul prolungamento verso SE della struttura della vallata del Serchio ("Graben del Serchio"), e sembra continuare, nella stessa direzione, con quella della Val d'Elsa. Essa comprende oggi due aree distinte, la piana di Lucca e la piana del sistema Pescia-Nievole, separate dalle colline di Montecarlo-Altopascio-Le Cerbaie, costituite da depositi di cicli lacustri e fluvio-deltizi di età pleistocenica (Nardi e al., 1987).

I rilievi che bordano la pianura sono costituiti, a sud-ovest, da rocce appartenenti alle Successioni Toscane metamorfica e non metamorfica; a nord-ovest compaiono litotipi riconducibili sia alla successione Toscana non metamorfica, sia a formazioni alloctone del complesso delle "Liguridi s.l.". Nelle aree di raccordo pianura-rilievi, sono presenti depositi di conoide e alluvioni antiche terrazzate.

Nello specifico, con riferimento alla cartografia geologica e geomorfologica di Fig. 6, nell'area di variante affiorano le seguenti unità geolitologiche:

- Depositi alluvionali attuali e recenti - in generale la loro costituzione prevalente è rappresentata da limi sabbiosi, sabbie limose e/o miscele di sabbie e limi. Nell'area in esame, tuttavia, specialmente in prossimità dell'unghia dei rilievi e lungo le vallecicole laterali, la frazione fine risulta abbondante e costituita da argille ed argille limose.
- Depositi Fluvio-lacustri e fluviali antichi, terrazzati, costituiti da materiali prevalentemente

argillosi o argilloso sabbiosi con ghiaie poligeniche in matrice limoso -argillosa (Villafranchiano sup.)

Per l'area in esame sono noti da tempo molti elementi di dettaglio, desumibili da numerose indagini eseguite in precedenza, ed integrate da specifiche indagini eseguite nel marzo 2022 descritte successivamente nel testo (v. ubicazione dei punti con stratigrafia nota di Fig.7).

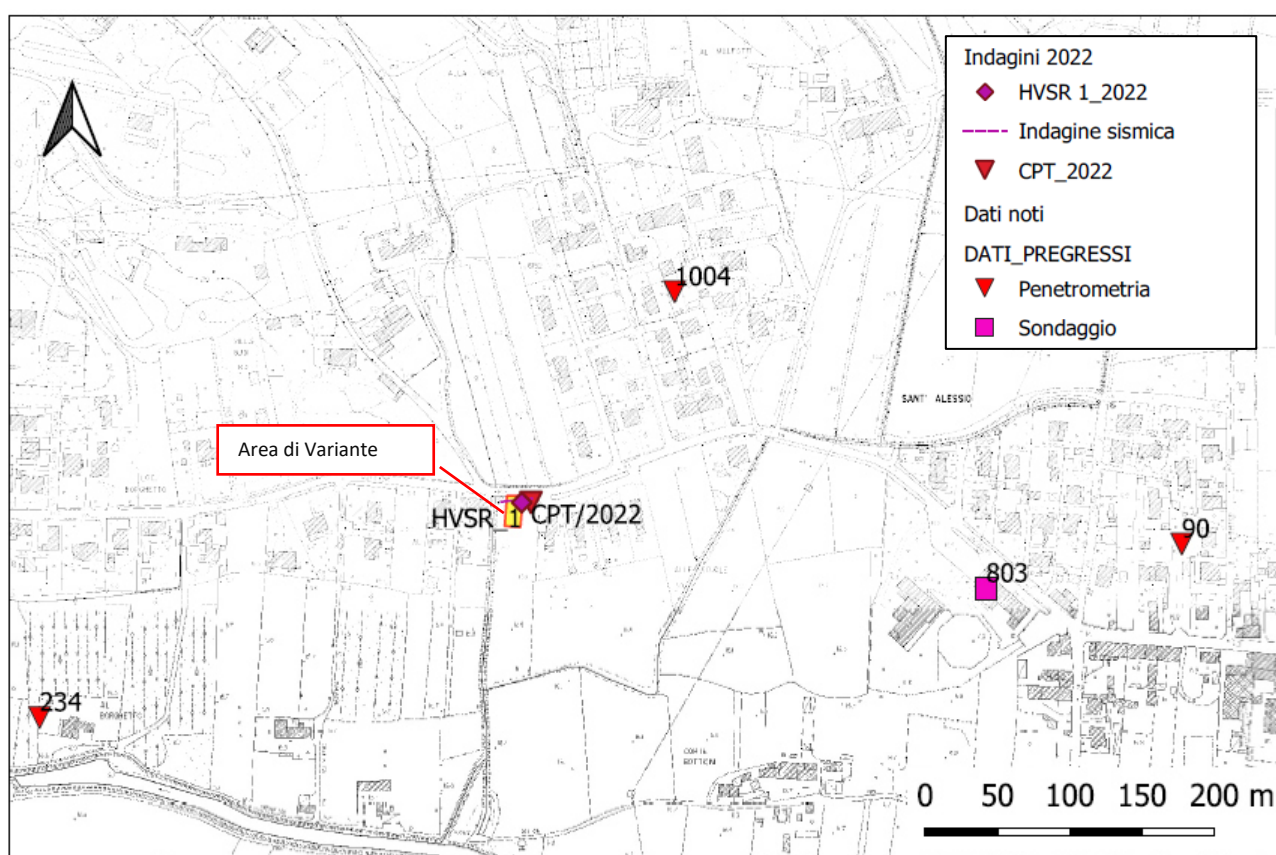


Fig. 7 – Carta con ubicazione dei punti con stratigrafia nota

Dalla correlazione dei dati disponibili è stato possibile sintetizzare la seguente stratigrafia media locale, illustrata nella sezione di Fig. 8:

- uno strato superficiale di argille limose e limi argillosi disposti in alternanze e lenti di forma più o meno regolare e di spessore variabile, che nell'area di prevista realizzazione della stazione di sollevamento S8raggiunge profondità di circa 10.5 m;
- un orizzonte sottostante di depositi prevalentemente consolidati argillosi e ghiaioso-argillosi, di origine fluvio-lacustre, localmente presente a circa 15 m di profondità, caratterizzato con spessori variabili da minimi di 11-11.5 e massimi che superano i 40 m.

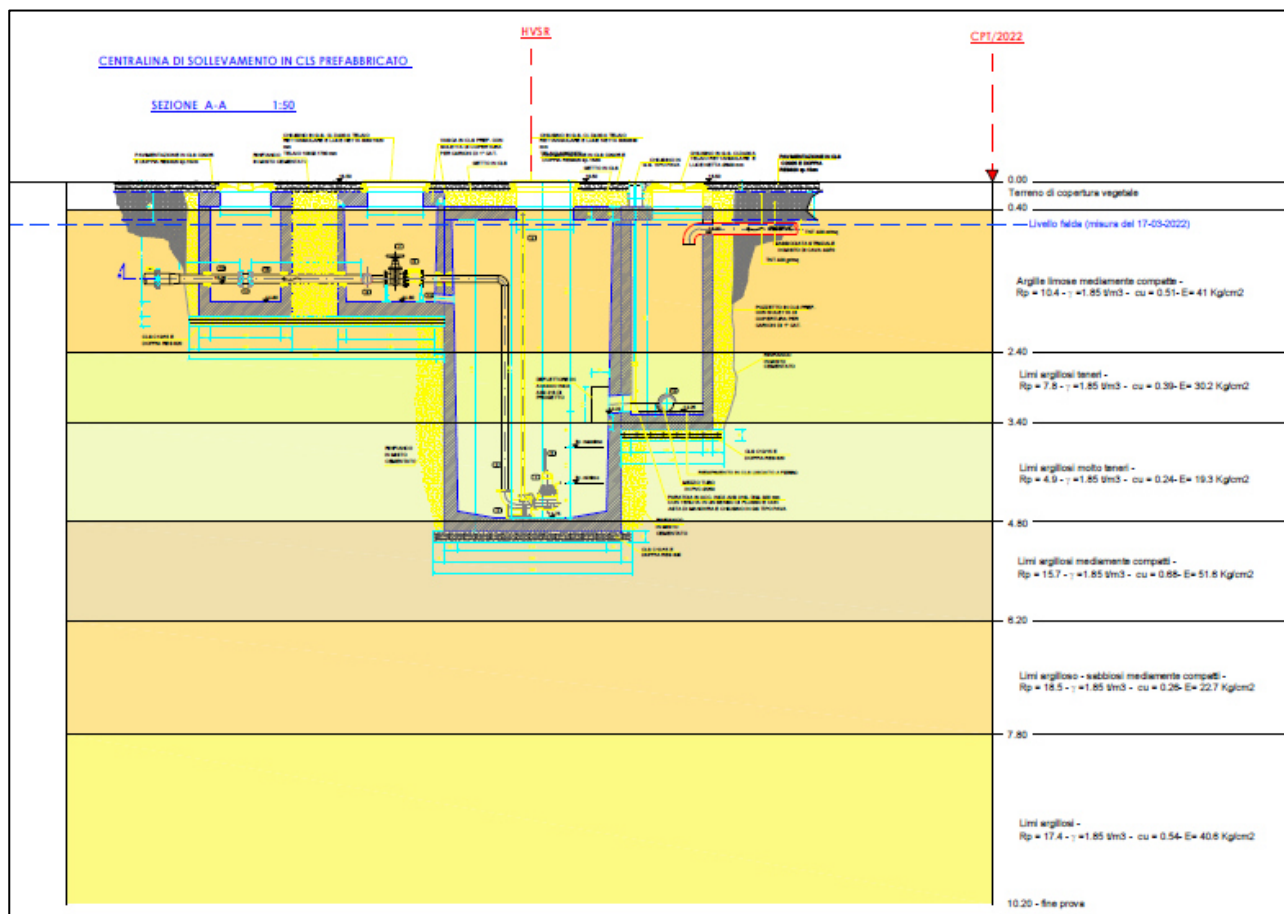


Figura 8 – Situazione stratigrafica locale in corrispondenza dell’impianto di sollevamento previsto nell’area di variante

Dalla cartografia Geologico-Tecnica del P.O.C. (v. stralcio in Fig. 9) risulta che i terreni che interessano l’area di variante ricadono nella simbologia “CL” che contraddistingue terreni di copertura costituiti da *argille inorganiche di medio-alta plasticità, argille ghiaiose e sabbiose, argille limose, argille magre.*

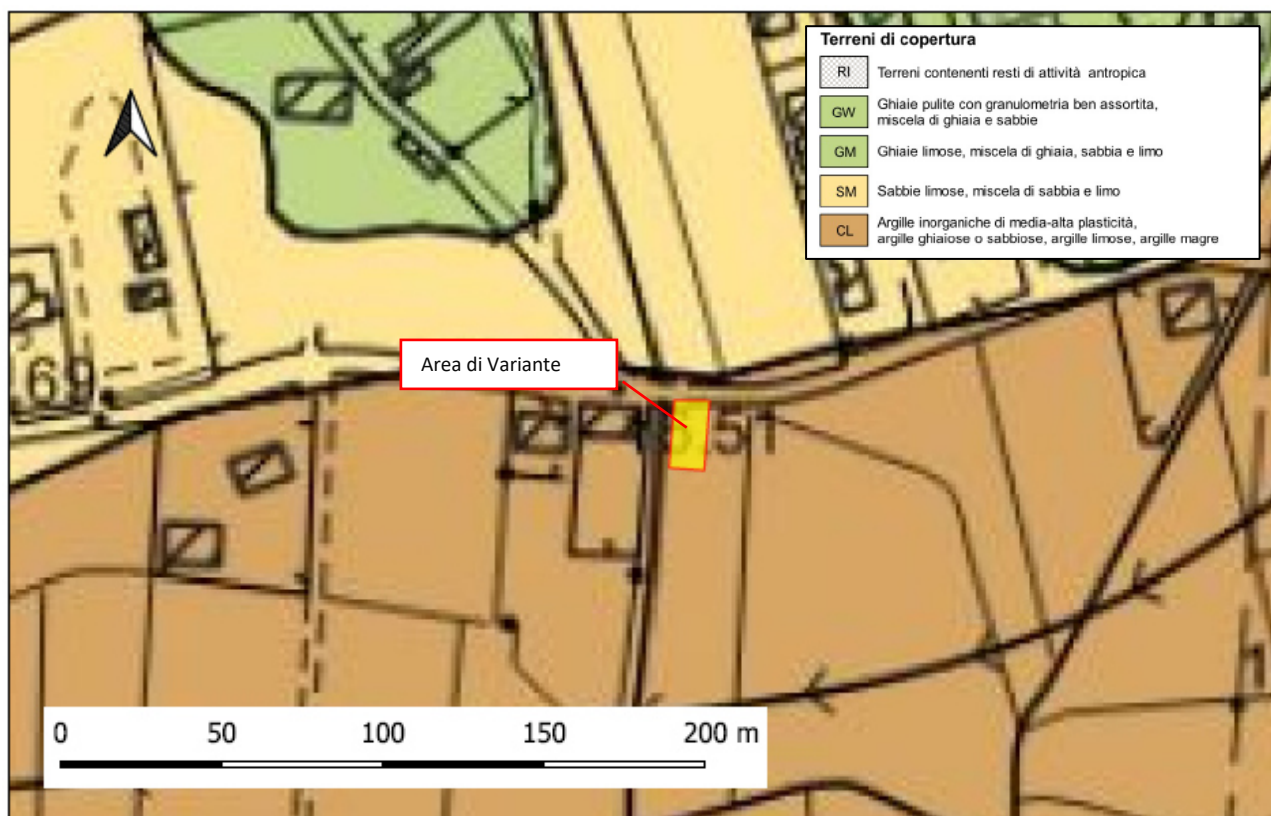
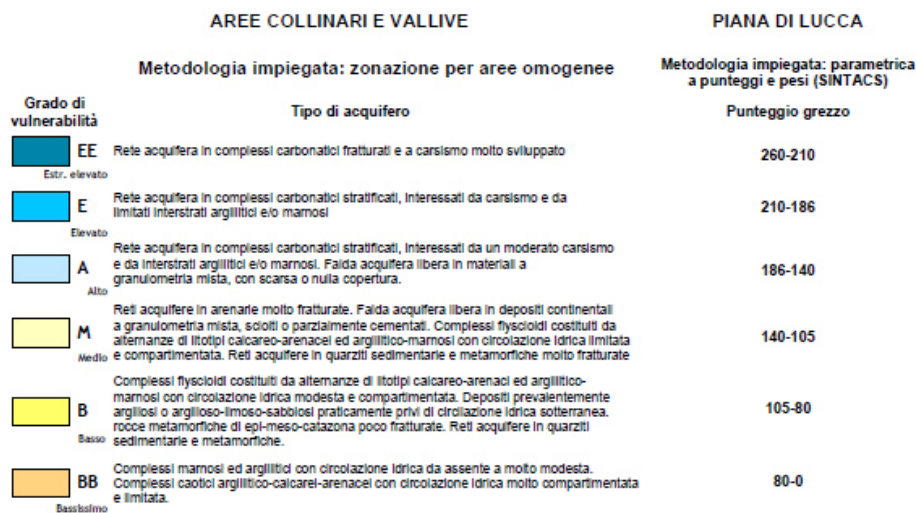
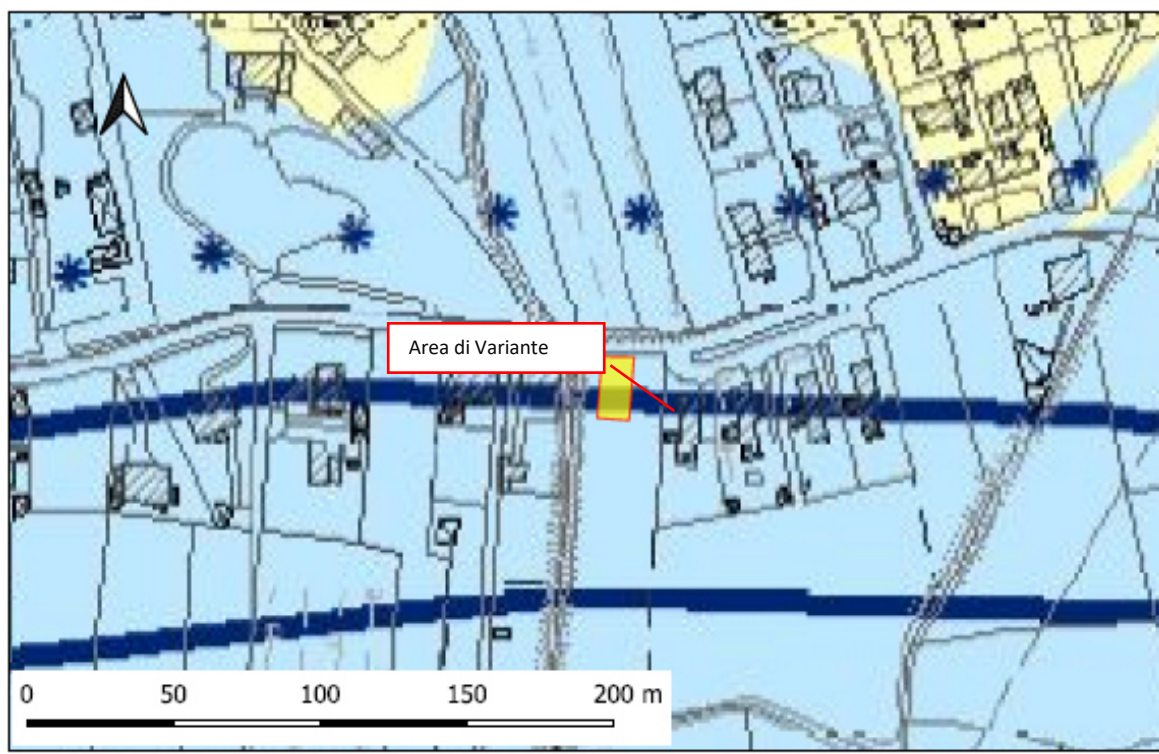


Fig. 9 – Carta Geologico-tecnica – da P.O.C. Comune di Lucca Tav. QG.03b.4

In merito agli aspetti idraulici si segnala la presenza, a circa 5.65 m rispetto all'area di variante, di un corso d'acqua appartenente al reticolo minore, ("*Rio del Moro*"), individuato dalla R.T. ai sensi della L.R. 79 con la sigla TN37489. Il corso d'acqua è affluente di destra del Fosso Freddanella che scorre circa 200 m più a sud dell'area in esame.

Per quanto riguarda l'aspetto idrogeologico, l'area di variante ricade in terreni alluvionali fini di copertura caratterizzati da un grado di vulnerabilità alto "A" (v. Fig. 10).



**Fig. 10 – Carta Idrogeologica e di vulnerabilità degli acquiferi – da P.S. Comune di Lucca
Tav. QG 04 centro**

La locale quota del livello piezometrico indicata (relativa alla campagna del 2007) è di circa 16 m s.l.m., quindi circa 0.3 m al di sotto del piano campagna. Questo dato pur presentando una variabilità stagionale, è compatibile con il valore di 0.60 m dal p.c. misurato nel marzo 2022 nel piezometro realizzato nell'area di variante.

2.1. INDAGINI A DISPOSIZIONE

Oltre ai dati pregressi estratti dagli allegati al piano strutturale e riportati nell'Allegato 1, per l'area di variante sono state eseguite specifiche indagini geognostiche e geofisiche (v. Fig. 11), in corrispondenza dell'area dove è prevista la realizzazione della stazione di sollevamento (S8 delle tavv. progettuali T.ID.1 e T.1.ID.5).

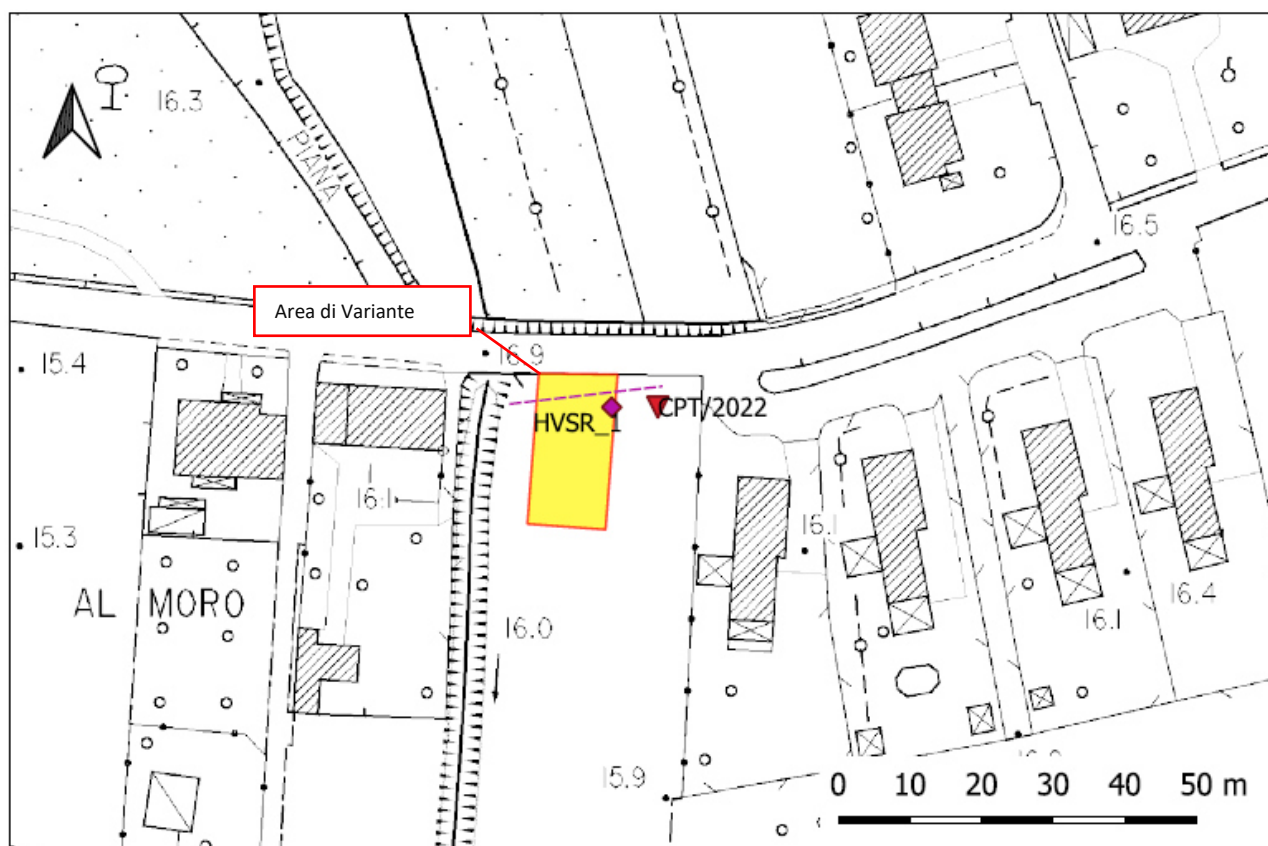


Fig. 11 – Ubicazione delle indagini eseguite nel marzo 2022

 INGEGNERIE TOSCANE	RELAZIONE GEOLOGICA VARIANTE URBANISTICA II LOTTO FUNZIONALE RELATIVO ALL'ESTENSIONE DELLA RETE FOGNARIA ZONA OLTRESEERCHIO - LOC. S. ALESSIO - CARIGNANO, IN COMUNE DI LUCCA (LU).	Rev.00	pagina 19 di 49
--	--	--------	-------------------------------

Le indagini sono state eseguite al fine di caratterizzare in dettaglio i terreni di imposta del manufatto in progetto dove lo scavo per la posa in opera raggiungerà le profondità maggiori (circa 5 m). Le indagini sono consistite in n. 1 prova penetrometrica statica CPT/2022 e da una indagine sismica con l'utilizzo delle seguenti metodologie: MASW / HOLISURFACE e HVSr. Di seguito nel testo sono descritte le indagini eseguite ed i risultati ottenuti.

Prova penetrometrica statica

Il 17/3/2022 è stata eseguita dalla ditta MappoGeognostica di Spianate (LU) una prova penetrometrica statica (v. ubicazione in Fig.11), in corrispondenza dell'area di variante dove è prevista realizzazione della stazione di sollevamento S8 (rif. Tav. T.ID. 5 di progetto).

Relativamente alla prova penetrometrica, le caratteristiche tecniche della strumentazione utilizzata sono riportate in All.1 dove le misure rilevate ogni 20 cm di avanzamento della punta riportate nei diagrammi e nelle tabelle indicano, a partire dal p.c., i seguenti parametri:

- qc: resistenza alla punta (kg/cm²);
- fs: resistenza laterale locale (kg/cm²);
- qc/fs : rapporto Begemann.

La prova ha raggiunto i 10.20 m di profondità e le sequenze stratigrafiche relative sono state determinate attraverso i valori del rapporto qc/fs mediante le correlazioni di Schmertmann; la stratigrafia ricavata con i corrispondenti parametri medi relativi agli orizzonti più significativi è di seguito sintetizzata:

da m	a m	Stratigrafia
0.00	0.40	Terreno rimaneggiato e di copertura vegetale
0.40	2.40	Argille limose mediamente compatte
2.40	3.40	Limi argillosi teneri
3.40	4.80	Limi argillosi molto teneri
4.80	6.20	Limi argillosi mediamente compatti
6.20	7.80	Limi argilloso-sabbiosi mediamente addensati
7.80	10.20	Limi argillosi mediamente compatti

Nel perforo è stato installato un piezometro e il 17/3/2022 il livello di falda è stato rilevato a 0.6 m da pc. Il dato indica pertanto la possibilità che durante l'escavazione nei terreni di copertura possano essere intercettate falde superficiali o temporanee anche a quote prossime al p.c. in momenti di estrema ricarica.

Indagine Sismica

Il 22 marzo 2022 sono state eseguite indagini sismiche finalizzate alla determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde S) ed al calcolo del parametro V_{seq} in corrispondenza dell'area di prevista realizzazione della stazione di sollevamento (S8 della Tav T.ID. 5 di progetto). Le indagini eseguite dalla P3 Snc di Pisa, sono state condotte con l'utilizzo delle seguenti metodologie: MASW / HOLISURFACE – HVSR.

Al fine di caratterizzare il sito in esame dal punto di vista della velocità delle onde di taglio (V_s), sono state effettuate acquisizioni ed analisi MASW, secondo la tecnica HoliSurface MFA (Multiple Filter Analysis). Inoltre, per verificare i risultati ottenuti dall'indagine HoliSurface è stata eseguita n.1 acquisizione in sismica passiva a stazione singola HVSR_1, ubicata in prossimità dello stendimento stesso (v. dettaglio in All.1).

In particolare, l'elaborazione dell'indagine HVSR ha consentito, unitamente ai risultati ottenuti dall'indagine MASW, di investigare il sottosuolo a profondità significativa.

Per i dettagli sulla strumentazione e sulle metodologie impiegate si rimanda allo specifico report

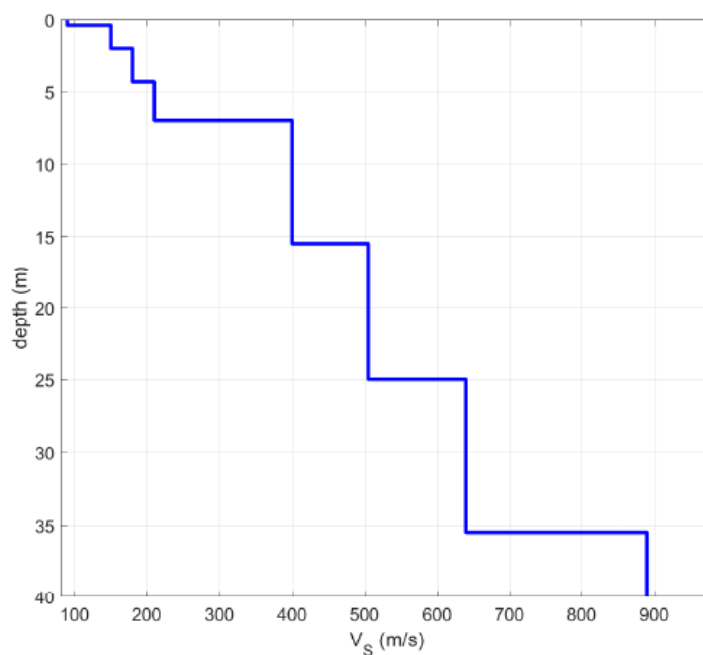
presentato in All.1.

In sintesi, il profilo verticale delle Onde S in corrispondenza dell'acquisizione HoliSurface, ricavato mediante l'elaborazione dei dati di campagna è risultato il seguente:

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.40	0.40	90
2.00	1.60	150
4.30	2.30	180
7.00	2.70	210
15.50	8.50	400
25.00	9.50	505
35.00	10.00	640
inf.	inf.	890

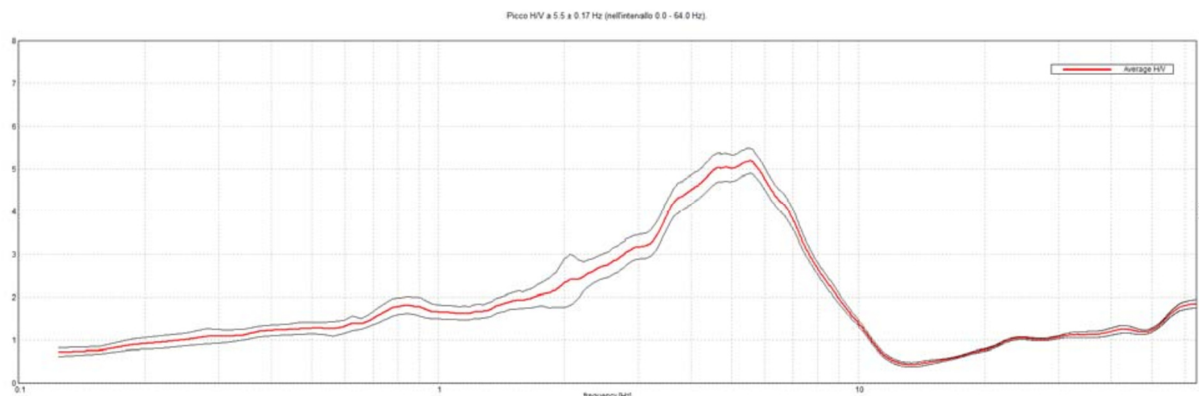
$V_{s_eq}(0.0-30.0)=339\text{m/s}$

Il profilo di Vs (rif. Fig.7 di All.1) ricavato dall'indagine HoliSurface individua una Vseq, riferita al piano di campagna, pari a 339 m/s.



Per quanto riguarda l'indagine HVSR questa ha messo in luce un unico picco significativo posizionato alla frequenza di circa 5.5 Hz:

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



Dal punto di vista stratigrafico tale comportamento può essere ricollegato al passaggio tra i materiali meno addensati delle alluvioni superficiali e i sottostanti livelli di argille addensate riconducibili ai depositi fluvio lacustri. In particolare, utilizzando la nota formula:

$$f_r = V_{s1} / 4h$$

e considerando il valore medio delle Vs determinato dall'indagine MASW pari a 339 m/sec si può desumere una profondità di tale passaggio stratigrafico posizionata a circa 15 m, valore che si accorda con il modello geologico ricostruito.

Individuazione della categoria dei suoli di fondazione

Sulla base dei risultati delle indagini disponibili e delle caratteristiche geotecniche dei terreni presenti può essere attribuita cautelativamente all'area di intervento una categoria dei suoli di tipo "C" corrispondente, ai sensi delle NTC 2018, a "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".

Si sottolinea che tale classificazione è in linea con quanto indicato dalle cartografie disponibili del Comune di Lucca di cui è stato presentato lo stralcio nella Fig. 12 di seguito riportata.



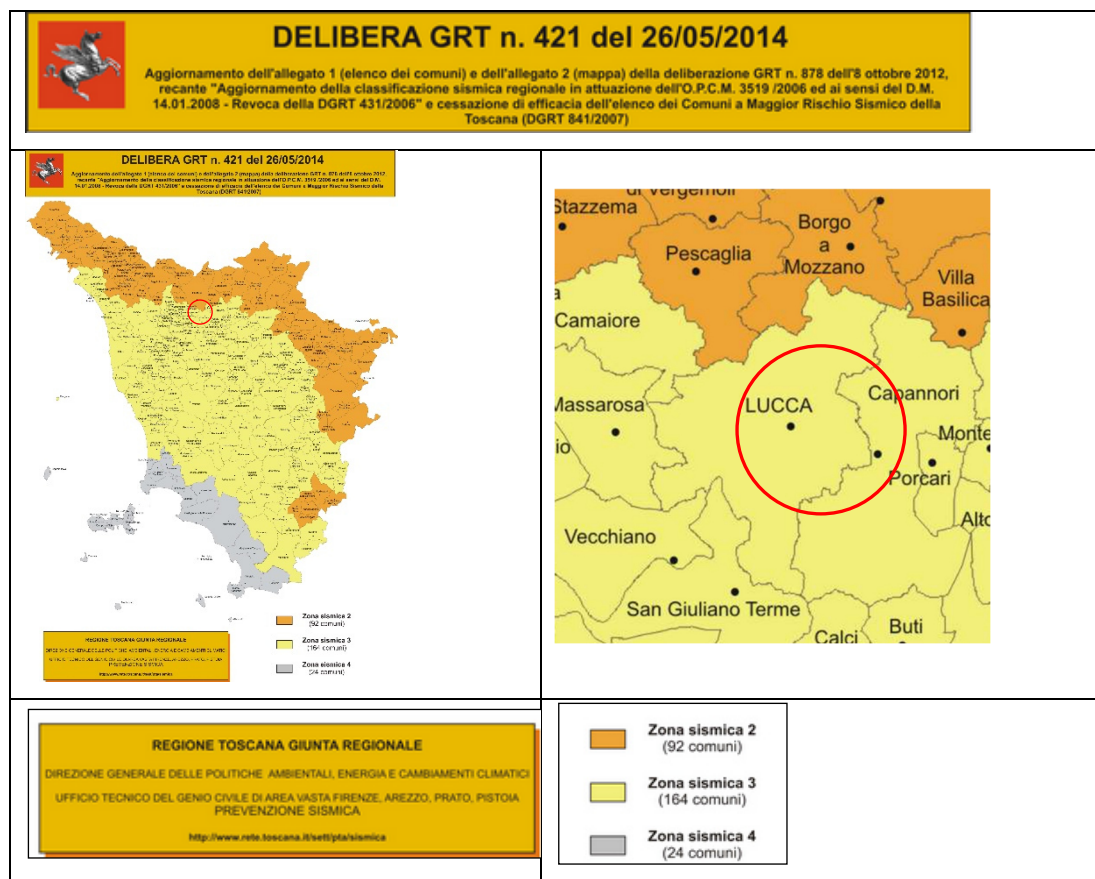
**Fig. 12 - Carta delle categorie dei suoli di fondazione – da Variante RU Comune di Lucca – Tav
QC A4.5**

INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA DI VARIANTE

Relativamente all'aspetto sismico l'area di variante secondo quanto indicato dal D.M. "Nuove norme tecniche per le costruzioni" del 14/01/2018, e in ottemperanza alla "Riclassificazione sismica del territorio regionale" (Delib. G.R. n. 421/2014), aggiornata al fine di adeguarla alla classificazione sismica nazionale, l'area in esame è inserita in "zona 3", caratterizzato da

un'accelerazione massima su suolo rigido ag/g pari a 0.15, in funzione di un tempo di ritorno di 475 anni.

Di seguito si riporta la carta della classificazione sismica della Regione Toscana (aggiornamento 2014) in cui si evidenzia la conferma della zona sismica 3 per il territorio comunale di Lucca.



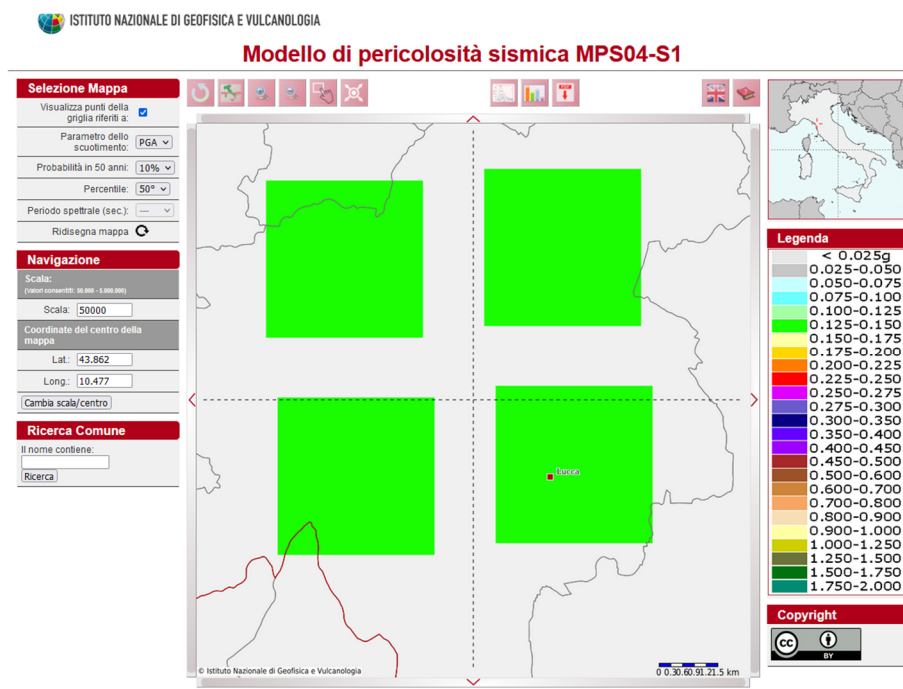
Aggiornamento della classificazione sismica regione (maggio 2014) Stralcio da allegato 2 (mappa)

In base al D.M. 17/01/2018, le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla stima della **pericolosità sismica di base del sito di costruzione**, che dipende dalle caratteristiche del terreno di fondazione (categoria di suolo), dalla classe dell'edificio su cui si attua l'intervento e dalla localizzazione del sito.

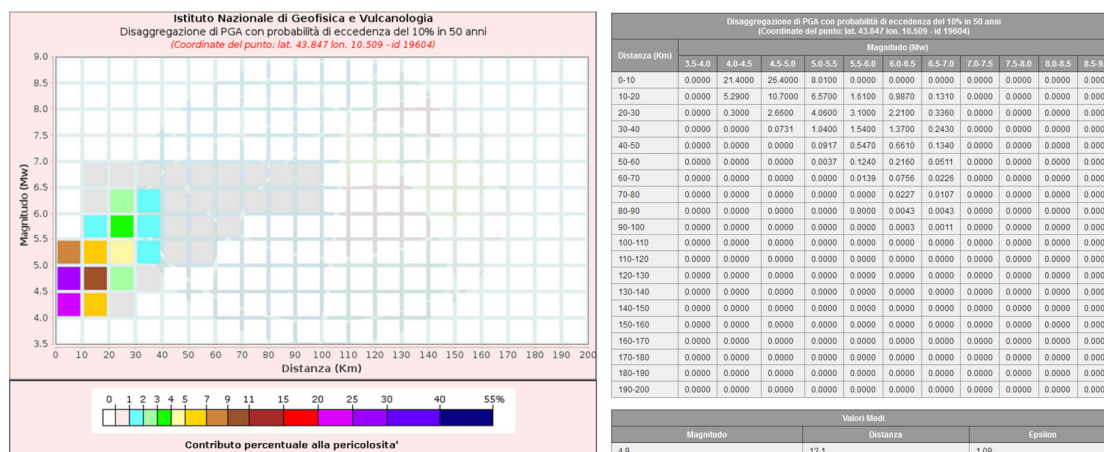
Analizzando nel dettaglio la disaggregazione della pericolosità sismica che permette di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità del sito oggetto di studio, è possibile individuare, attraverso la coppia di parametri **M** - Magnitudo e **R** - distanza dall'epicentro, il terremoto che contribuisce maggiormente alla pericolosità del sito.

Quadro sismico di sito

Dal sito dell'INGV - Milano si ottengono i seguenti dati relativi alla disaggregazione della pericolosità del sito oggetto di studio:



fonte <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>



Dai dati estratti si osserva quindi che, sulla base della storia sismica del sito oggetto di variante, per la disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni il massimo contributo alla pericolosità sismica per l'area di interesse per un tempo di ritorno di 332 anni

 INGEGNERIE TOSCANE	RELAZIONE GEOLOGICA VARIANTE URBANISTICA II LOTTO FUNZIONALE RELATIVO ALL'ESTENSIONE DELLA RETE FOGNARIA ZONA OLTRESEBRO - LOC. S. ALESSIO - CARIGNANO, IN COMUNE DI LUCCA (LU).	Rev.00	pagina 26 di 49
--	---	--------	-------------------------------

deriva dall'accoppiamento Magnitudo $M = 4.5-5.0$ e distanza epicentrale $R = 0-10$ km, con una percentuale del 25.9%.

Eventi sismici con altre magnitudo, corrispondono a percentuali inferiori con ad esempio $M = 4.0-4.5$ e probabilità del 20.9 %. Gli eventi con magnitudo superiori a 5.5 sono di poco superiori al 3 % ca ed hanno distanze medie epicentrali superiori ai 20 km.

I valori medi restituiscono eventi con $M = 4.90$, distanza epicentrale di 12.1 km ca ed epsilon, parametro legato alla deviazione dello spettro del segnale sismico al sito rispetto a quanto predetto da una opportuna legge di attenuazione, pari a 1.09.

La sicurezza e le prestazioni dell'opera devono essere valutate in relazione agli STATI LIMITE cui si possono verificare durante la VITA NOMINALE.

Nel dettaglio, per *stato limite* si intende la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata, mentre la *vita nominale* di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla **probabilità** che in un fissato intervallo di tempo, in quel sito, si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato, definito come **periodo di riferimento V_r** . Tale probabilità prende il nome di **probabilità di superamento** nel periodo di riferimento, P_{vr} .

In condizioni statiche gli stati limite che devono essere presi in esame sono lo **SLU** (stato limite ultimo) e lo **SLE** (stato limite di esercizio); in condizioni dinamiche gli SLU vengono suddivisi in **SLV** (stato limite di salvaguardia della vita) e **SLC** (stato limite al collasso), mentre gli SLE vengono suddivisi in **SLO** (stato limite di operatività) e **SLD** (stato limite di danno). A tali stati limite corrispondono diverse percentuali di possibilità di superamento nel periodo di riferimento P_{vr} .

Ai fini della determinazione delle azioni sismiche di progetto, la pericolosità sismica di un sito viene espressa facendo riferimento ad un sito rigido (categoria di suolo A), con superficie topografica orizzontale (di categoria T1), in assenza di manufatti.

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata con un calcolo mirato al sito in esame e utilizzando come riferimento le informazioni

disponibili nel reticolo di riferimento.

Le forme spettrali vengono definite, per ciascuna delle probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR, partendo dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g = accelerazione massima al sito
- F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
- T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore di a_g è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento, attualmente fornita dallo INGV, mentre F_o e T_c^* sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC, approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.

Nel caso specifico, ai fini della determinazione dell'azione sismica, si deve tener conto della categoria di suolo, definita come C dalle valutazioni sopra esposte, e della morfologia di superficie, che essendo posta in corrispondenza di un pendio con acclività inferiore di 15° , rientra nella categoria T1.

I parametri sismici corrispondenti al sito di intervento, in funzione della tipologia di opera, possono allora essere determinati o tramite delle tabelle fornite dall'INGV o grazie all'individuazione dei nodi del reticolo di riferimento, mediante alcuni software.

Quello da noi utilizzato, il cui output è riportato in All. 3, è PS ADVANCED 2022 fornito dalla ditta Geostru di Reggio Calabria.

Il software richiede l'introduzione delle coordinate del sito di intervento, la classe dell'edificio e la vita nominale (v. tabella seguente) per ottenere l'indicazione del reticolo di riferimento ed i relativi parametri e i coefficienti sismici corrispondenti.

Coordinate

WGS84 Lat.	43.86236
WGS84 Lon.	10.47746

parametri sismici

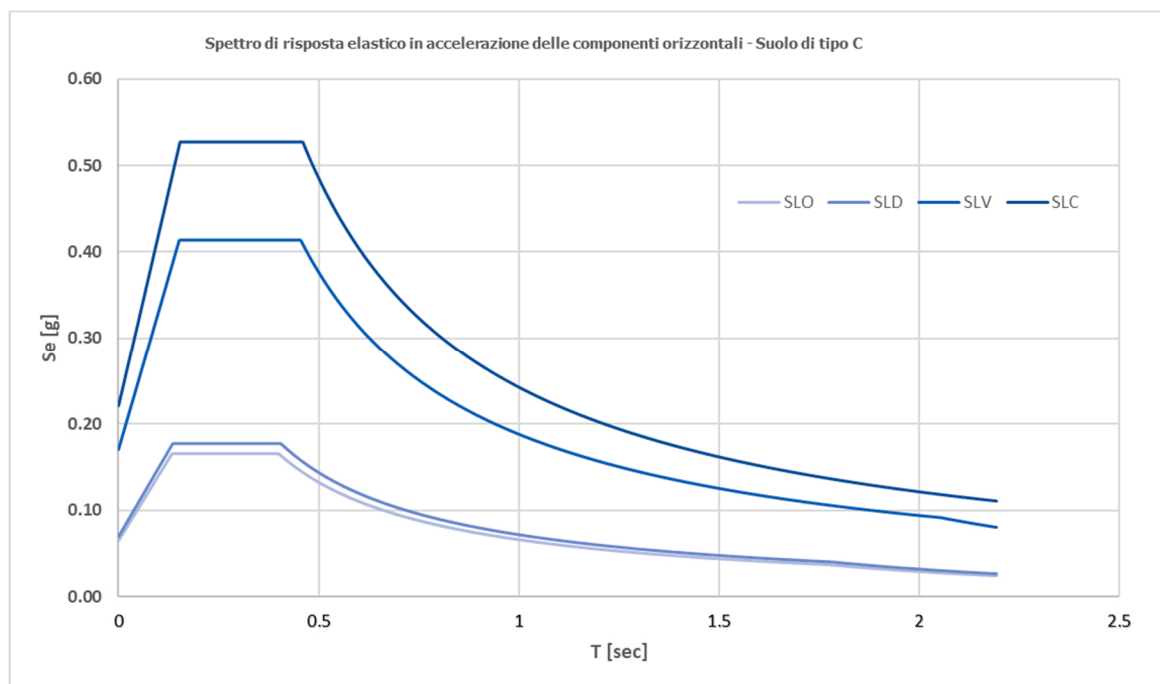
TIPO DI COSTRUZIONE	2
VITA NOMINALE VN	≥ 50 anni
CLASSE D'USO	I
COEFFICIENTE D'USO	0.70
PERIODO DI RIFERIMENTO VR = VN * CU	35 anni

I valori determinati dal software, per l'area di indagine, sono sintetizzati nella tabella seguente e riportati in All. 3:

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.044	2.534	0.237
SLD	35	0.046	2.537	0.241
SLV	332	0.114	2.423	0.286
SLC	682	0.148	2.383	0.293

Per la tabella 3.2.V delle NTC 2018, per terreni con **categoria di suolo C**, come quello in esame, deve essere considerato il coefficiente di amplificazione stratigrafica massimo **Ss** pari a **1.60** mentre per una situazione topografica come quella in esame, alla sommità di un pendio con pendenza inferiore a 15°, il coefficiente di amplificazione topografica **St** da utilizzare è pari a **1.0**.

In tale contesto si ottiene un coefficiente **S = Ss x St = 1.60**. Per il sito in esame, pertanto, l'accelerazione massima **a_{max} = S x ag = Ss x St x ag x g** risulta nel caso dello SLV pari a 1.60 x 0.114 x 9.81 = **1.789 m/sec²**.



Liquefazione

Il fenomeno della liquefazione si verifica quando in presenza di sisma si attua una diminuzione della resistenza a taglio per l'aumento della pressione interstiziale in un terreno saturo e non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o addirittura l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Secondo le NTC 2018, paragrafo 7.11.3.4.2, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di $0,1g$;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. 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;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di

terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

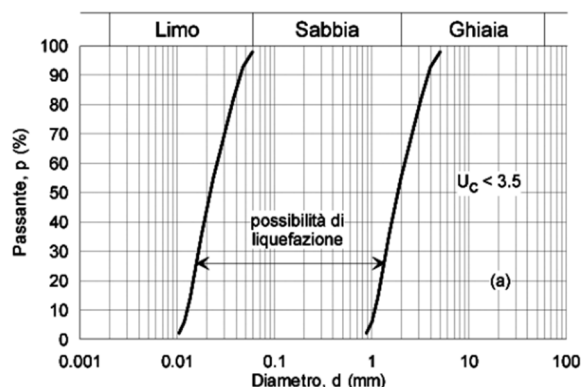
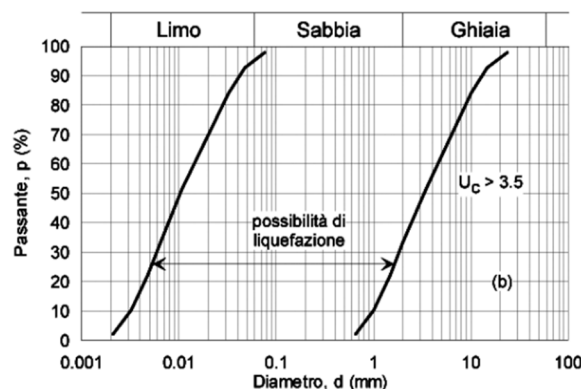


Fig. 7.11.1 NTC 2018 – Fusi
granulometrici di terreni
suscettibili di liquefazione

a)



b)

Pur rientrando in una zona con magnitudo M inferiore a 5 è stato effettuato cautelativamente il calcolo della liquefazione tramite il software della Geostru "*liquiter 2021*".

Sulla base dei diversi metodi che il programma utilizza per la determinazione della propensione al fenomeno, è stato scelto il metodo *Andrus e Stokoe*, che considera, in base alle V_s del terreno di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica, la percentuale della frazione fine estrapolabile dalla caratterizzazione stratigrafica eseguita dalla penetrometria.

In All. 4 si riporta la relazione esplicativa della verifica svolta che evidenzia che, sulla base dell'insieme dei dati disponibili, i terreni di interesse non mostrano propensione alla liquefazione con eccezione di un unico livello posizionato alla profondità di 2.00 m per il cui il software ha individuato un "basso" gradi di propensione a tale fenomeno.

Per l'unicità di tale problematica e per le profondità di posa delle opere di fondazione, con particolare riferimento alla stazione di sollevamento, che risultano essere collocate a profondità maggiori rispetto a tale livello si può considerare tale problematica come non influente ai fini della realizzazione del progetto oggetto studio.

 INGEGNERIE TOSCANE	RELAZIONE GEOLOGICA VARIANTE URBANISTICA II LOTTO FUNZIONALE RELATIVO ALL'ESTENSIONE DELLA RETE FOGNARIA ZONA OLTRESEBCHIO - LOC. S. ALESSIO - CARIGNANO, IN COMUNE DI LUCCA (LU).	Rev.00	pagina 31 di 49
--	---	--------	-------------------------------

3. CLASSI DI PERICOLOSITÀ NELL'AREA DI VARIANTE

La definizione del territorio in esame sotto l'aspetto delle pericolosità geologica, idraulica e sismica, è stata effettuata correlando le cartografie disponibili e reperibili dai repertori cartografici del Regolamento Urbanistico vigente del Comune di Lucca, approvato con delibera di Consiglio Comunale n. 19 del 15 marzo 2012, con quelle ricavate dal database cartografico del Piano Operativo Comunale di Lucca, adottato dal Consiglio Comunale di Lucca nella seduta del 26 ottobre 2021, ai sensi dell'articolo 19 della LR 65/2014 "Norme per il Governo del territorio".

Pertanto, nei paragrafi a seguire, verranno indicate le cartografie rispettive di entrambi i riferimenti urbanistici comunali, per dare maggior dettaglio e rilievo alle caratteristiche geologiche, idrauliche e sismiche del sito in esame, e fornire una valutazione delle fattibilità specifiche conformi a quanto richiesto dal regolamento 5/R/2020.

3.1. PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

La Carta della Pericolosità Geologica (Figg. 13 e 13a) redatta a supporto del P.O.C. e del R.U 2012, ai sensi del D.P.G.R. 5/r/2020, inserisce l'area di variante all'interno della classe di pericolosità in aree ricadenti rispettivamente in **classe G.1 e 2I** (*pericolosità geomorfologica Bassa*); per quanto riguarda la cartografia del POC, i caratteri sono così riassumibili: *"aree i cui processi morfologici e le caratteristiche litologiche e giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi"*.

Nel caso delle analisi del RU comunale, si tratta di *"una situazione geologico-tecnica apparentemente stabile sulla quale tuttavia permangono alcuni dubbi, prevalentemente di carattere geotecnico in relazione alle opere edilizie che potranno essere realizzate nell'area stessa, che comunque potranno essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia, svolta anche in riferimento ai fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni superficiali a prevalente componente argillosa."*

In ogni caso, al momento l'intervento in esame è pertanto attuabile secondo quanto indicato dai vincoli previsti in merito alla Pericolosità Geologica.



Classi di pericolosità geologica

- G1** G1= Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfologici.
- G2** G2= Aree con elementi geomorfologici, litologici e giaciture data cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori a 15°; conoidi misti detritico-alluvionali; aree interessate da DGPV presunte.
- G3a** G3a= Frane quiescenti; aree con potenziale instabilità connessa a giacitura, acclività e litologia; masse rocciose dislocate unitamente da movimenti franosi; aree interessate da DGPV certe; corpi detritici su versanti con pendenze superiori a 15°; conoidi di detrito pedemontani e conoidi soggetti a fenomeni di debris-flow.
- G3b** G3b= Aree interessate da possibili instabilità di tipo gravitativo, erosivo e/o dovuti all'azione delle acque incanalate negli alvei naturali, per effetto di condizioni geomorfologiche e fisiche sfavorevoli che determinano elevata propensione al dissesto.
- G3*** G3*= Aree in rocce coerenti e semicoerenti soggette a franosità per forte acclività, in particolare aree esposte a possibili fenomeni di crollo o distacco di massi, aree al bordo di terrazzi fluviali o morfologici.
- G4** G4= Aree interessate da fenomeni franosi attivi e relative aree di evoluzione; aree con presenza di intensi fenomeni geomorfologici attivi di tipo erosivo; doline attive.

Fig. 13 –Pericolosità Geomorfologica – da P.O.C. Comune di Lucca – Tav. QG_05_4

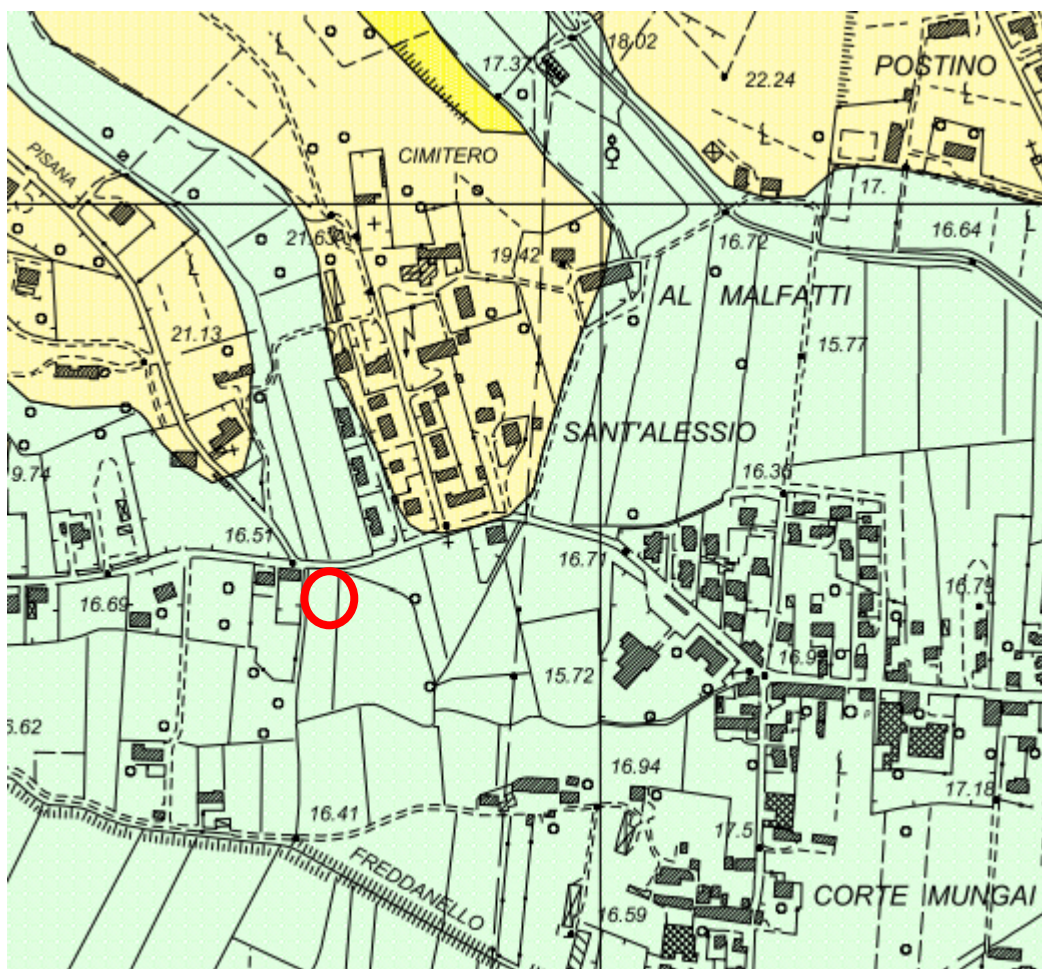


Fig. 13a –Pericolosità Geomorfologica – da Regolamento Urbanistico vigente 2012 Comune di Lucca

LEGENDA

Classi di pericolosità geomorfologica e geotecnica

(P.T.C., approvato con delibera C.P. di Lucca n. 189 del 13/12/2000)

Pericolosità geomorfologica del territorio collinare

	Classe	Pericolosità	Caratteri
	1g	IRRILEVANTE	Aree con assenza sia di forme e processi geomorfologici attivi o quiescenti, sia di fattori geolitologici e/o morfologici predisponenti l'attivazione di processi morfo-evolutivi.
	2g	BASSA	Aree con assenza di forme e processi geomorfologici attivi o quiescenti nelle quali sono al massimo prevedibili, sulla base di valutazioni geologiche, litotecniche e clivometriche, limitati processi di degrado superficiale riconoscibili e neutralizzabili a livello di intervento diretto.
	3ag	MEDIO-BASSA	Aree interessate da frane quiescenti e/o da indicatori geomorfologici precursori di fenomeni di instabilità nelle quali non si possono escludere riattivazioni o attivazioni di movimenti di massa di complessiva bassa intensità. Frane inattive, per cause naturali o artificiali, di medie o grandi dimensioni.
	3bg	MEDIO-ALTA	Aree interessate da frane quiescenti o da indicatori geomorfologici precursori di fenomeni di instabilità nelle quali sono prevedibili attivazioni o riattivazioni di movimenti di massa di media intensità. Aree prive delle forme e degli indicatori di cui sopra, ma nelle quali la presenza di particolari caratteri litologici, giaciture e clivometriche non escludono la possibilità di attivazione di movimenti di massa di media-elevata intensità.
	4g	ELEVATA	Aree interessate da frane attive suscettibili di espansione areale o comunque non classificabili di bassa intensità complessiva. Aree interessate da diffusi fenomeni di degrado attivo di qualsiasi intensità. Aree interessate da frane quiescenti o da indicatori geomorfologici precursori di fenomeni di instabilità nelle quali sono prevedibili attivazioni o riattivazioni di movimenti di massa di elevata intensità.
	4g*	ELEVATA	Aree interessate da frane attive o da altri fenomeni di degrado attivo con progetti di bonifica approvati e finanziati.

Pericolosità geotecnica delle aree di pianura

	2l	BASSA	Corrisponde ad una situazione geologico-tecnica apparentemente stabile sulla quale tuttavia permangono alcuni dubbi, prevalentemente di carattere geotecnico in relazione alle opere edilizie che potranno essere realizzate nell'area stessa, che comunque potranno essere chiariti a livello di indagine geognostica di supporto alla progettazione edilizia, svolta anche in riferimento ai fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni superficiali a prevalente componente argillosa.
---	----	-------	---

Pericolosità da subsidenza

	3s	MEDIA	Aree potenzialmente subsidenti per caratteri stratigrafici, litotecnici ed idro-geologici: la presenza di terreni affioranti o sepolti compressibili, potenzialmente interessati da fenomeni di subsidenza a seguito di estrazioni di fluidi dal sottosuolo o applicazione di sovraccarichi su superfici estese, impone approfondimenti e valutazioni sul rischio effettivo a supporto dell'intervento diretto.
---	----	-------	---

Pericolosità da colata detritica torrentizia

	3d	MEDIA	Aree potenzialmente vulnerabili da colate detritiche torrentizie sulla base di considerazioni morfo-clivometriche.
	4d	ELEVATA	Aree recentemente vulnerate da colate detritiche torrentizie.
	4d*	ELEVATA	Aree recentemente vulnerate da colate detritiche torrentizie con progetti di bonifica approvati e finanziati.

PERICOLOSITA' DA FRANA SECONDO IL PAI

Nella cartografia del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Serchio, ora di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale, riportata in estratto in Fig. 14 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, l'area di variante non risulta interessata da particolari fenomeni o conformazione in grado di generare dissesti in quanto ricadente in zone di fondovalle o pianeggianti dove le eventuali problematiche sono legate alla capacità portante ed ai cedimenti. L'intervento in esame è tra quelli attuabili.

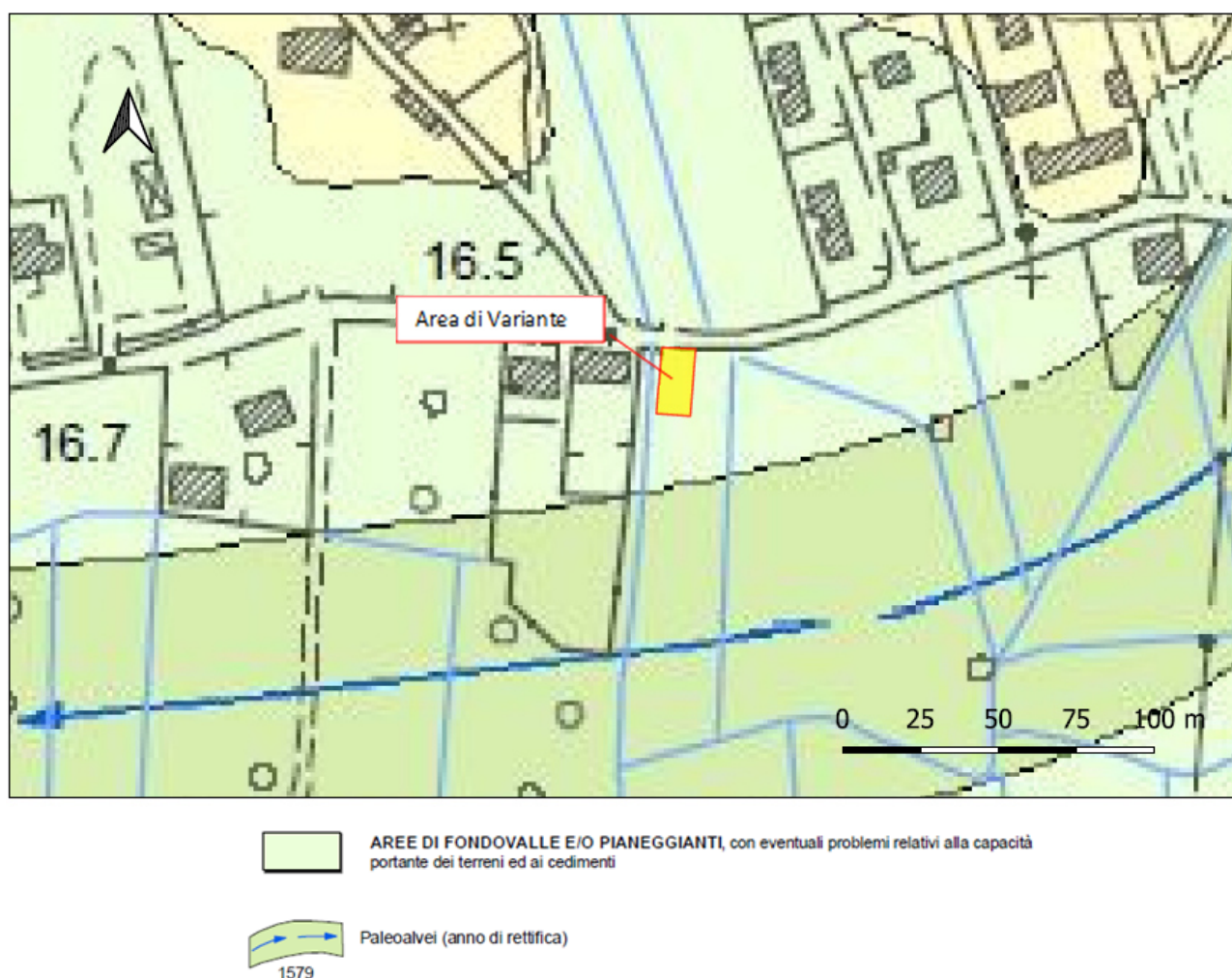
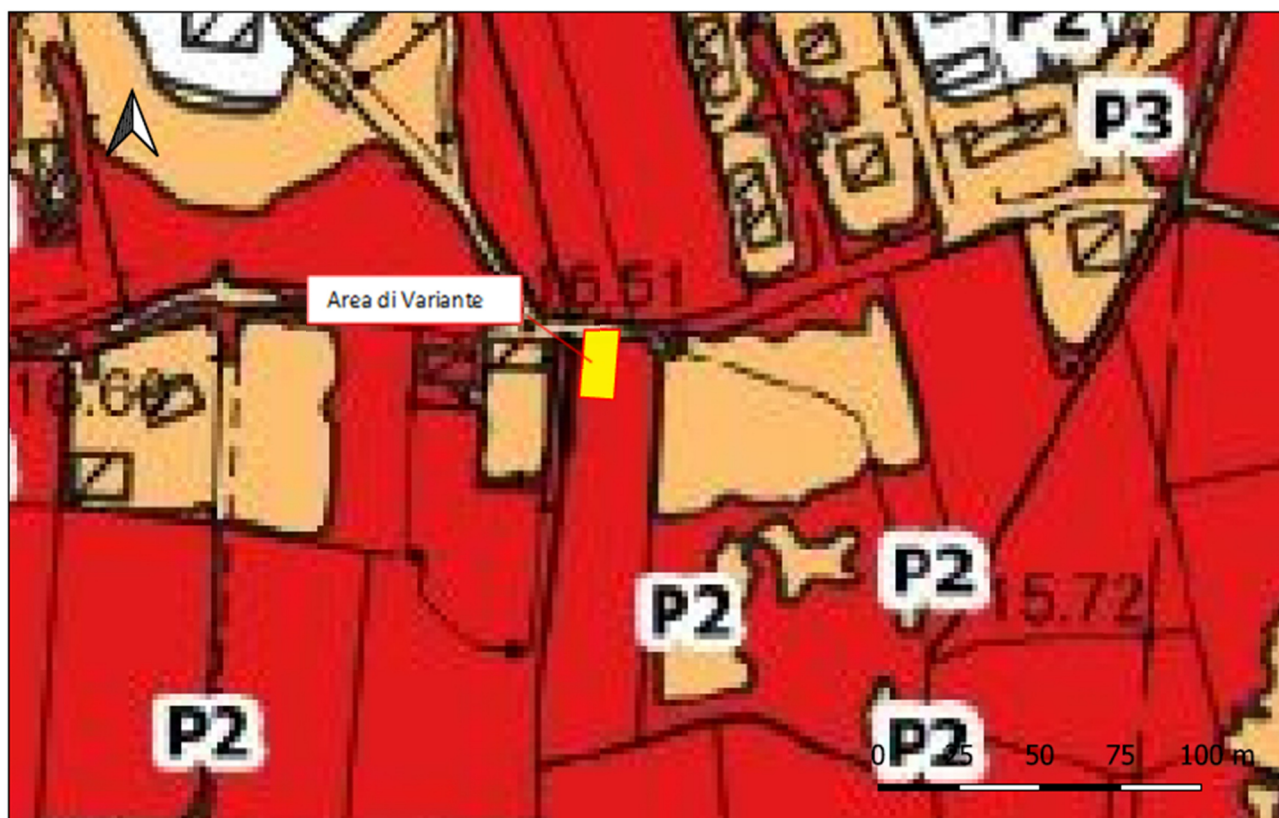


Fig. 14 –Pericolosità da frana - PAI Serchio – elem- 261110 - Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale

3.2. PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Secondo la Carta della Pericolosità idraulica (Fig. 15) redatta a supporto del P.O.C. ai sensi del D.P.G.R. 5/r2020 l'area della variante ricade in area a pericolosità **P3** che caratterizza "aree a pericolosità per alluvioni frequenti o a pericolosità elevata (aree inondabili da eventi con T_r inferiore od eguale a 30 anni)".



Classi di pericolosità da alluvione

- P1** P1= Aree a pericolosità per alluvioni rare o a pericolosità bassa (aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni).
- P2** P2= Aree a pericolosità per alluvioni poco frequenti o a pericolosità media (aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e inferiore o uguale a 200 anni).
- P3** P3= Aree a pericolosità per alluvioni frequenti o a pericolosità elevata (aree inondabili da eventi con tempo di ritorno inferiore o uguale a 30 anni).

Fig. 15 –Pericolosità da Alluvione – da P.O.C. Comune di Lucca– Tav. QG_15_4

La medesima Carta della Pericolosità idraulica (Fig. 15a) redatta a supporto del R.U vigente del 2012, riporta l'area in esame tra quelle a pericolosità **4i - elevata** che caratterizza "di pianura con notizie storiche di: -eventi alluvionali frequenti o ricorrenti di classe III o superiore; -ristagni stagionali, ricorrenti o frequenti di classe III o superiore".

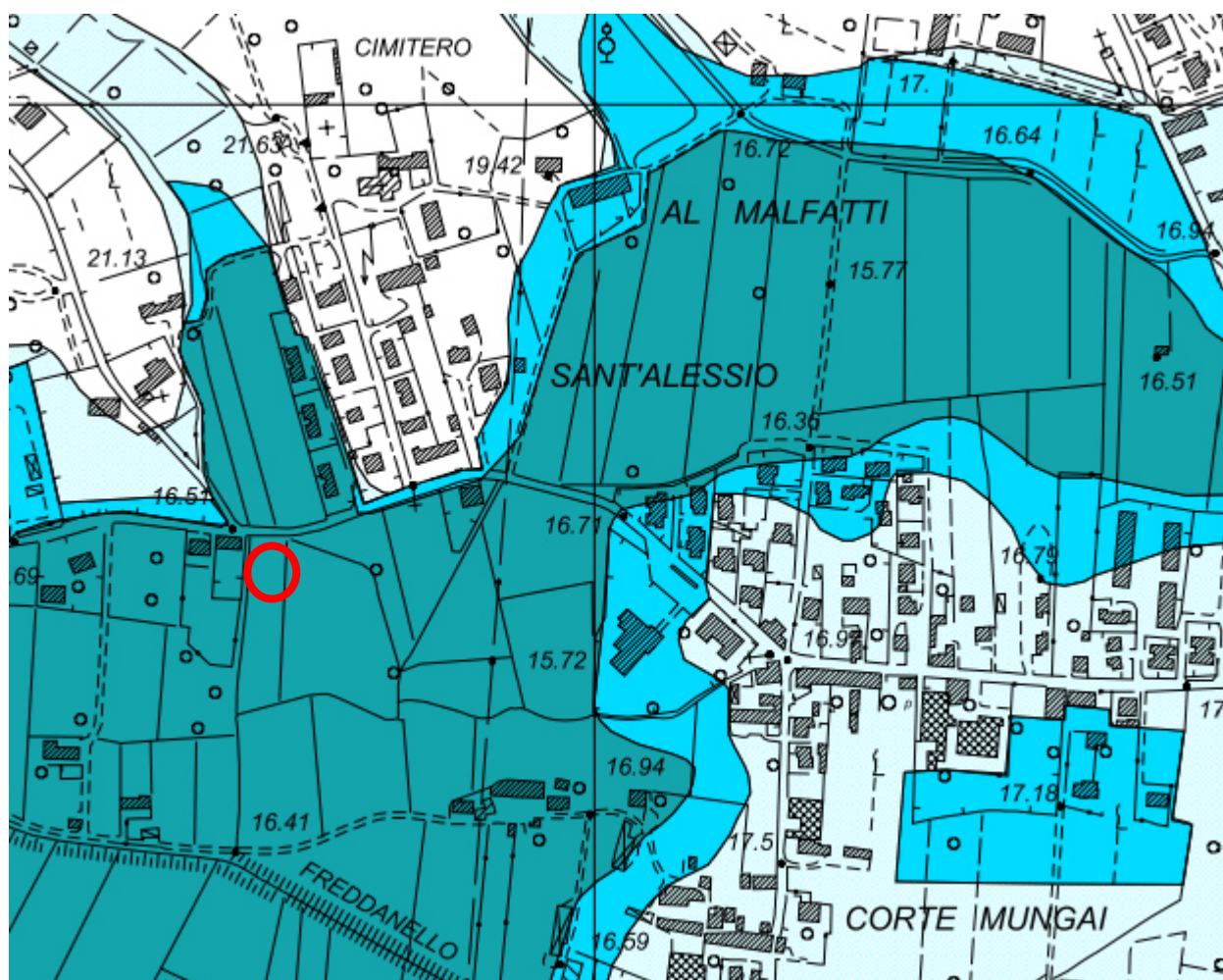


Fig. 15a -Pericolosità da Alluvione - da Regolamento Urbanistico vigente 2012 Comune di
Lucca

LEGENDA

Classi di pericolosità idraulica

(P.T.C., approvato con delibera C.P. di Lucca n. 189 del 13/12/2000)

	Classe	Pericolosità	Caratteri
	1i	IRRILEVANTE	Aree collinari o montane sopraelevate di almeno 1 m rispetto al limite esterno dell'alveo di naturale esondazione o 2 m rispetto al ciglio di sponda, prive di notizie storiche di precedenti inondazioni o allagamenti da ristagno.
	2i	BASSA	Aree di pianura: - prive di notizie storiche di precedenti inondazioni; - con notizie storiche di ristagni con frequenza ricorrente o inferiore di classe I.
	3ai	MEDIO-BASSA	Aree di pianura con notizie storiche di: - eventi alluvionali ricorrenti o frequenti di classe I; - ristagni ricorrenti, frequenti od occasionali di classe II.
	3bi	MEDIO-ALTA	Aree di pianura con notizie storiche di: - eventi alluvionali frequenti o ricorrenti di classe II.
	4i	ELEVATA	Aree di pianura con notizie storiche di: - eventi alluvionali frequenti o ricorrenti di classe III o superiore; - ristagni stagionali, ricorrenti o frequenti di classe III o superiore.
	4ao	ELEVATA	Alveo fluviale ordinario in modellamento attivo: porzione dell'alveo raggiungibile dalle piene stagionali caratterizzata da ciottolame mobile, depositi sabbiosi e limosi sciolti; la vegetazione eventualmente presente è per lo più arbustiva.
	4ag	ELEVATA	Aree golenali: fasce a lato dell'alveo, comprese tra le sponde del corso d'acqua e gli argini maestri, nelle quali le acque si espandono con andamento stagnante o comunque diverso da quello della corrente principale del fiume.
	4ae	ELEVATA	Aree di naturale esondazione e di tutela dei caratteri ambientali dei corsi d'acqua: aree essenzialmente di fondovalle caratterizzate da indicatori idrogeomorfologici e talora biologici naturali nelle quali il legame con il corso d'acqua è ancora evidente.

È stata inoltre considerata la cartografia della pericolosità alluvionale (Fig. 16), del Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA), redatta dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale. Con riferimento a tale cartografia, la zona oggetto di variante ricade interamente nel settore individuato con pericolosità da alluvione **P3**.

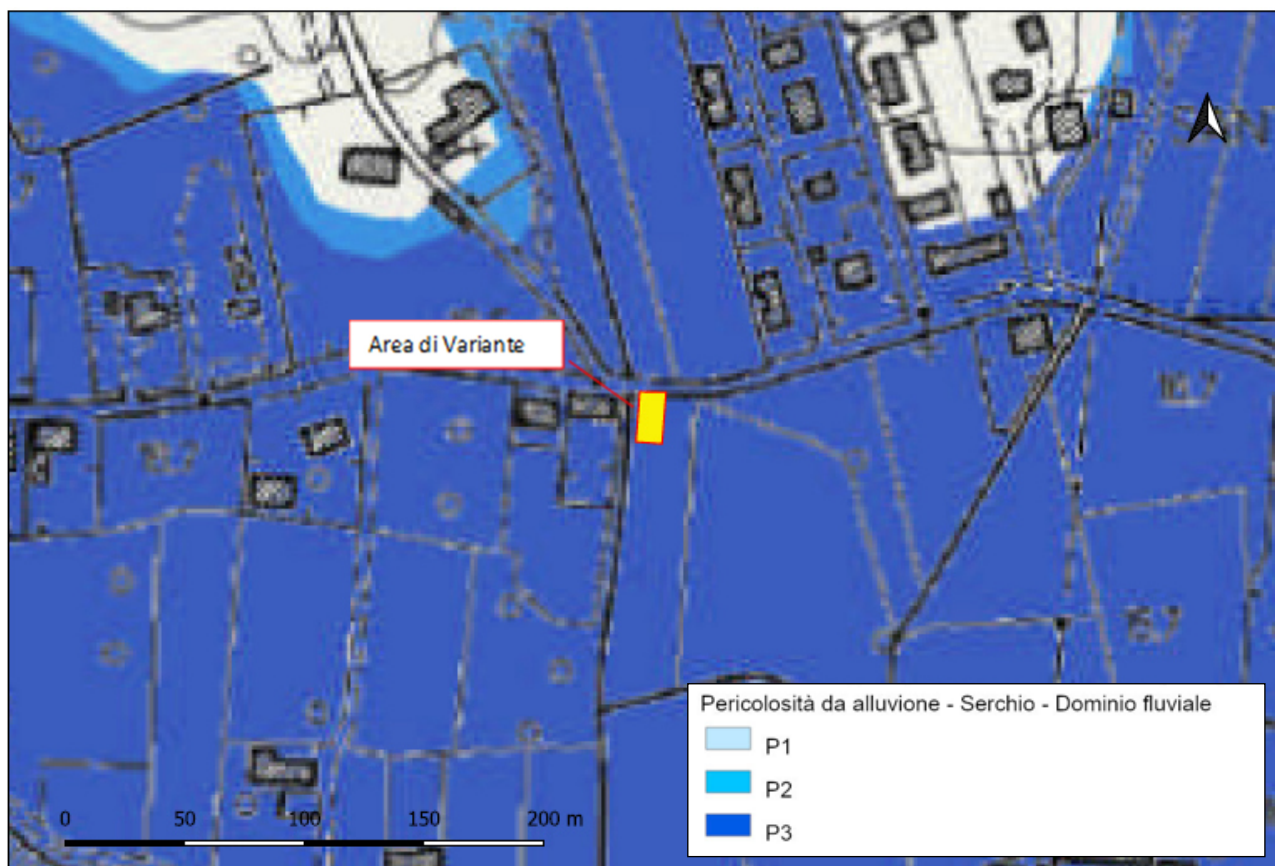


Fig. 16 – Pericolosità alluvionale – da PGRA Autorità Bacino Distrettuale Appennino Settentrionale

In merito agli aspetti idraulici l'area di variante si colloca a circa 5.65 m di distanza dal ciglio di sponda (in sinistra idrografica), del "Rio del Moro" individuato dalla R.T. ai sensi della L.R. 79 con la sigla TN37489. Il corso d'acqua è affluente di destra del Fosso Freddanella che scorre circa 200 m più a sud dell'area in esame.

Per quanto riguarda la L.R. 41/2018, *Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua* l'intervento ricade tra quelli consentiti.

All'art. 8, comma 1 lettera c, di suddetta normativa, viene indicato che: "1. La gestione del rischio di alluvioni è assicurata mediante la realizzazione delle seguenti opere finalizzate al raggiungimento almeno di un livello di rischio medio R2:

- a) opere idrauliche che assicurano l'assenza di allagamenti rispetto ad eventi poco frequenti;
- b) opere idrauliche che riducono gli allagamenti per eventi poco frequenti, conseguendo almeno una classe di magnitudo idraulica moderata, unitamente ad opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree;

 INGEGNERIE TOSCANE	RELAZIONE GEOLOGICA VARIANTE URBANISTICA II LOTTO FUNZIONALE RELATIVO ALL'ESTENSIONE DELLA RETE FOGNARIA ZONA OLTRESEBCHIO - LOC. S. ALESSIO - CARIGNANO, IN COMUNE DI LUCCA (LU).	Rev.00	pagina 40 di 49
--	---	--------	-------------------------------

c) opere di sopraelevazione, senza aggravio delle condizioni di rischio in altre aree;

d) interventi di difesa locale.”

Nel caso in esame si ricade in quanto indicato nella lettera C, pertanto le opere in progetto sono fattibili rispetto alle opere per la gestione del rischio di alluvioni.

Inoltre, all'art.13, comma 4 della medesima normativa, alla lettera E si fa riferimento a: *"... Nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, gli interventi di seguito indicati possono essere realizzati alle condizioni stabilite:...*
impianti e relative opere per il trattamento della risorsa idrica e per la depurazione, a condizione che sia realizzata almeno una delle opere di cui all'articolo 8, comma 1, lettere a), b) o c)".

Va sottolineato che il manufatto di sollevamento da progetto risulta sopraelevato di circa 0,40 m rispetto al letto del limitrofo Rio del Moro, una variazione topografica molto limitata e che, pertanto, non induce a ripercussioni sull'assetto idraulico esistente.

Tutte le altre opere in progetto sono completamente interrato e non andranno in alcun modo ad intaccare la stabilità idraulica del sito.



20/5/2022, 10:52:42

Unit of Management - Distretto

Reporting - Elementi a rischio lineari - (2020)

R3

R4

Reporting - Elementi a rischio poligonal - (2020)

R1

R2

R3

R4

Fig. 17 Carta del rischio da alluvione estratta dal PGRA ai sensi del D.lgs 49/2010

 INGEGNERIE TOSCANE	RELAZIONE GEOLOGICA VARIANTE URBANISTICA II LOTTO FUNZIONALE RELATIVO ALL'ESTENSIONE DELLA RETE FOGNARIA ZONA OLTRESE RCHIO - LOC. S. ALESSIO - CARIGNANO, IN COMUNE DI LUCCA (LU).	Rev.00	pagina 42 di 49
--	--	--------	-------------------------------

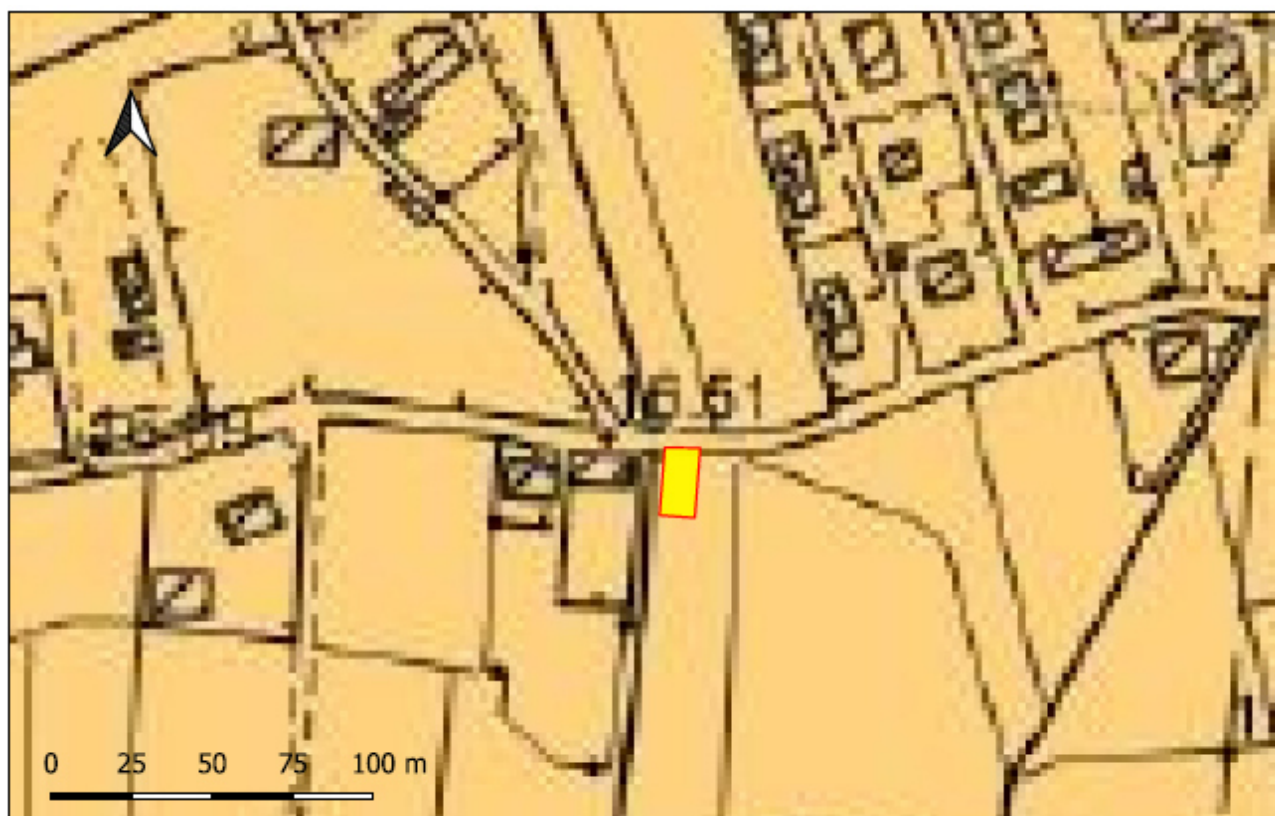
3.3. PERICOLOSITÀ SISMICA

Il Comune di Lucca, ai sensi della D.G.R.T. 431/2006, è stato classificato sismico di "zona 3", alla quale è associato un valore della massima accelerazione orizzontale dello spettro di risposta elastico, di cui alle Norme tecniche per le costruzioni, $ag/g = 0,15$ (con g = accelerazione di gravità). Sulla base degli assetti tettonici, stratigrafici e geomorfologici del territorio comunale e delle accelerazioni orizzontali previste sono possibili fenomeni di amplificazione sismica locale nonché di movimentazione di materiali in precarie condizioni di stabilità.

I fenomeni di amplificazione sono connessi in particolare alla presenza di effetti topografica, di morfologie sepolte, di faglie e contatti tettonici nonché di depositi di copertura (detritici, alluvionali) (amplificazione stratigrafica).

In questo contesto generale la pericolosità sismica, la cui cartografia redatta ai sensi del D.P.G.R. 5/r2020 (v. **Fig. 18**), a supporto del P.O.C. (tav. QG.11.4), evidenzia che l'area di variante ricade in classe a **pericolosità sismica elevata (S3)** che ai sensi del vigente D.P.G.R. 5/R/2020 individua:

- aree con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti rilevanti
- aree potenzialmente suscettibili di liquefazione dinamica, caratterizzate da terreni per i quali, sulla base delle informazioni disponibili, non è possibile escludere a priori il rischio di liquefazione;
- zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri dal piano di campagna;
- zone stabili suscettibili di amplificazioni locali con fattore di amplificazione (F_x) > 1.4 ;
- aree interessate da instabilità di versante quiescente, relative aree di evoluzione, nonché aree potenzialmente franose, di seguito, denominate "APF", e, come tali, suscettibili di riattivazione del movimento in occasione di eventi sismici.



Classi di pericolosità sismica

- S1** Pericolosità bassa: Zone stabili caratterizzate dalla presenza di litotipi assimilabili al substrato rigido in affioramento con morfologia pianeggiante o poco inclinata e dove non si ritengono probabili fenomeni di amplificazione o instabilità indotta dalla sollecitazione sismica.
- S2** Pericolosità media: Zone suscettibili di instabilità di versante inattiva e che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali (che non rientrano tra quelli previsti per la classe di pericolosità sismica S.3).
- S3** Pericolosità elevata: Zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica; zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche significativamente diverse; zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzati da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri.
- S4** Pericolosità molto elevata: Zone suscettibili di instabilità di versante attiva che pertanto potrebbero subire una accentuazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici.

Figura 18 - Carta della Pericolosità Sismica (estratta dal P.O.C. di Lucca Tav. QG.11.4)

La carta della Pericolosità Sismica redatta a supporto della variante al Regolamento Urbanistico per l'adeguamento alle norme della pericolosità Sismica - ai sensi dell'art. 17 della L. R. n. 1/2005, Approvata con Del. Comm. Str. n.69 del 15.05.2007, di cui si riporta un estratto in Fig. 18a, inserisce l'area oggetto di variante tra quelle a **pericolosità media-3t**, trattandosi di: *"Aree non interessate da fenomeni attivi, suscettibili, per costituzione geologica e/o morfologia, di subire fenomeni di moderata amplificazione della sollecitazione sismica, senza deformazioni permanenti del suolo"*.



Figura 18a - Carta della Pericolosità Sismica (estratta da variante al R.U. del 2007 di Lucca)

Pericolosità da fenomeni sismici

	3t	MEDIA	Aree non interessate da fenomeni attivi, suscettibili, per costituzione geologica e/o morfologica, di subire fenomeni di moderata amplificazione della sollecitazione sismica, senza deformazioni permanenti del suolo.
	4t	ELEVATA	Aree interessate da fenomeni attivi. Aree non interessate da fenomeni attivi, suscettibili, per costituzione geologica e/o morfologica, di subire deformazioni permanenti del suolo e/o fenomeni di elevata amplificazione della sollecitazione sismica.

Figura 19 - Carta delle Fattibilità (estratta dal R.U. vigente di Lucca)

LEGENDA

CLASSI DI FATTIBILITA' GEOMORFOLOGICA-GEOTECNICA

	Classe	Caratteri
	1g	FATTIBILITA' GEOLOGICA SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI
	2g	FATTIBILITA' GEOLOGICA CON NORMALI VINCOLI DA PRECISARE A LIVELLO DI PROGETTO
	2gg	
	3g	FATTIBILITA' GEOLOGICA CONDIZIONATA
	3gg	
	4g	FATTIBILITA' GEOLOGICA LIMITATA
	4gg	
	2l	FATTIBILITA' GEOTECNICA CON NORMALI VINCOLI DA PRECISARE A LIVELLO DI PROGETTO
	3s	FATTIBILITA' CONDIZIONATA PER SUBSIDENZA
	3d	FATTIBILITA' CONDIZIONATA PER DINAMICA TORRENTIZIA
	4d	FATTIBILITA' LIMITATA PER DINAMICA TORRENTIZIA
	4dd	

CLASSI DI FATTIBILITA' IDRAULICA

	Classe	Caratteri
	1i	FATTIBILITA' IDRAULICA SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI
	2i	FATTIBILITA' IDRAULICA CON NORMALI VINCOLI DA PRECISARE A LIVELLO DI PROGETTO
	3i	FATTIBILITA' IDRAULICA CONDIZIONATA
	4i	
	4ii	FATTIBILITA' IDRAULICA LIMITATA
	4iii	
	4ao	FATTIBILITA' LIMITATA IN ALVEO FLUVIALE ORDINARIO
	4ag	FATTIBILITA' LIMITATA IN AREA GOLENALE
	4ae	FATTIBILITA' LIMITATA IN FASCIA DI ESPANSIONE FLUVIALE

Per quanto riguarda l'identificazione della Fattibilità Sismica, essa viene recepita dal medesimo database di supporto alla variante al R.U. di cui sopra, di cui si riporta un estratto nella Fig. 20, secondo il quale l'area di interesse ricade tra quelle a **fattibilità condizionata per fenomeni sismici-3t**.



Figura 20 - Carta della Fattibilità Sismica (estratta da variante al R.U. del 2007 di Lucca)

CLASSI DI FATTIBILITA' SISMICA

Classe	Caratteri
3t	FATTIBILITA' CONDIZIONATA PER FENOMENI SISMICI
3tt	
4t	FATTIBILITA' LIMITATA PER FENOMENI SISMICI
4tt	

 INGEGNERIE TOSCANE	RELAZIONE GEOLOGICA VARIANTE URBANISTICA II LOTTO FUNZIONALE RELATIVO ALL'ESTENSIONE DELLA RETE FOGNARIA ZONA OLTRESEERCHIO - LOC. S. ALESSIO - CARIGNANO, IN COMUNE DI LUCCA (LU).	Rev.00	pagina 48 di 49
--	--	--------	-------------------------------

CRITERI DI FATTIBILITA' DELL'AREA IN VARIANTE URBANISTICA

Fattibilita' Sismica

Secondo la relazione tecnica redatta a supporto della variante al Regolamento Urbanistico per l'adeguamento alle norme della pericolosità Sismica - ai sensi dell'art. 17 della L. R. n. 1/2005, Approvata con Del. Comm. Str. n.69 del 15.05.2007, nelle aree a Fattibilità media 3t, come individuata per l'aspetto di fattibilità sismica per il sito in oggetto, non sussistono limitazioni. Tuttavia, si può intercorrere nella necessità di indagini di approfondimento, condotte a norma del D.M. 11/03/88 e delle Norme tecniche per le costruzioni, richieste sia nel caso di intervento diretto che di piano attuativo.

Fattibilita' Idraulica

Per quanto riguarda i criteri di Fattibilità Idraulica, si fa riferimento a quanto riportato in Relazione Illustrativa e Tecnica di fattibilità geologica, redatta a supporto della Variante al Regolamento Urbanistico di manutenzione e riallineamento al piano strutturale del 2010, nelle aree a fattibilità idraulica limitata, come per il caso in esame, vengono indicate forti limitazioni, per cui "non sono consentiti interventi di nuova edificazione", trattandosi di "Interventi edilizi che comportano la realizzazione di nuovi volumi con impegno di nuova superficie coperta". Nel caso oggetto di variante, trattandosi di uno scavo con realizzazione al suo interno di un impianto di sollevamento, non sono previsti nuovi volumi, ma un loro riutilizzo.

Alla medesima categoria di fattibilità viene prescritto che "trasformazioni fisiche e funzionali di edifici o opere esistenti sono ammesse solo se non comportanti incrementi di rischio idraulico o, nel caso lo comportino, se dotati di accorgimenti progettuali e/o funzionali atti alla mitigazione del rischio medesimo. Piani attuativi approvabili ed interventi diretti abilitabili soltanto se corredati dal progetto delle opere volte alla mitigazione del rischio". Su questa base, per quanto concerne il sollevamento in oggetto, si tratta di manufatto completamente interrato, ad esclusione di limitate parti, e che non altera e/o influenza la dinamica idraulica circostante e non è sottoposto a interferenze da parte delle risorse idriche presenti; tuttavia, si prevede di isolare idraulicamente le parti impiantistiche (circuiti elettrici e parti meccaniche, con particolare riguardo alle parti fuori terra), oltre a predisporre accorgimenti atti ad impedire la dispersione dei liquidi fognari in caso di allagamento del sito, come ad esempio l'installazione di chiusini a tenuta ermetica.

Fattibilita' Geologica

La fattibilità geologica viene definita come "con normali vincoli da precisare a livello di progetto", per cui non sussistono limitazioni. Possono essere prescritti indagini di approfondimento soltanto a supporto dell'intervento diretto.

 INGEGNERIE TOSCANE	RELAZIONE GEOLOGICA VARIANTE URBANISTICA II LOTTO FUNZIONALE RELATIVO ALL'ESTENSIONE DELLA RETE FOGNARIA ZONA OLTRESEERCHIO - LOC. S. ALESSIO - CARIGNANO, IN COMUNE DI LUCCA (LU).	Rev.00	pagina 49 di 49
--	--	--------	-------------------------------

In sintesi:

- Criteri di fattibilità geologica: in relazione agli aspetti geologici non sono dettate condizioni o eventuali limitazioni rispetto alla realizzazione della nuova stazione di sollevamento prevista nell'area di variante sulla base delle situazioni di pericolosità e di rischio geologico riscontrate;
- Criteri di fattibilità sismica: in relazione agli aspetti sismici non sono dettate condizioni o eventuali limitazioni rispetto alla realizzazione della nuova stazione di sollevamento sulla base delle situazioni di pericolosità e di rischio sismico riscontrate;
- Criteri di fattibilità idraulica - Rischio alluvioni: in relazione agli aspetti idraulici sono dettate condizioni o eventuali limitazioni rispetto alla realizzazione della nuova stazione di sollevamento sulla base delle situazioni di pericolosità e di rischio idrauliche riscontrate; a tal proposito, per quanto concerne il sollevamento in oggetto, si tratta di manufatto completamente interrato, ad esclusione di limitate parti, e che non altera e/o influenza la dinamica idraulica circostante e non è sottoposto a interferenze da parte delle risorse idriche presenti; tuttavia, si prevede di isolare idraulicamente le parti impiantistiche (circuiti elettrici e parti meccaniche, con particolare riguardo alle parti fuori terra), oltre a predisporre accorgimenti atti ad impedire la dispersione dei liquidi fognari in caso di allagamento del sito, come ad esempio l'installazione di chiusini a tenuta ermetica.
- Criteri fattibilità idrogeologica connesso alla risorsa idrica: per quanto concerne gli aspetti connessi a problematiche idrogeologiche gli interventi in progetto dovranno essere realizzati nel rispetto del D.L. 152/2006 e s.m.i.. Dovrà essere inoltre prevista un'adeguata gestione dei materiali di risulta degli scavi nelle fasi di cantiere, in ottemperanza alla normativa vigente.
- In merito alla salvaguardia dello stato attuale della qualità della risorsa idrica sotterranea l'intervento dovrà essere subordinato a contenere i possibili rischi d'inquinamento per cui dovranno essere presi tutti gli accorgimenti necessari e previsti dalla normativa vigente atti a non degradare la qualità della risorsa idrica superficiale e sotterranea.

Valutato che la variante interessa un'opera completamente interrata facente parte di una rete infrastrutturale pubblica, che non è prevista la presenza di personale all'interno dell'opera e considerata la sua importanza dal punto di vista della tutela ambientale, sulla base dei risultati ottenuti e nei limiti di quanto sopra esposto, si conclude che la variante è compatibile con il contesto geologico nel quale si inserisce.

Pisa, giugno 2022

Geol. Filippo Landini

ALLEGATO 1

INDAGINI ESEGUITE

PROVA PENETROMETRICA STATICA

LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

2.01PG05-077

- committente : Ing. Toscani
 - lavoro :
 - località : Via S. Alessio, Lucca
 - note :

- data : 17/03/2022
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs	Prof. m	Letture di campagna		qc	fs	qc/fs
	punta	laterale	kg/cm ²				punta	laterale	kg/cm ²		
0,20	----	----	--	-----	----	5,20	17,0	29,0	17,0	0,73	23,0
0,40	----	----	--	1,00	----	5,40	12,0	23,0	12,0	0,87	14,0
0,60	12,0	27,0	12,0	0,80	15,0	5,60	14,0	27,0	14,0	0,73	19,0
0,80	9,0	21,0	9,0	0,60	15,0	5,80	15,0	26,0	15,0	1,13	13,0
1,00	9,0	18,0	9,0	0,47	19,0	6,00	18,0	35,0	18,0	0,60	30,0
1,20	10,0	17,0	10,0	0,67	15,0	6,20	17,0	26,0	17,0	1,40	12,0
1,40	11,0	21,0	11,0	0,73	15,0	6,40	5,0	26,0	5,0	2,27	2,0
1,60	11,0	22,0	11,0	0,73	15,0	6,60	41,0	75,0	41,0	1,20	34,0
1,80	9,0	20,0	9,0	0,67	13,0	6,80	76,0	94,0	76,0	1,33	57,0
2,00	13,0	23,0	13,0	0,87	15,0	7,00	4,0	24,0	4,0	0,20	20,0
2,20	10,0	23,0	10,0	0,60	17,0	7,20	5,0	8,0	5,0	0,20	25,0
2,40	10,0	19,0	10,0	0,47	21,0	7,40	6,0	9,0	6,0	0,20	30,0
2,60	8,0	15,0	8,0	0,40	20,0	7,60	6,0	9,0	6,0	0,27	22,0
2,80	7,0	13,0	7,0	0,47	15,0	7,80	5,0	9,0	5,0	0,20	25,0
3,00	9,0	16,0	9,0	0,47	19,0	8,00	16,0	19,0	16,0	2,87	6,0
3,20	8,0	15,0	8,0	0,53	15,0	8,20	77,0	120,0	77,0	1,80	43,0
3,40	7,0	15,0	7,0	0,27	26,0	8,40	17,0	44,0	17,0	1,07	16,0
3,60	6,0	10,0	6,0	0,33	18,0	8,60	11,0	27,0	11,0	0,80	14,0
3,80	5,0	10,0	5,0	0,20	25,0	8,80	12,0	24,0	12,0	0,47	26,0
4,00	7,0	10,0	7,0	0,33	21,0	9,00	7,0	14,0	7,0	0,53	13,0
4,20	5,0	10,0	5,0	0,33	15,0	9,20	11,0	19,0	11,0	0,73	15,0
4,40	3,0	8,0	3,0	0,13	22,0	9,40	8,0	19,0	8,0	0,33	24,0
4,60	4,0	6,0	4,0	0,20	20,0	9,60	8,0	13,0	8,0	0,87	9,0
4,80	4,0	7,0	4,0	1,13	4,0	9,80	12,0	25,0	12,0	1,20	10,0
5,00	17,0	34,0	17,0	0,80	21,0	10,00	12,0	30,0	12,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo PAGANI da 10/20t
 - COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
 - punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
 - manicotto laterale (superficie 150 cm²)

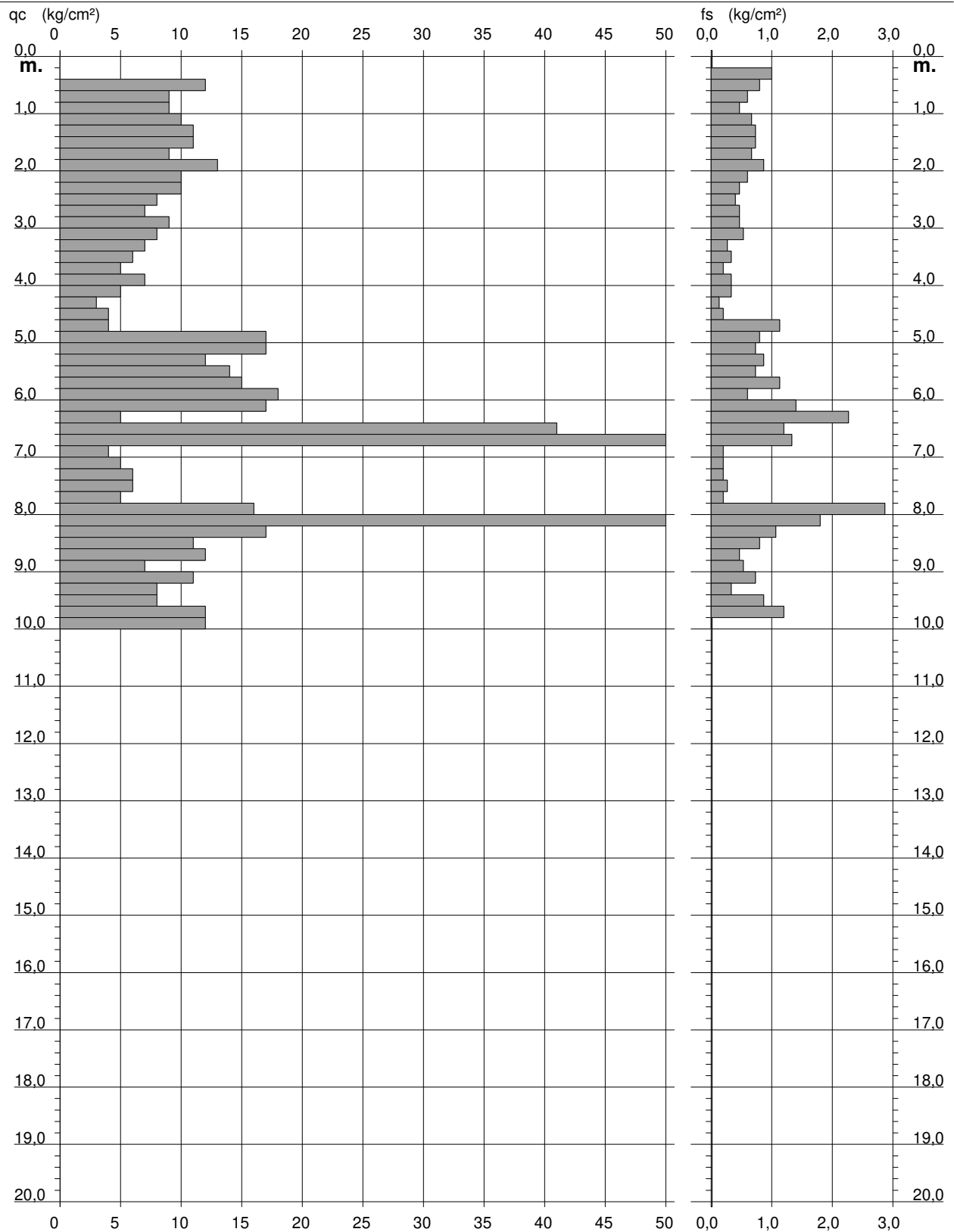
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.01PG05-077

- committente : Ing. Toscane
- lavoro :
- località : Via S. Alessio, Lucca

- data : 17/03/2022
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



PROVA PENETROMETRICA STATICA

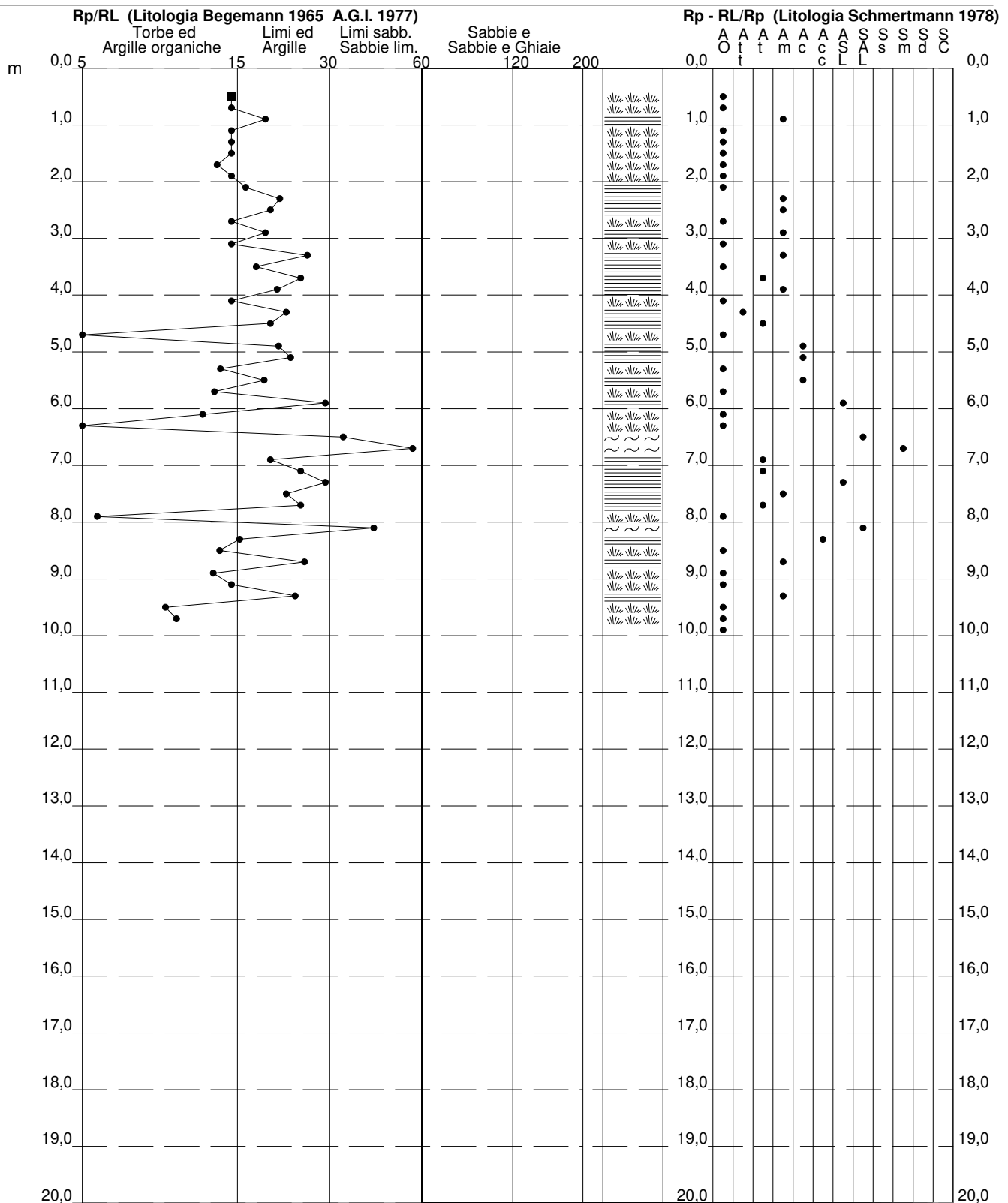
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

2.01PG05-077

- committente : Ing. Toscane
 - lavoro :
 - località : Via S. Alessio, Lucca
 - note :

- data : 17/03/2022
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - scala vert.: 1 : 100



PROVA PENETROMETRICA STATICA

TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

2.01PG05-077

- committente : Ing. Toscane
 - lavoro :
 - località : Via S. Alessio, Lucca
 - note :

- data : 17/03/2022
 - quota inizio : Piano Campagna
 - prof. falda : Falda non rilevata
 - pagina : 1

NATURA COESIVA												NATURA GRANULARE											
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	d'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25	Mo kg/cm²	Dr %	σ1s (°)	σ2s (°)	σ3s (°)	σ4s (°)	σdm (°)	σmy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²		
0.20	--	--	???	1.85	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0.40	--	--	???	1.85	0.07	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0.60	12	15	2////	1.85	0.11	0.57	48.7	97	146	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
0.80	9	15	2////	1.85	0.15	0.45	25.2	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1.00	9	19	2////	1.85	0.19	0.45	19.1	77	115	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1.20	10	15	2////	1.85	0.22	0.50	17.3	85	128	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1.40	11	15	2////	1.85	0.26	0.54	15.6	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1.60	11	15	2////	1.85	0.30	0.54	13.2	91	137	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
1.80	9	13	2////	1.85	0.33	0.45	9.1	79	119	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2.00	13	15	2////	1.85	0.37	0.60	11.6	103	154	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2.20	10	17	2////	1.85	0.41	0.50	8.1	97	146	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2.40	10	21	2////	1.85	0.44	0.50	7.3	110	165	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2.60	8	20	2////	1.85	0.48	0.40	5.0	133	199	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
2.80	7	15	1***	1.85	0.52	0.35	3.8	26	40	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3.00	9	19	2////	1.85	0.55	0.45	4.8	154	231	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3.20	8	15	2////	1.85	0.59	0.40	3.8	166	250	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3.40	7	26	2////	1.85	0.63	0.35	3.0	172	258	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3.60	6	18	2////	1.85	0.67	0.30	2.3	163	244	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
3.80	5	25	2////	1.85	0.70	0.25	1.7	143	215	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4.00	7	21	2////	1.85	0.74	0.35	2.5	186	280	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4.20	5	15	1***	1.85	0.78	0.25	1.5	32	47	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4.40	3	22	2////	1.85	0.81	0.15	0.8	90	135	15	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4.60	4	20	2////	1.85	0.85	0.20	1.0	120	180	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
4.80	4	4	1***	1.85	0.89	0.20	1.0	26	39	6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
5.00	17	21	2////	1.85	0.93	0.72	4.6	258	386	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
5.20	17	23	2////	1.85	0.96	0.72	4.4	269	403	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
5.40	12	14	2////	1.85	1.00	0.57	3.1	276	414	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
5.60	14	19	2////	1.85	1.04	0.64	3.4	291	437	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
5.80	15	13	2////	1.85	1.07	0.67	3.5	302	453	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
6.00	18	30	4/:	1.85	1.11	0.75	3.8	312	468	56	11	29	33	36	39	27	27	0.021	30	45	54		
6.20	17	12	2////	1.85	1.15	0.72	3.5	324	485	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
6.40	5	2	1***	1.85	1.18	0.25	0.9	33	49	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
6.60	41	34	3:::	1.85	1.22	--	--	--	--	--	36	33	36	38	41	31	30	0.072	68	103	123		
6.80	76	57	3:::	1.85	1.26	--	--	--	--	--	57	36	38	40	43	34	33	0.122	127	190	228		
7.00	4	20	2////	1.85	1.30	0.20	0.6	120	180	20	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
7.20	5	25	2////	1.85	1.33	0.25	0.8	150	225	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
7.40	6	30	4/:	1.85	1.37	0.30	0.9	180	270	29	--	28	31	35	38	25	26	--	10	15	18		
7.60	6	22	2////	1.85	1.41	0.30	0.9	180	270	29	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
7.80	5	25	2////	1.85	1.44	0.25	0.7	150	225	25	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
8.00	16	6	2////	1.85	1.48	0.70	2.4	371	557	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
8.20	77	43	3:::	1.85	1.52	--	--	--	--	--	53	35	38	40	42	33	33	0.111	128	193	231		
8.40	17	16	2////	1.85	1.55	0.72	2.4	387	581	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
8.60	11	14	2////	1.85	1.59	0.54	1.6	310	466	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
8.80	12	26	2////	1.85	1.63	0.57	1.7	329	493	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
9.00	7	13	1***	1.85	1.66	0.35	0.9	46	68	11	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
9.20	11	15	2////	1.85	1.70	0.54	1.5	313	470	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
9.40	8	24	2////	1.85	1.74	0.40	1.0	240	360	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
9.60	8	9	2////	1.85	1.78	0.40	1.0	240	360	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
9.80	12	10	2////	1.85	1.81	0.57	1.5	334	501	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		
10.00	12	--	2////	1.85	1.85	0.57	1.4	335	502	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--		

OGGETTO: INDAGINI SISMICHE PER IL CALCOLO DEL PARAMETRO $V_{S,eq}$	
TIPOLOGIA INDAGINI: MASW / HOLISURFACE HVSr	DATA INDAGINE:
	Marzo 2022
LOCALITA': COMUNE DI LUCCA (LU) FRAZIONE DI SANT'ALESSIO LOCALITA' CARIGNANO	
COMMITTENTE: INGEGNERIE TOSCANI SRL	

codice documento:	j22033.03.17_crg.doc
versione /revisione:	01
stato documento:	definitivo
autore:	a.benvenuti
revisione:	v.carnicelli
approvazione:	v.carnicelli
data:	Marzo 2022

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	2
2	TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	2
2.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	2
2.2	INDAGINE HOLISURFACE: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE	3
2.3	INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE	4
3	ANALISI DEI RISULTATI	6

1 PREMESSA

Su incarico ddi Ingegnerie Toscane S.R.L. è stata eseguita, nel mese di Marzo 2022, un'indagine geofisica nel Comune di Lucca (LU), nella frazione di Sant'Alessio, in località Carignano, finalizzata alla determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Onde S) ed al calcolo del parametro $V_{s,eq}$.

L'ubicazione delle indagini è riportata nelle tavole allegate; le indagini sono state posizionate sulla base CTR.

Fonte dei dati Regione Toscana: dataset "sezione di Carta Tecnica Regionale scala 1:10.000": Sezione 261100 Titolo: Ponte San Pietro; dataset "sezione di Carta Tecnica Regionale scala 1: 2.000: Fogli 20F62 e 19F06.

2 TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Al fine di caratterizzare il sito in esame dal punto di vista della velocità delle onde di taglio (V_s), si sono effettuate acquisizioni ed analisi MASW sensu lato, secondo la tecnica HoliSurface MFA (Multiple Filter Analysis – Dziewonsky et al., 1969; Pedersen et al., 2003; Luo et al., 2011; Dal Moro et al., 2015a; 2015b) adattata a sfruttare in maniera olistica tanto le componenti verticale e radiale dell'onda di Rayleigh (anche considerando l'RVSR - Radial-to-Vertical Spectral Ratio e l'RPM - Rayleigh-wave Particle Motion - metodologia HoliSurface) che quella orizzontale trasversale dell'onda di Love.

Nella fattispecie particolare le procedure adottate sono state eseguite in accordo con le norme tecniche per le costruzioni del DM 17 Gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito (quindi l'eventuale amplificazione dello scuotimento del suolo in caso di sisma) alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s).

Per verificare i risultati ottenuti dall'indagine HoliSurface è stata eseguita n.1 acquisizione in sismica passiva a stazione singola denominata, in seguito, HVSR1, e ubicata in prossimità dello stendimento stesso.

In particolare l'elaborazione dell'indagine HVSR ha consentito, unitamente ai risultati ottenuti dall'indagine MASW, di investigare il sottosuolo a profondità significativa.

2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per l'indagine HoliSurface è costituita da:

- un sistema di acquisizione dati: costituito da un sismografo P.A.S.I. modello GEA24; un notebook PC Windows XP con software di acquisizione P.A.S.I.;
- un sistema di energizzazione ad impatto verticale ed orizzontale: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 kg battente verticalmente su piastra quadrata in teflon®, ovvero battente orizzontalmente su traversina in legno, posta direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde sismiche compressionali e di taglio, in grado di produrre onde superficiali ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali;
- un sistema di trigger: consistente in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta.
- un sistema di ricezione costituito da un geofono triassiale H3C (*eliosoft*), cioè da una terna passiva calibrata con geofoni da 2Hz (frequenza propria) verticali ed orizzontali,

orientata secondo le direzioni verticale e radiale delle onde di Rayleigh e trasversale orizzontale delle onde di Love.

La strumentazione utilizzata per la misura dei microtrempi ambientali, elaborata attraverso la tecnica HVSR, è costituita da un tromografo digitale (Tromino® di MoHo srl) dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e UP-DOWN.

2.2 INDAGINE HOLISURFACE: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

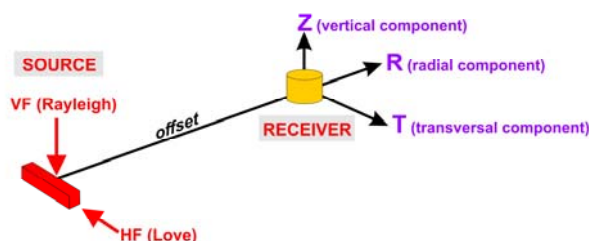
La tecnica HoliSurface è una tecnica di acquisizione multi canale e multi componente di carattere attivo (con sorgente sismica attiva) atta ad analizzare la propagazione delle onde di superficie (Rayleigh e Love) attraverso l'utilizzo di un unico geofono triassiale che semplifica notevolmente le procedure di campagna.

HS significa Holistic analysis of Surface waves, cioè analisi olistica, congiunta, delle onde di superficie.

E' una metodologia brevettata (presentata in diversi articoli, quali Dal Moro et al., 2015, 2016; Dal Moro e Puzzilli, 2017; Dal Moro, 2018) in cui vengono considerate, in un approccio congiunto, diverse componenti del moto che, nel loro insieme, descrivono in modo completo la propagazione delle onde di superficie nel mezzo indagato.

L'acquisizione dati HoliSurface avviene attraverso un geofono triassiale triggerabile (di cui sono note le polarità) posto ad una certa distanza dalla sorgente (rif. fig. seguente).

Attraverso una doppia energizzazione utilizzata per produrre sia le onde di Rayleigh (VF, vertical force) raccolte dalle componenti Z e R, che le onde di Love (HF, horizontal force) raccolte dalla componente T, è possibile ottenere 3 componenti del moto dell'onda sismica.



Con la sola energizzazione verticale (VF) è inoltre possibile definire sia il rapporto spettrale radiale/verticale delle ampiezze in funzione della frequenza (RVSR, che può essere pensato come una sorta di HVSR da sismica attiva), sia la curva del moto delle particelle dell'onda di Rayleigh in funzione della frequenza (curva RPM) che fornisce informazioni quantitative sul movimento effettivo della curva di Rayleigh nel mezzo attraversato.

Il metodo HS si basa sull'analisi delle velocità di gruppo (ovvero il rapporto tra spazio percorso e tempo di arrivo dell'onda, frequenza per frequenza) lungo queste tre componenti del moto sismico: tale approccio rappresenta un miglioramento ed evoluzione dei classici metodi MFA (multiple filter analysis – Dziewonski et al., 1969) e FTAN (frequency-time analysis – Natale et al., 2004) utilizzati in sismologia per analizzare la dispersione delle onde di superficie.

Per calcolare le velocità di gruppo è sufficiente una sola traccia o geofono (diversamente dalla velocità di fase, che necessita di più tracce e geofoni) e gli spettri relativi a tali velocità, quando si ha a che fare con offset limitati, possono risultare notevolmente più chiari di quelli delle velocità di fase.

L'elaborazione HS consiste nel ricercare un modello di sottosuolo compatibile con i tre spettri relativi alle velocità di gruppo Z, R e T, con la curva RPM e con la curva RVSR, analizzati tutti in modo congiunto; è quindi una tecnica estremamente robusta in quanto limita notevolmente i gradi di libertà dell'inversione dei dati sismici e abbatte sensibilmente il problema della non univocità delle soluzioni delle indagini indirette.

Le elaborazioni sono state eseguite tramite il software HoliSurface 2019 (eliosoft).

Le acquisizioni HoliSurface sono state effettuate secondo le seguenti configurazioni spaziali e temporali:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MFA / HOLISURFACE	
Coordinate GB Geofono Triassiale	X= 1618745 Y= 4857674
Orientazione congiungente sorgente geofono 3D -	SW-NE (N84)
Distanza sorgente-geofono 3D	15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 33 m
Durata acquisizione	2 s
Intervallo di campionamento	1 ms
Componenti acquisite	18 m, 21 m Rayleigh verticale e radiale;

2.3 INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte dai terremoti.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma un ruolo fondamentale nella produzione dei microtremori è rivestito dalle onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

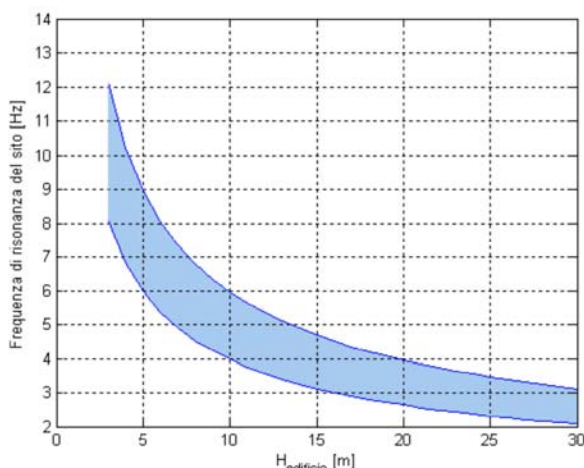
I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$

- 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.

Per quanto concerne il fenomeno della "doppia risonanza" (cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico, così come trasmesso in superficie, e quelle dei manufatti ivi edificati) è noto che, dal punto di vista empirico, la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza.

Nella figura seguente (tratta da Masi et al., 2007) si riporta, a titolo esemplificativo, una possibile relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza di sito. La fascia azzurra indica l'area più vulnerabile dal punto di vista dei fenomeni di doppia risonanza.



La quantificazione della frequenza caratteristica di sito attraverso misure dirette di microtremore sismico può quindi essere di estremo aiuto nella fase di progettazione.

Durante questa campagna geofisica è stata eseguita una misura di microtremori ambientali (acquisizione in sismica passiva a stazione singola) secondo la seguente configurazione spaziale e temporale:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINI HVSR			
Denominazione	Coordinate Gauss Boaga	Durata acquisizione	Frequenza di campionamento
HVSR1	X= 1618759 Y= 4857674	30 min	128 Hz

La misura dei microtremori ambientali, orientata secondo il Nord e della durata di 30 minuti, tempo di registrazione più che adeguato per la finalità dell'indagine stessa, è stata effettuata con il tromografo digitale Tromino® di MoHo srl.

I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

I risultati ottenuti dall'esecuzione dell'indagine tromografica sono stati elaborati attraverso il software Grilla 8.0 (MoHo srl).

3 ANALISI DEI RISULTATI

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo di un'analisi congiunta tra le componenti radiale e verticale dell'onda di Rayleigh, il rapporto spettrale radiale / verticale (RVSR) dell'onda di Rayleigh, l'analisi del moto determinato dal passaggio dell'onda di Rayleigh (RPM) e la misura dei microtrempi HVSr1, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo del sito indagato sia il parametro $V_{S,eq}$: il modello di sottosuolo in termini di V_S è stato ottenuto dal fit congiunto tra tutte le componenti di cui sopra.

Nella **Figura 4** sono riportati i dati relativi alle onde di superficie acquisite (in alto a sinistra le tracce da sismica attiva); in alto a destra curva RVSR (Radial-to-Vertical Spectral Ratio; nei diagrammi colorati sono riportati gli spettri delle velocità di gruppo dei dati di campagna. In basso a sinistra lo spettro di velocità di gruppo della componente verticale dell'onda di Rayleigh, in basso a destra quello relativo alla componente radiale dell'onda di Rayleigh.

Nella **Figura 5** sono riportati gli spettri delle velocità di gruppo dei dati di campagna su cui sono sovrapposti, con contour lines nere, i dati del modello di sottosuolo calcolato; in alto: componente verticale dell'onda di Rayleigh, in basso la componente radiale dell'onda di Rayleigh.

In **Figura 6** è riportata la curva RPM (Rayleigh-wave Particle Motion): in blu continua, curva relativa al dataset acquisito; in rosso tratteggiata, curva relativa al modello di sottosuolo calcolato.

L'utilizzo dei dati acquisiti attraverso l'indagine in sismica passiva HVSr1 ha consentito di vincolare ulteriormente il modello finale.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

In cui

- h_i spessore dell'i-esimo strato;
- $V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il profilo verticale delle Onde S, in corrispondenza dell'acquisizione HoliSurface, ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna è risultato il seguente:

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.40	0.40	90
2.00	1.60	150
4.30	2.30	180
7.00	2.70	210
15.50	8.50	400
25.00	9.50	505
35.00	10.00	640
inf.	inf.	890

$$V_{s_eq}(0.0-30.0)=339\text{m/s}$$

Il profilo di V_s (rif. Fig.7) ricavato dall'indagine HoliSurface individua una V_{s_eq} , riferita al piano di campagna, pari a 339 m/s.

Pisa, Marzo 2022

P3 s.n.c.
P3 s.n.c.
 Piazza Martiri della Libertà, 22/23
 56127 PISA
 C.F./P.IVA 01923910507
Alto Benvenuti



Figura 1. Ubicazione indagini – Inquadramento generale.

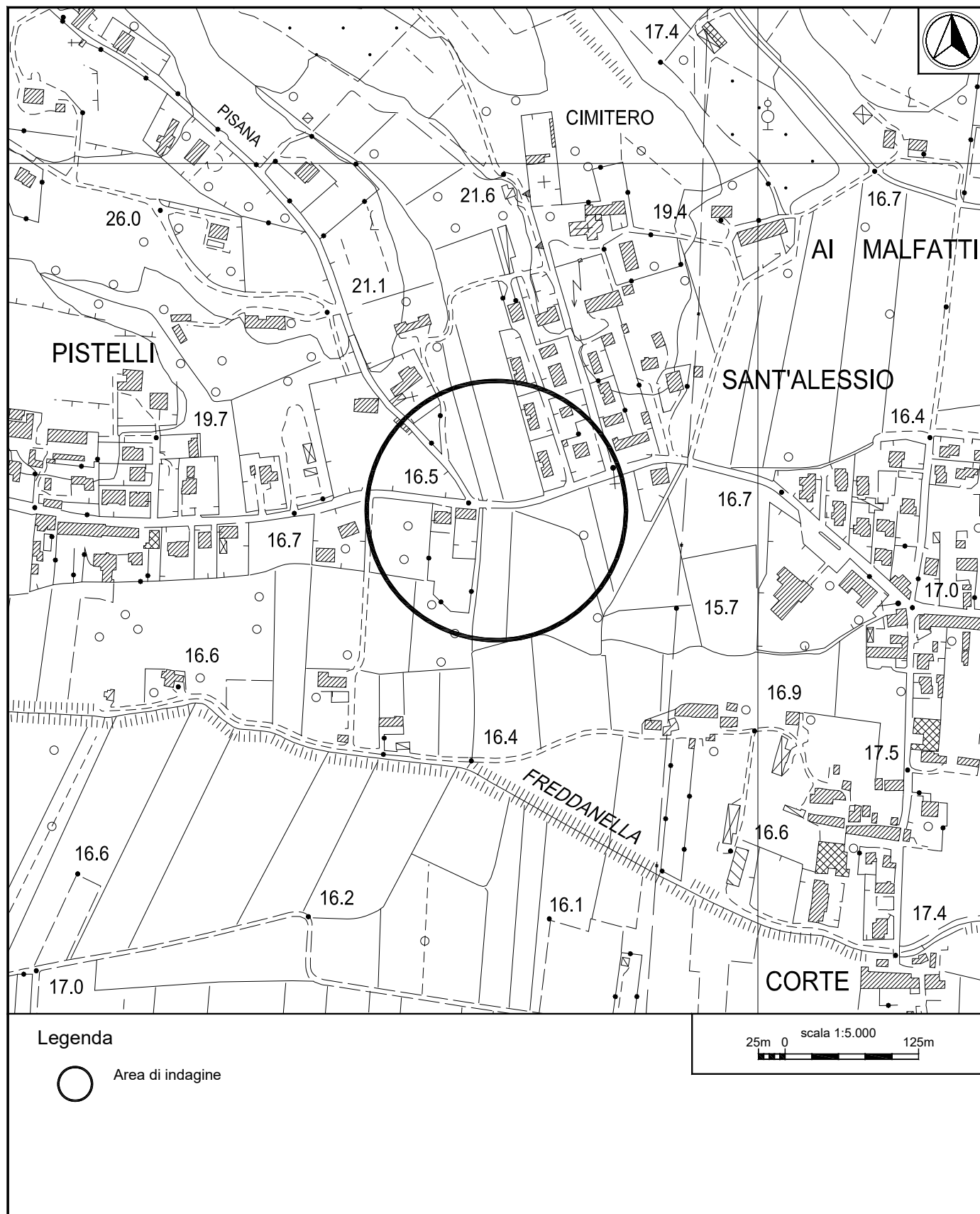


Figura 2. Ubicazione indagini – Inquadramento di dettaglio.



Figura 3. Ubicazione indagini – Particolare su base CTR 2.000.

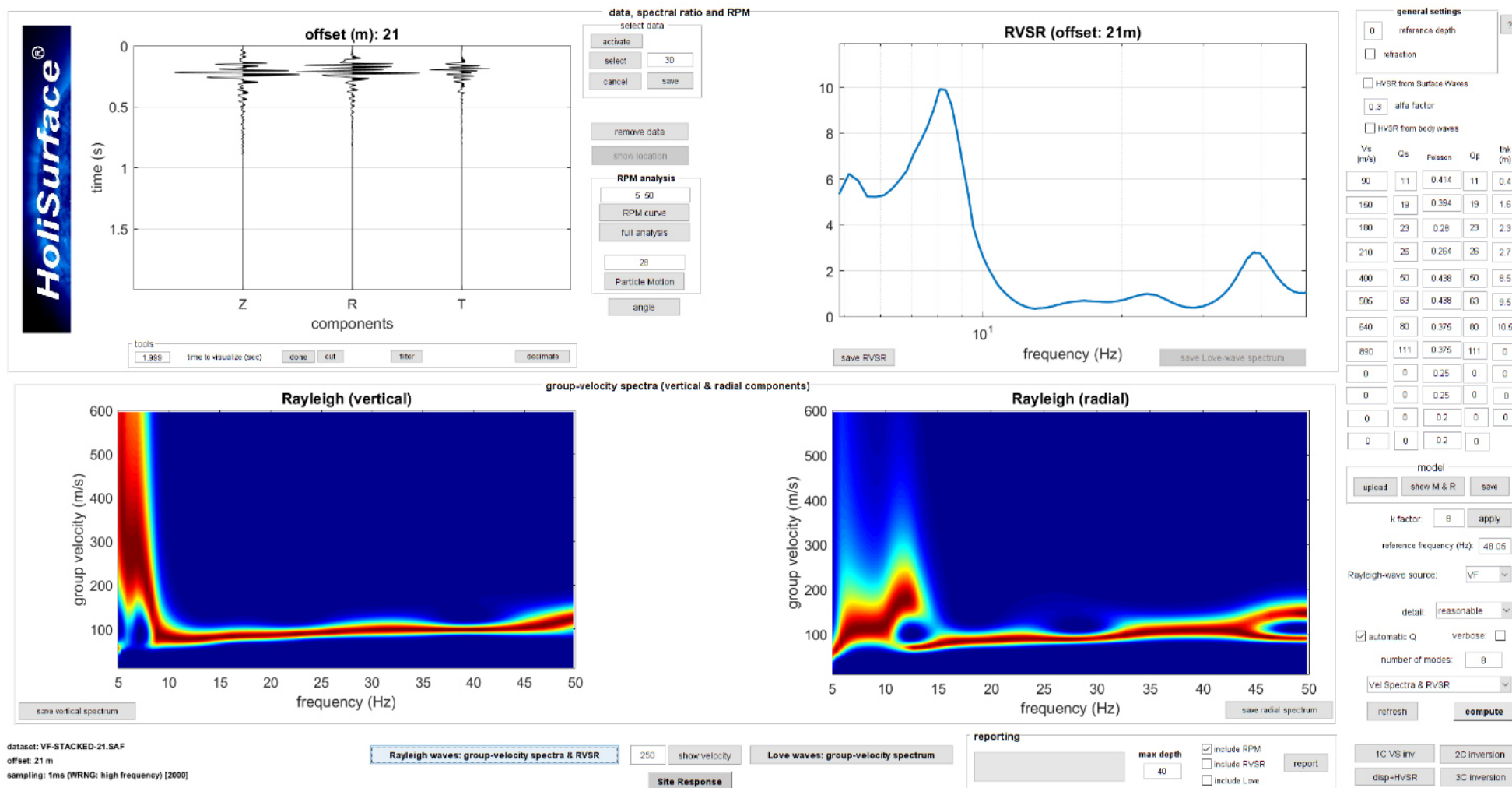


Figura 4. Indagine HoliSurface. Sismogrammi, spettri di velocità e modelli di dispersione.

-) In alto a sinistra sono riportati i dati relativi alle onde di superficie acquisite (Z=Verticale; R=Radiale)

-) In alto a destra curva RVSr (Radial-to-Vertical Spectral Ratio)

-) I diagrammi colorati rappresentano gli spettri delle velocità di gruppo ricavati dei dati di campagna: In basso a sx: componente verticale dell'onda di Rayleigh. In basso a dx: componente radiale dell'onda di Rayleigh.

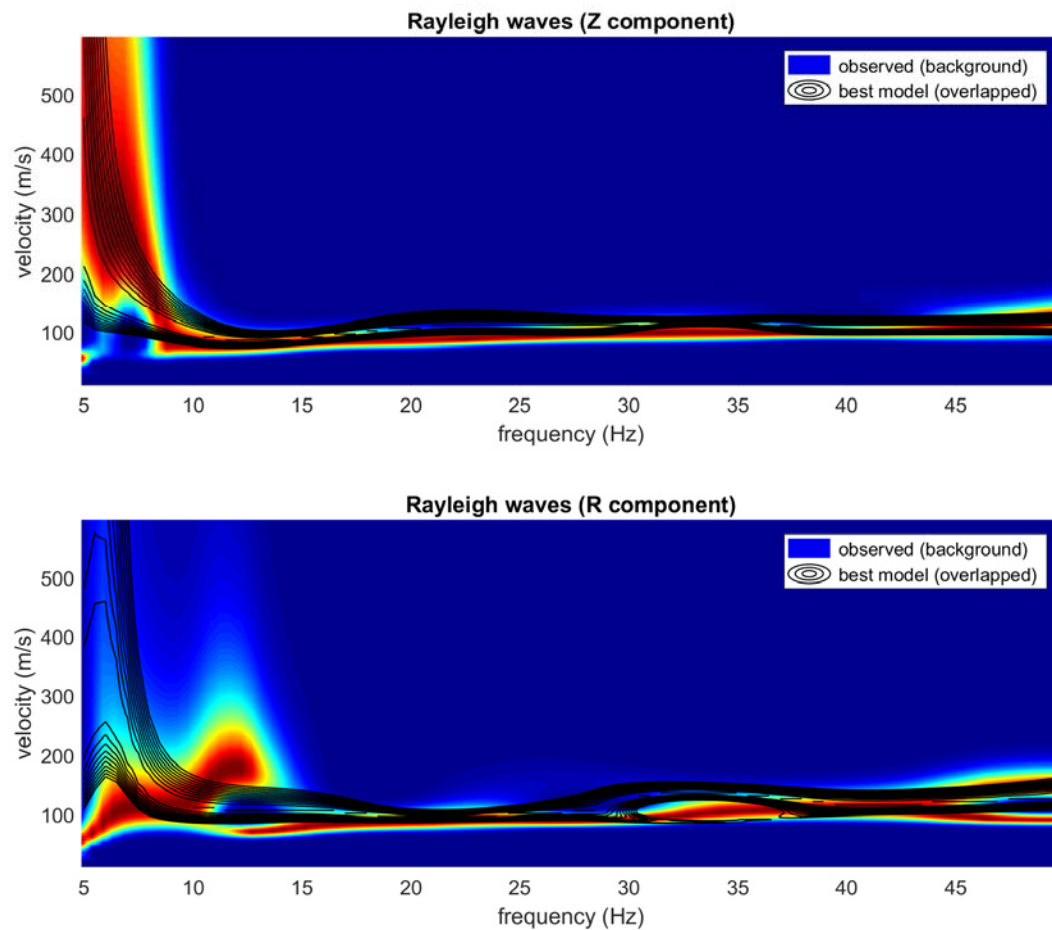


Figura 5. Nei diagrammi colorati sono indicati gli spettri delle velocità di gruppo dei dati di campagna su cui sono sovrapposti, con contour lines nere, lo spettro del modello di sottosuolo calcolato: -) In alto: componente verticale dell'onda di Rayleigh -) In basso: componente radiale dell'onda di Rayleigh.

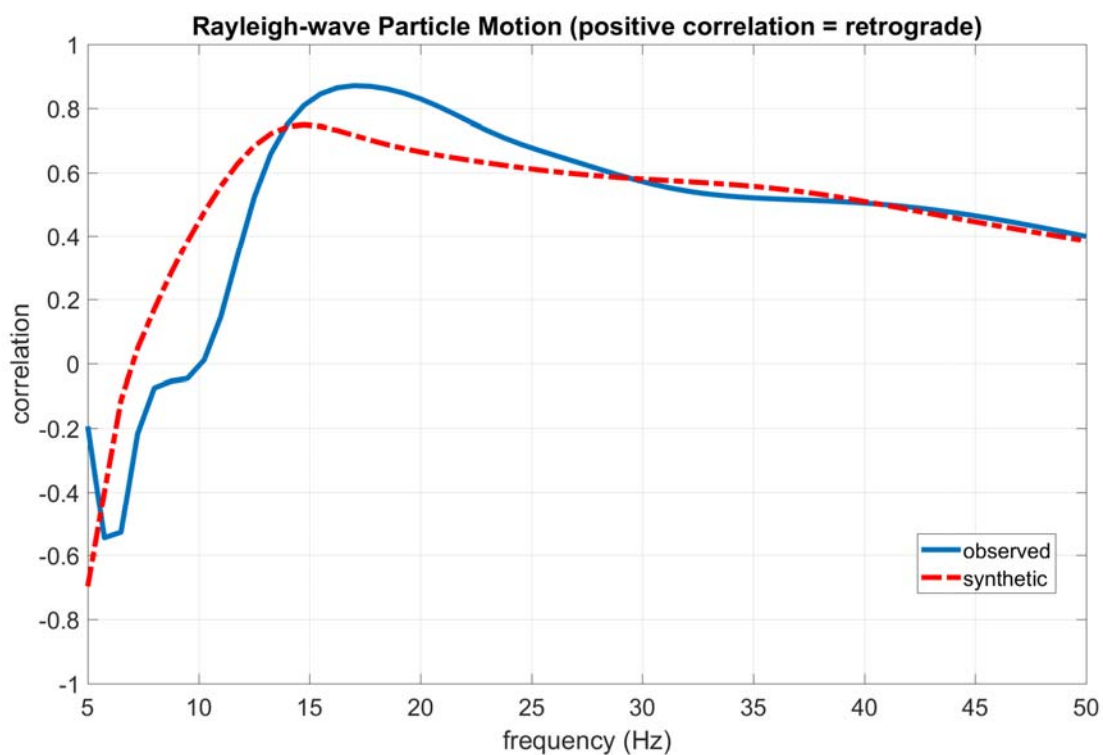


Figura 6. Curva RPM (Rayleigh-wave Particle Motion): in blu continua, curva relativa al dataset acquisito; in rosso tratteggiata, curva relativa al modello di sottosuolo calcolato.

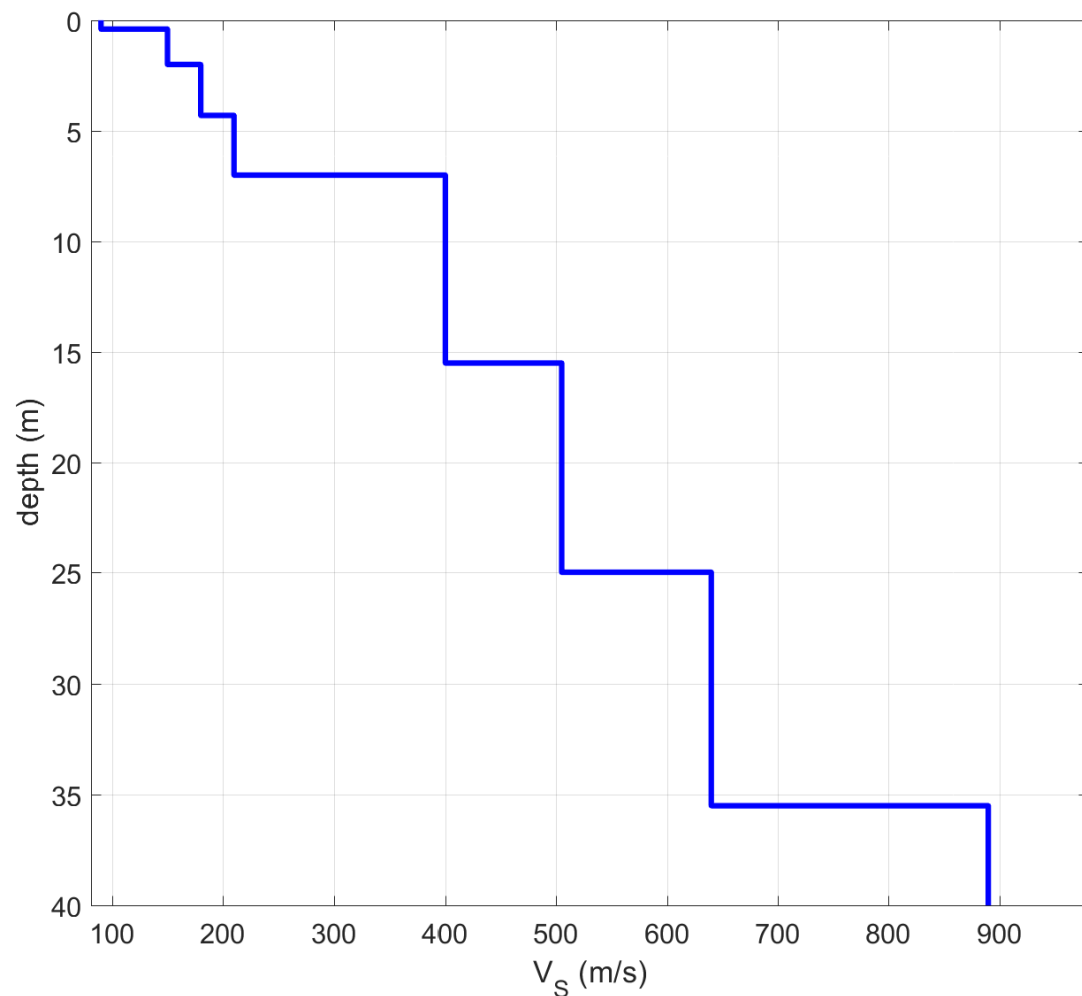


Figura 7. Indagine HoliSurface. Profilo verticale delle Vs.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.40	0.40	90
2.00	1.60	150
4.30	2.30	180
7.00	2.70	210
15.50	8.50	400
25.00	9.50	505
35.00	10.00	640
inf.	inf.	890

$$V_{s_eq}(0.0-30.0)=339\text{m/s}$$

Seguono: schede indagine HVSR – Oltre al grafico della curva sperimentale H/V e agli spettri delle tre componenti del moto in velocità, si riportano, per la verticale di misura, a titolo esplicativo, il confronto fra curva sperimentale H/V e curva teorica relative al modello di sottosuolo proposto (e, conseguentemente, il profilo delle Vs calcolato sulla verticale).

J22033_03_21_LUCCA_TR, CARIGNANO HVSR2

Strumento: TEP-0085/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 21/03/22 12:12:07 Fine registrazione: 21/03/22 12:42:06

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00".

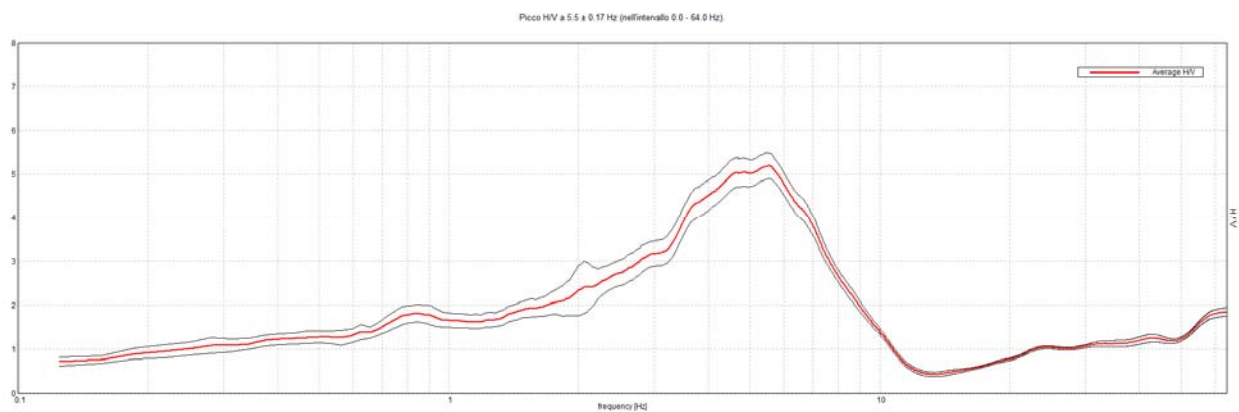
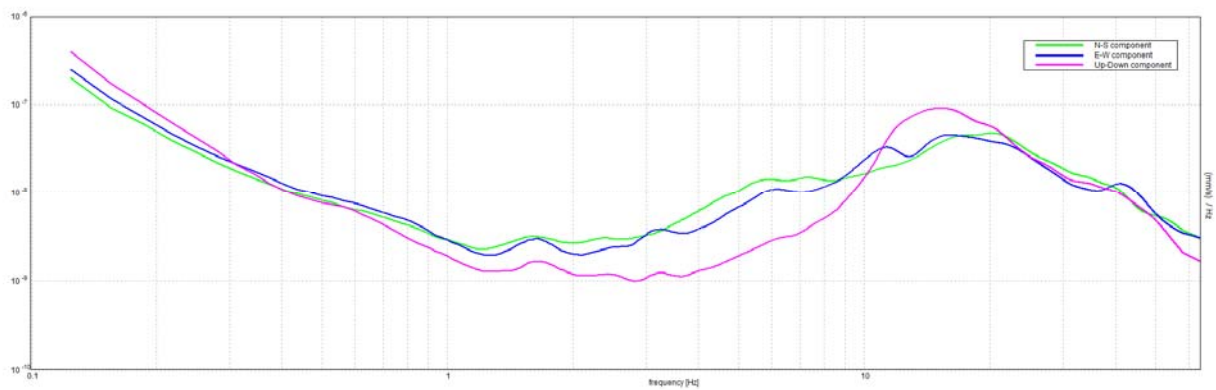
Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

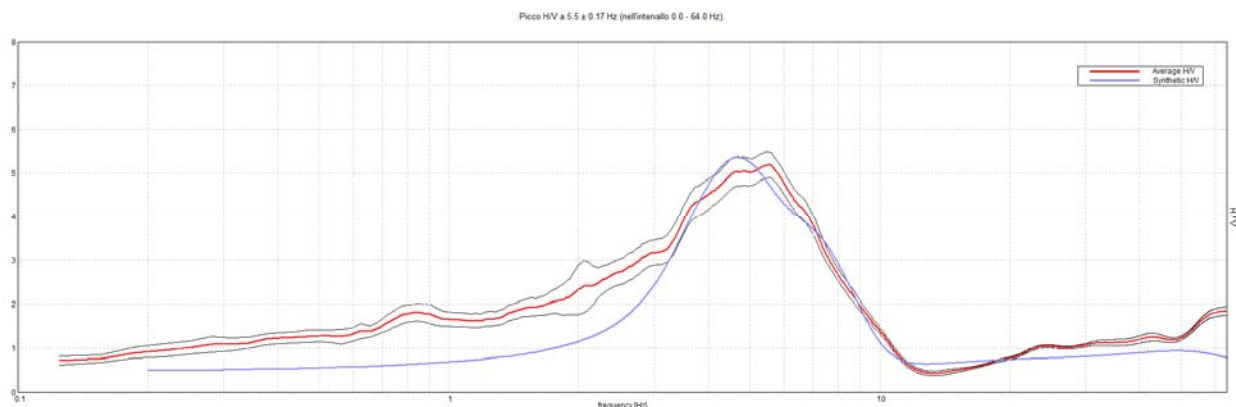
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



**Profondità alla base
dello strato [m]**

0.40

2.00

4.30

7.00

15.50

25.00

35.00

inf.

Spessore [m]

0.40

1.60

2.30

2.70

8.50

9.50

10.00

inf.

Vs [m/s]

90

150

180

210

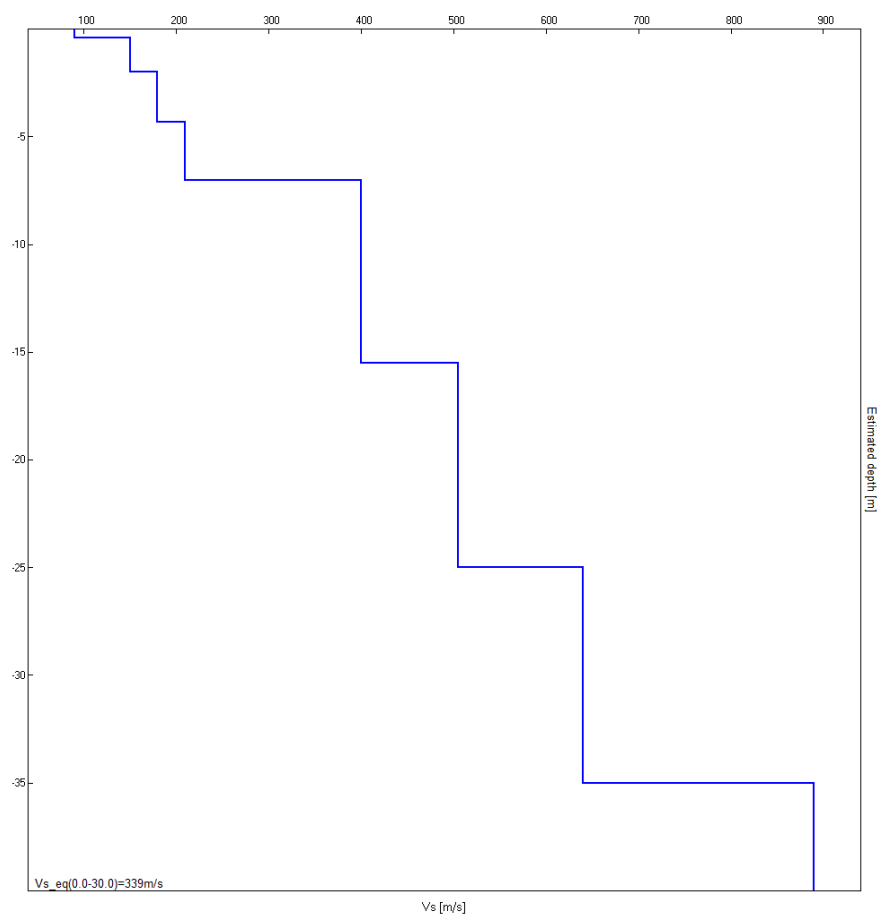
400

505

640

890

$Vs_{eq}(0.0-30.0)=339m/s$





Indagine HoliSurface - Documentazione fotografica.



Indagine in sismica passiva HVSR1 - Documentazione fotografica.

ALLEGATO 2

Indagini pregresse

DATABASE STRATIGRAFICO DELLA PIANA DI LUCCA

STUDIO ASSOCIATO NOLLEDI - Via per Camaiore 2180 - tel. 0583 956363 - studio.nolledi@teletu.it

record	90	Comune	Frazione	Località					
	Penetrometria	Lucca	S. Alessio						
Quota: p.c.	16.80	GB Est:	1 619 215	GB Nord: 4 857 645 CTR: 261100					
Ditta esecutrice:	Geoprove		Anno di esecuzione:	1994 Profondità: 9.60					
Riferimento:	SL824	Vulnerabilità:	206	Altro:					
Stratigrafia e parametri geotecnici									
da:	a:	descrizione:	Rp	Rd	c	φ	γ	NSPT	mv
0.00	0.60	terreno vegetale							
0.60	2.00	alternanze di limi argillosi e livelletti sabbiosi	13		0.5	28			0.023
2.00	3.60	sabbie e limi più o meno sabbiosi con livelletti argillosi	8		0.25	28			0.040
3.60	7.20	argille e limi	7		0.36				0.035
7.20	9.40	alternanze di limi sabbie e argille	21		0.97	27			0.015
9.40	9.60	ghiaie, sabbie e ciottoli	100			36			0.006

DATABASE STRATIGRAFICO DELLA PIANA DI LUCCA

STUDIO ASSOCIATO NOLLEDI - Via per Camaiole 2180 - tel. 0583 956363 - studio.nolledi@teletu.it

record	234	Comune	Frazione	Località					
	Penetrometria	Lucca	S. Alessio	Borghetto					
Quota: p.c.	15.80	GB Est:	1 618 425	GB Nord: 4 857 525 CTR: 261100					
Ditta esecutrice:	Geoprove		Anno di esecuzione:	1990 Profondità: 11.50					
Riferimento:	Biserna 3 Ptl		Vulnerabilità:	Altro:					
Stratigrafia e parametri geotecnici									
da:	a:	descrizione:	Rp	Rd	c	φ	γ	NSPT	mv
0.00	0.50	terreno vegetale							
0.50	2.80	limi argillosi debolmente sabbiosi con livelli di argille limose	10		0.44				0.024
2.80	4.00	sabbie limose	12			28			0.029
4.00	9.80	limi argilloso sabbiosi con locali livelli di argille	12		0.6	26			0.024
9.80	11.00	limi sabbiosi	11			25			0.025
11.00	11.50	ghiaie e sabbie	150			37			0.005

STUDIO ASSOCIATO NOLLEDI - Via per Camaiore 2180 - tel. 0583 956363 - studio.nolledi@teletu.it

DATABASE STRATIGRAFICO DELLA PIANA DI LUCCA

STUDIO ASSOCIATO NOLLEDI - Via per Camaione 2180 - tel. 0583 956363 - studio.nolledi@teletu.it

record	1004	Comune	Frazione	Località					
	Penetrometria	Lucca	S. Alessio	Via della Chiesa					
Quota: p.c.		GB Est:	GB Nord:	CTR:					
		1 622 374	4 857 819	261100					
Ditta esecutrice:	geoLUK		Anno di esecuzione:	Profondità:					
			2021	3.20					
Riferimento:	CPTI	Vulnerabilità:	Altro:						
Stratigrafia e parametri geotecnici									
da:	a:	descrizione:	Rp	Rd	c	φ	γ	NSPT	mv
0.00	0.40	materiale di riporto	4		0.20				15
0.40	1.40	imi argillosi e argille mediamente compatte	9.6		0.47				35
1.40	1.80	limi argillosi e argille compatte	27.5		0.99				84
1.80	3.20	argille compatte sovraconsolidate (fluvio-lacustre)	110		3.7				298

ALLEGATO 3

Parametri Sismici

PARAMETRI SISMICI

Data: maggio 2022

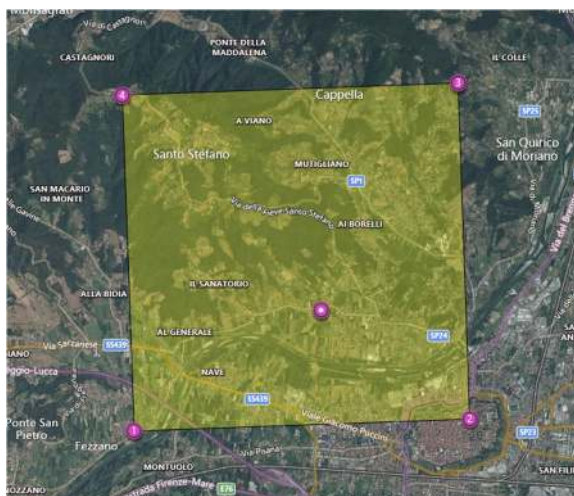
Vita nominale (Vn): 50 [anni]
 Classe d'uso: I
 Coefficiente d'uso (Cu): 0.7
 Periodo di riferimento (Vr): 35 [anni]

Periodo di ritorno (Tr) SLO: 30 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLD: 35 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLV: 332 [anni]
 Periodo di ritorno (Tr) SLC: 682 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Coordinate geografiche del punto

Latitudine (WGS84): 43.8623581 [°]
 Longitudine (WGS84): 10.4774590 [°]
 Latitudine (ED50): 43.8633194 [°]
 Longitudine (ED50): 10.4784613 [°]



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

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	19603	43.845280	10.439970	3680.93
2	19604	43.847060	10.509170	3054.84
3	19382	43.897020	10.506780	4381.05
4	19381	43.895240	10.437500	4834.85

Punto d'indagine

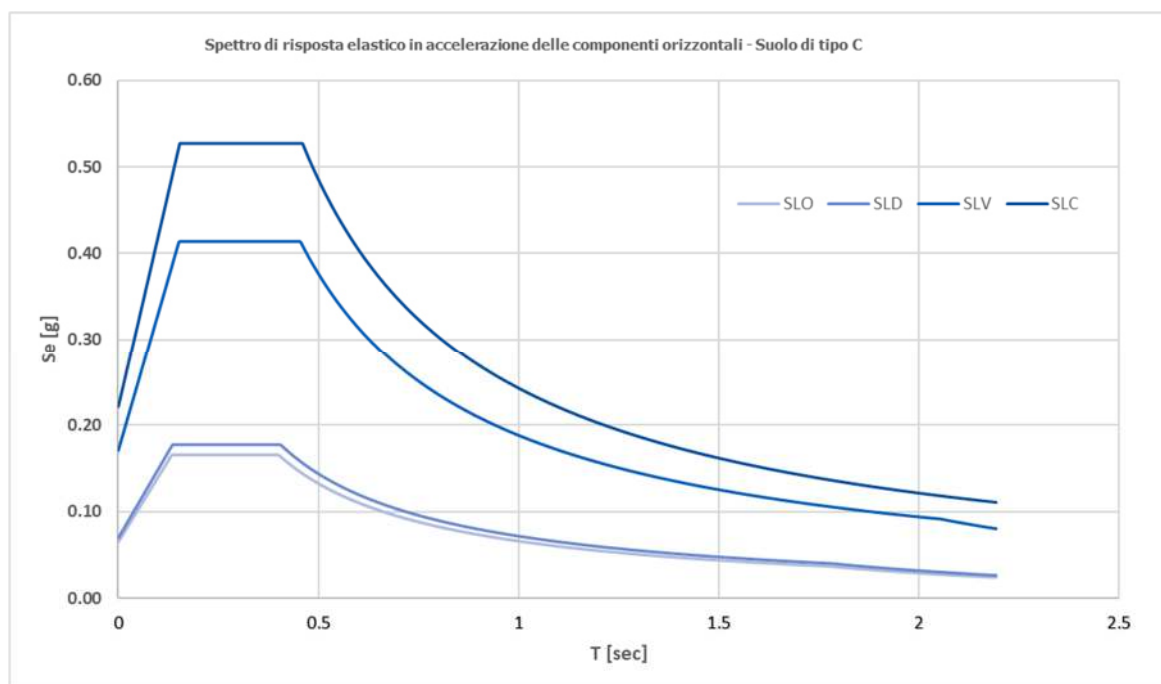
Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0.044	2.534	0.237
SLD	35	0.046	2.537	0.241
SLV	332	0.114	2.423	0.286
SLC	682	0.148	2.383	0.293

PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Coefficiente di smorzamento viscoso ξ : 5 %
 Fattore di alterazione dello spettro elastico $\eta = [10/(5+\xi)]^{(1/2)}$: 1.000
 Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica:
 T1: Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media minore o uguale a 15°

Stabilità di pendii e fondazioni

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.013	0.014	0.041	0.053
kv	0.007	0.007	0.020	0.027
amax [m/s²]	0.642	0.683	1.674	2.169
Beta	0.200	0.200	0.240	0.240



	cu	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(T B) [g]
SLO	0.7	0.044	2.534	0.237	1.500	1.690	1.000	1.500	1.000	0.133	0.400	1.774	0.065	0.166
SLD	0.7	0.046	2.537	0.241	1.500	1.680	1.000	1.500	1.000	0.135	0.406	1.786	0.070	0.177
SLV	0.7	0.114	2.423	0.286	1.500	1.590	1.000	1.500	1.000	0.152	0.455	2.055	0.171	0.414
SLC	0.7	0.148	2.383	0.293	1.490	1.570	1.000	1.490	1.000	0.153	0.460	2.194	0.221	0.527

ALLEGATO 4

Verifica alla liquefazione

DATI GENERALI

Data 12/05/2022
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA
Profondità falda idrica 0.6 m

DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.13
Fattore amplificazione 0.13

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5
Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
Magnitudo momento sismico (Mw) 5
Distanza epicentro 12 Km
Peak ground acceleration (PGA) 0.18

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizio e	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturato (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenz a qc (KPa)	Resistenz a attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	1	0	0.4	18	20	0	0	0	0	90
2	2	0.4	2	18	20	0	0	0	0	150
3	3	2	4.3	18	20	0	0	0	0	180
4	4	4.3	7	18	20	0	0	0	0	210
5	5	7	15.5	18	20	0	0	0	0	400
6	6	15.5	25	18	20	0	0	0	0	505
7	7	25	35	18	20	0	0	0	0	640

Andrus Stokoe (1997)

Nr.	Frazione fine (%)	Validità
	90	Valido
	90	Valido
	90	Valido
	90	Valido
	90	Valido
	90	Valido

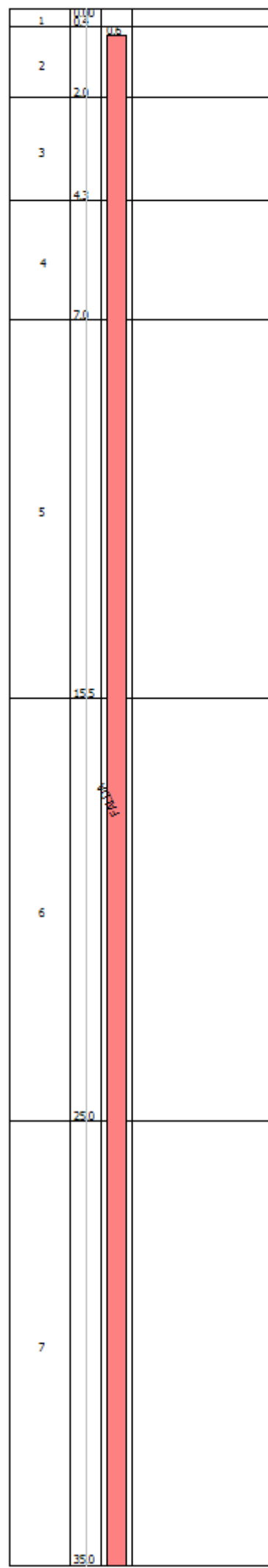
Correzione per la magnitudo (MSF) 2.82

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normalizza ta Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficient e riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizza to (CSR)	Coefficient e di sicurezza Fs	Indice di liquefazione	Rischio
1	0.80	14.800	12.839	250.589	200.000	0.994	0.166	0.047	3.50	0.00	Molto basso
2	1.00	18.800	14.877	241.524	200.000	0.992	0.149	0.052	2.86	0.00	Molto basso
3	1.20	22.800	16.916	233.893	200.000	0.991	0.133	0.055	2.40	0.00	Molto basso
4	1.40	26.800	18.955	227.333	200.000	0.989	0.118	0.058	2.03	0.00	Molto basso
5	1.60	30.800	20.993	221.601	200.000	0.988	0.101	0.060	1.68	0.00	Molto basso
6	1.80	34.800	23.032	216.525	200.000	0.986	0.082	0.062	1.32	0.00	Molto basso
7	2.00	38.800	25.071	211.982	200.000	0.985	0.055	0.063	0.87	2.39	Basso
8	2.20	42.800	27.109	249.455	200.000	0.983	0.164	0.064	2.55	0.00	Molto basso
9	2.40	46.800	29.148	244.974	200.000	0.982	0.156	0.065	2.38	0.00	Molto basso
10	2.60	50.800	31.187	240.869	200.000	0.980	0.148	0.066	2.23	0.00	Molto basso
11	2.80	54.800	33.225	237.086	200.000	0.979	0.140	0.067	2.09	0.00	Molto basso

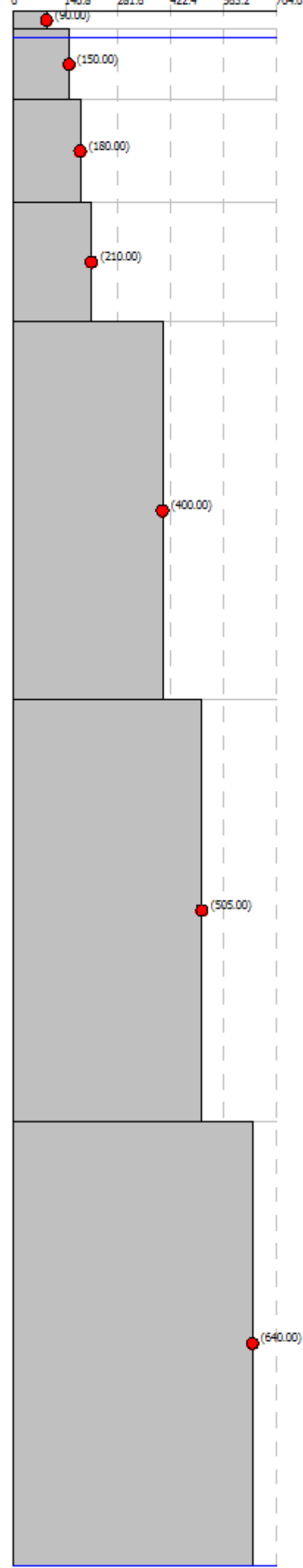
12	3.00	58.800	35.264	233.582	200.000	0.977	0.132	0.068	1.96	0.00	Molto basso
13	3.20	62.800	37.303	230.323	200.000	0.976	0.125	0.068	1.84	0.00	Molto basso
14	3.40	66.800	39.341	227.279	200.000	0.974	0.117	0.069	1.71	0.00	Molto basso
15	3.60	70.800	41.380	224.427	200.000	0.972	0.110	0.069	1.59	0.00	Molto basso
16	3.80	74.800	43.419	221.745	200.000	0.971	0.102	0.069	1.47	0.00	Molto basso
17	4.00	78.800	45.457	219.216	200.000	0.969	0.093	0.070	1.33	0.00	Molto basso
18	4.20	82.800	47.496	216.824	200.000	0.968	0.083	0.070	1.19	0.00	Molto basso
19	4.40	86.800	49.535	250.318	200.000	0.966	0.166	0.070	2.36	0.00	Molto basso
20	4.60	90.800	51.573	247.807	200.000	0.965	0.161	0.070	2.29	0.00	Molto basso
21	4.80	94.800	53.612	245.416	200.000	0.963	0.156	0.071	2.22	0.00	Molto basso
22	5.00	98.800	55.651	243.137	200.000	0.962	0.152	0.071	2.15	0.00	Molto basso
23	5.20	102.800	57.689	240.960	200.000	0.960	0.148	0.071	2.08	0.00	Molto basso
24	5.40	106.800	59.728	238.877	200.000	0.959	0.144	0.071	2.02	0.00	Molto basso
25	5.60	110.800	61.767	236.881	200.000	0.957	0.139	0.071	1.96	0.00	Molto basso
26	5.80	114.800	63.805	234.966	200.000	0.956	0.135	0.071	1.90	0.00	Molto basso
27	6.00	118.800	65.844	233.126	200.000	0.954	0.131	0.071	1.84	0.00	Molto basso
28	6.20	122.800	67.883	231.355	200.000	0.953	0.127	0.071	1.78	0.00	Molto basso
29	6.40	126.800	69.921	229.650	200.000	0.951	0.123	0.071	1.73	0.00	Molto basso
30	6.60	130.800	71.960	228.006	200.000	0.950	0.119	0.072	1.67	0.00	Molto basso
31	6.80	134.800	73.999	226.419	200.000	0.948	0.115	0.072	1.61	0.00	Molto basso
32	7.00	138.800	76.037	224.886	200.000	0.946	0.111	0.072	1.55	0.00	Molto basso
33	7.20	142.800	78.076	223.377	200.000	0.945	0.535	0.072	7.47	0.00	Molto basso
34	7.40	146.800	80.115	222.797	200.000	0.943	0.528	0.072	7.37	0.00	Molto basso
35	7.60	150.800	82.153	420.149	200.000	0.942	0.521	0.072	7.27	0.00	Molto basso
36	7.80	154.800	84.192	417.582	200.000	0.940	0.514	0.072	7.18	0.00	Molto basso
37	8.00	158.800	86.231	415.092	200.000	0.939	0.508	0.072	7.09	0.00	Molto basso
38	8.20	162.800	88.269	412.674	200.000	0.937	0.502	0.072	7.01	0.00	Molto basso
39	8.40	166.800	90.308	410.325	200.000	0.936	0.496	0.072	6.93	0.00	Molto basso
40	8.60	170.800	92.347	408.042	200.000	0.934	0.491	0.072	6.85	0.00	Molto basso
41	8.80	174.800	94.385	405.820	200.000	0.933	0.485	0.072	6.78	0.00	Molto basso
42	9.00	178.800	96.424	403.658	200.000	0.931	0.480	0.072	6.71	0.00	Molto basso
43	9.20	182.800	98.463	401.552	200.000	0.928	0.475	0.071	6.65	0.00	Molto basso
44	9.40	186.800	100.502	399.500	200.000	0.923	0.470	0.071	6.61	0.00	Molto basso
45	9.60	190.800	102.540	397.499	200.000	0.918	0.465	0.071	6.57	0.00	Molto basso
46	9.80	194.800	104.579	395.548	200.000	0.912	0.460	0.070	6.54	0.00	Molto basso
47	10.00	198.800	106.618	393.643	200.000	0.907	0.456	0.070	6.50	0.00	Molto basso
48	10.20	202.800	108.656	391.784	200.000	0.902	0.451	0.070	6.47	0.00	Molto basso
49	10.40	206.800	110.695	389.967	200.000	0.896	0.447	0.069	6.44	0.00	Molto basso
50	10.60	210.800	112.734	388.192	200.000	0.891	0.443	0.069	6.41	0.00	Molto basso
51	10.80	214.800	114.772	386.457	200.000	0.886	0.439	0.069	6.39	0.00	Molto basso
52	11.00	218.800	116.811	384.759	200.000	0.880	0.435	0.068	6.36	0.00	Molto basso
53	11.20	222.800	118.850	383.099	200.000	0.875	0.431	0.068	6.34	0.00	Molto basso
54	11.40	226.800	120.888	381.473	200.000	0.870	0.427	0.068	6.32	0.00	Molto basso
55	11.60	230.800	122.927	379.882	200.000	0.864	0.423	0.067	6.30	0.00	Molto basso
56	11.80	234.800	124.966	378.323	200.000	0.859	0.420	0.067	6.28	0.00	Molto basso
57	12.00	238.800	127.004	376.795	200.000	0.854	0.416	0.067	6.26	0.00	Molto basso
58	12.20	242.800	129.043	375.298	200.000	0.848	0.413	0.066	6.24	0.00	Molto basso
59	12.40	246.800	131.082	373.830	200.000	0.843	0.410	0.066	6.23	0.00	Molto basso
60	12.60	250.800	133.120	372.391	200.000	0.838	0.406	0.065	6.21	0.00	Molto basso
61	12.80	254.800	135.159	370.979	200.000	0.832	0.403	0.065	6.20	0.00	Molto basso
62	13.00	258.800	137.198	369.593	200.000	0.827	0.400	0.065	6.19	0.00	Molto basso
63	13.20	262.800	139.236	368.232	200.000	0.822	0.397	0.064	6.18	0.00	Molto basso
64	13.40	266.800	141.275	366.897	200.000	0.816	0.394	0.064	6.17	0.00	Molto basso
65	13.60	270.800	143.314	365.585	200.000	0.811	0.391	0.063	6.16	0.00	Molto basso
66	13.80	274.800	145.352	364.296	200.000	0.806	0.388	0.063	6.15	0.00	Molto basso
67	14.00	278.800	147.391	363.030	200.000	0.800	0.385	0.063	6.14	0.00	Molto basso
68	14.20	282.800	149.430	361.785	200.000	0.795	0.383	0.062	6.14	0.00	Molto basso
69	14.40	286.800	151.468	360.562	200.000	0.790	0.380	0.062	6.13	0.00	Molto basso
70	14.60	290.800	153.507	359.359	200.000	0.784	0.377	0.062	6.13	0.00	Molto basso
71	14.80	294.800	155.546	358.175	200.000	0.779	0.375	0.061	6.13	0.00	Molto basso
72	15.00	298.800	157.584	357.011	200.000	0.774	0.372	0.061	6.12	0.00	Molto basso
73	15.20	302.800	159.623	355.866	200.000	0.768	0.370	0.060	6.12	0.00	Molto basso
74	15.40	306.800	161.662	354.739	200.000	0.763	0.367	0.060	6.12	0.00	Molto basso
75	15.60	310.800	163.700	446.456	220.000	0.757	0.590	0.060	9.90	0.00	Molto basso
76	15.80	314.800	165.739	445.077	220.000	0.752	0.586	0.059	9.90	0.00	Molto basso
77	16.00	318.800	167.778	443.719	220.000	0.747	0.583	0.059	9.91	0.00	Molto basso
78	16.20	322.800	169.816	442.381	220.000	0.741	0.579	0.058	9.91	0.00	Molto basso
79	16.40	326.800	171.855	441.063	220.000	0.736	0.575	0.058	9.92	0.00	Molto basso
80	16.60	330.800	173.894	439.765	220.000	0.731	0.572	0.058	9.93	0.00	Molto basso
81	16.80	334.800	175.932	438.485	220.000	0.725	0.569	0.057	9.94	0.00	Molto basso
82	17.00	338.800	177.971	437.224	220.000	0.720	0.565	0.057	9.95	0.00	Molto basso
83	17.20	342.800	180.010	435.981	220.000	0.715	0.562	0.056	9.96	0.00	Molto basso
84	17.40	346.800	182.048	434.755	220.000	0.709	0.559	0.056	9.98	0.00	Molto basso
85	17.60	350.800	184.087	433.546	220.000	0.704	0.556	0.056	9.99	0.00	Molto basso
86	17.80	354.800	186.126	432.354	220.000	0.699	0.552	0.055	10.01	0.00	Molto basso
87	18.00	358.800	188.164	431.179	220.000	0.693	0.549	0.055	10.03	0.00	Molto basso
88	18.20	362.800	190.203	430.018	220.000	0.688	0.546	0.054	10.05	0.00	Molto basso
89	18.40	366.800	192.242	428.874	220.000	0.683	0.543	0.054	10.07	0.00	Molto basso
90	18.60	370.800	194.280	427.744	220.000	0.677	0.540	0.054	10.09	0.00	Molto basso
91	18.80	374.800	196.319	426.629	220.000	0.672	0.538	0.053	10.11	0.00	Molto basso
92	19.00	378.800	198.358	425.529	220.000	0.667	0.535	0.053	10.14	0.00	Molto basso
93	19.20	382.800	200.396	424.443	220.000	0.661	0.532	0.052	10.16	0.00	Molto basso
94	19.40	386.800	202.435	423.370	220.000	0.656	0.529	0.052	10.19	0.00	Molto basso
95	19.60	390.800	204.474	422.311	220.000	0.651	0.526	0.052	10.22	0.00	Molto basso
96	19.80	394.800	206.512	421.265	220.000	0.645	0.524	0.051	10.25	0.00	Molto basso

IPL (Iwasaki)=0.23 Zcrit=20 m Rischio=Basso

Colonna stratigrafica



Vs (m/s)

Fattore di sicurezza F_s 