



## CITTÀ DI LUCCA

Amministrazione Comunale

Settore 5 - Lavori Pubblici e Traffico U.O. 5.3 – Edilizia Sportiva  
Lucca Riscossioni e Servizi S.R.L.

Dirigente: Ing. Antonella Giannini  
Responsabile Unico di Progetto: Ing. Arianna De Cicco

P.T. 39-2026  
REALIZZAZIONE DEL PALAZZETTO DELLO SPORT SILVER 1  
NELL'AREA "EX CROCEROSSA"  
CUP J65B25001060005

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

### RELAZIONE GEOLOGICA

RTP: "PALAZZETTO DELLO SPORT AREA "EX CROCEROSSA"

Capogruppo, Progetto Opere Edili e Strutture:  
Ing. Giuseppe Amante

Progetto Impianti, Antincendio, Acustica:  
Studio Bellandi & Petri s.r.l. s.t.p.

Coordinatore della Sicurezza in fase di Progettazione:  
Ing. Dario Lucarotti

Collaboratori alla Progettazione:  
Ing. Dario Lucarotti  
Arch. Riccardo Ricci

Giovane Professionista:  
Arch. Barbara Tomei

Committente per la parte del Progetto di competenza Lucca Riscossioni e Servizi



Geologia:  
Studio INGEO

Rilievo: Geom. Paolo Paoli, Comune di Lucca



Studio Bellandi & Petri s.r.l. s.t.p.  
Servizi di Ingegneria  
Viale Agostino Marti, 181 - 55100 Lucca



Data Emissione 07/01/2026

Revisione n°/data

Revisione 01/26/01/2026

# RGEO001



## **SOMMARIO**

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO GENERALE</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO</b>	<b>4</b>
<b>4</b>	<b>INQUADRAMENTO NORMATIVO</b>	<b>5</b>
4.1	INQUADRAMENTO SOVRACOMUNALE	5
4.2	INQUADRAMENTO COMUNALE	7
4.3	FATTIBILITÀ DELL’INTERVENTO	10
4.3.1	FATTIBILITÀ GEOLOGICA	10
4.3.2	FATTIBILITÀ IDRAULICA	10
4.3.3	FATTIBILITÀ SISMICA	11
<b>5</b>	<b>INQUADRAMENTO SISMICO</b>	<b>11</b>
5.1	PERICOLOSITÀ SISMICA DI RIFERIMENTO PER IL TERRITORIO NAZIONALE	11
5.2	ZONAZIONE SISMICA	13
5.3	AZIONE SISMICA DELL’AREA DI PROGETTO	14
<b>6</b>	<b>INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEL SITO</b>	<b>16</b>
6.1	SONDAGGIO A CAROTAGGIO CONTINUO	16
1.1	ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO	17
6.2	SONDAGGIO A DISTRUZIONE	17
6.3	PROVE PENETROMETRICHE	18
6.4	INDAGINE DOWN-HOLE	19
6.5	INDAGINE SISMICA MASW	20
<b>7</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO</b>	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>RISPOSTA SISMICA LOCALE</b>	<b>21</b>
8.1	SCELTA DELL’INPUT SISMICO (ACCELERAZIONE DI BASE AG)	22
8.2	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	23
<b>9</b>	<b>LIQUEFAZIONE</b>	<b>28</b>
<b>10</b>	<b>VERIFICA IMPERMEABILIZZAZIONE SUOLO</b>	<b>29</b>
<b>11</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>30</b>

## **ALLEGATI**

All.1 – Relazione sulle indagini (Bierregi srl)

All.2 - Tabulati spettri di RSL normalizzati ai sensi dell’Ord. 55/2018

All.3 – Verifica Liquefazione

## 1 PREMESSA

Per incarico ricevuto dal Comune di Lucca con Determina Dirigenziale n. 3589 del 19/12/2025, il sottoscritto geol. Luigi Giammattei, in collaborazione con il geol. Marianna Genovesi, ha eseguito, le valutazioni di carattere geologico, geotecnico sulle indagini e sismico di supporto al Progetto di Fattibilità Tecnica Economica relativo alla realizzazione del “Palazzetto dello sport Silver 1” nell’area dell’ex Crocerossa.

Il lotto di intervento è situato in prossimità dell’attuale PalaTagliate, in un’area precedentemente destinata alle attività della Croce Rossa Italiana. La superficie complessiva del sito, di forma irregolare, è pari a circa 12.300 m<sup>2</sup> ed è prevalentemente inghiaiaata, fatta eccezione per il viale di accesso pavimentato con autobloccanti e per una zona centrale caratterizzata da una soletta in cemento armato di circa 1.300 m<sup>2</sup>. L’intervento non modificherà, se non migliorandole, le attuali superfici scolanti e pertanto non è soggetto ad accorgimenti tecnici per il contenimento dell’impermeabilizzazione del suolo.

Ai sensi del DPGR 1R/2022 gli interventi in oggetto rientrano in classe di indagine 4 e quindi, per la caratterizzazione stratigrafica, geotecnica e sismica dei terreni di fondazione sono stati utilizzati i dati di una precedente campagna geognostica, realizzata sullo stesso lotto, e composta da n.1 sondaggio a carotaggio continuo, n.1 sondaggio a distruzione, n.2 prove penetrometriche statiche (CPT) n. 1 indagine sismica in foro (Down-hole) e n.1 stesa sismica di tipo MASW (rif. Cap.6).

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

L’opera in oggetto, inserita all’interno di un progetto più ampio di Completamento del Polo Sportivo di via Tagliate di Sant’Anna, si posiziona a Nord della cinta muraria della città di Lucca nelle vicinanze dell’argine sinistro del Fiume Serchio, in località Le Piagge ad una quota di ca. 17.0 m s.l.m.

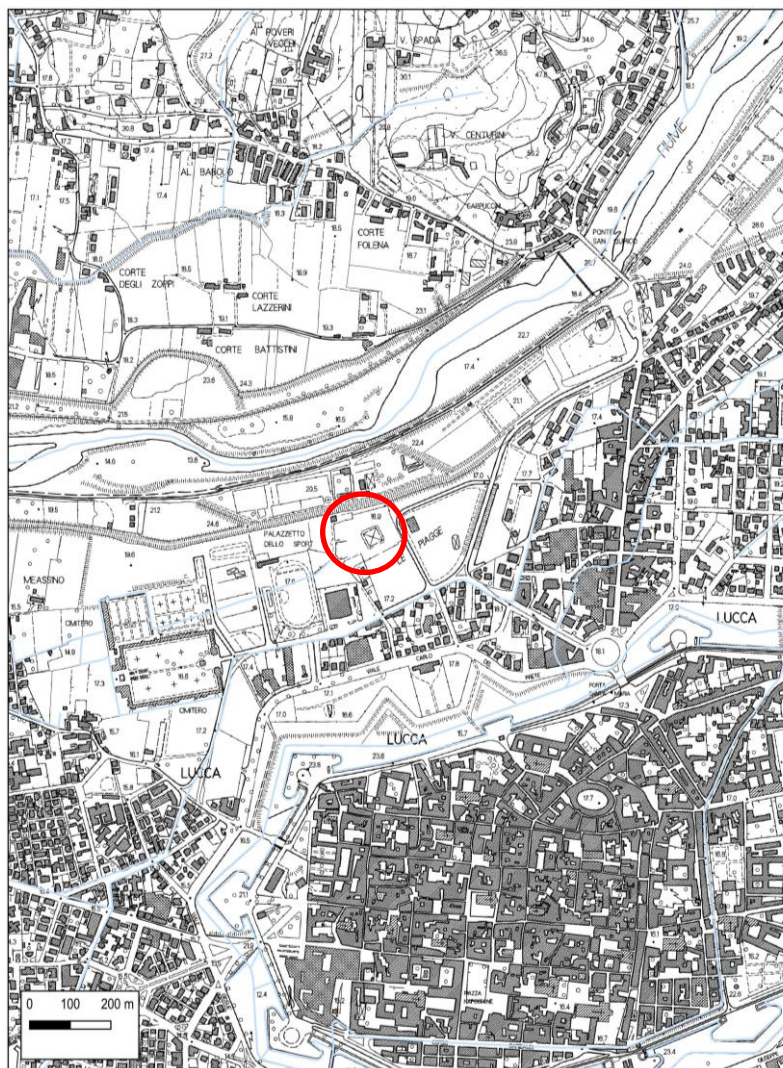


Figura 2-1 Corografia. In rosso l’area oggetto di intervento.

Si fa presente che, l’aggiornamento della classificazione sismica della Toscana, approvata con Del. GRT n° 421 del 26/05/2014 (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014), inserisce il territorio comunale di Lucca in “Zona 3”.

L’area d’indagine risulta NON soggetta a “vincolo idrogeologico”, come istituito dal R.D. n°3267 del 30.12.1923 (Figura 2.2).

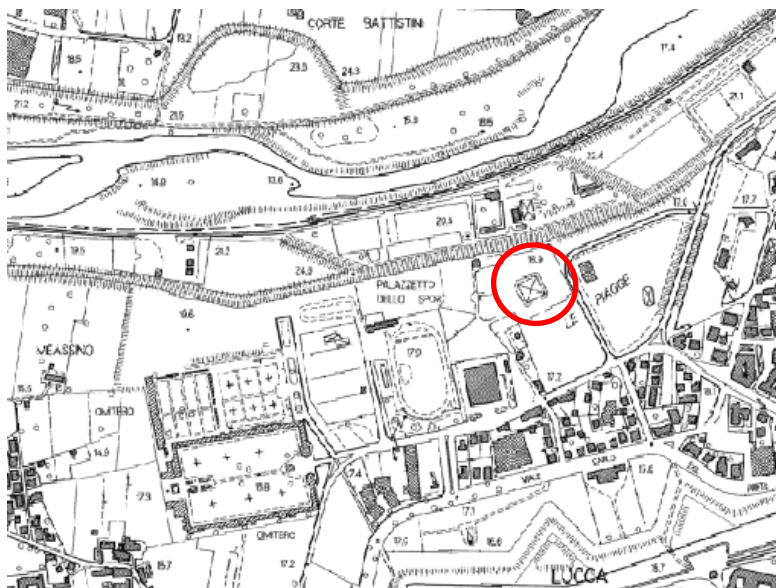


Figura 2-2– Estratto Sita – Vincolo Idrogeologico (da SITA Regione Toscana)

Infine l’area risulta esterna alla fascia di 10 metri di tutela del Fiume Serchio inserito nel reticolo idrografico regionale (LR 79/2012 e s.s. m.m. e i.i.) (Figura 2-3).

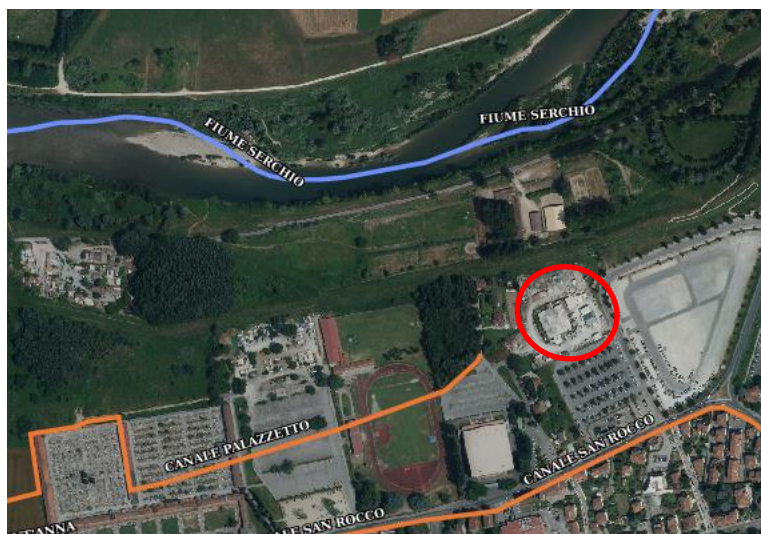


Figura 2-3 - Estratto tutela del Reticolo Idrografico Regionale

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L’area d’intervento ricade nel settore occidentale della pianura lucchese, nelle vicinanze dell’argine sinistro del Fiume Serchio. Essa si posiziona a Nord della cinta muraria che racchiude il centro storico di Lucca ad una quota media di circa 17 m s.l.m. (vedi Corografia di Figura 2-1).

La Piana di Lucca costituisce un bacino sedimentario intermontano, originato con lo sviluppo delle depressioni tettoniche che cominciarono a delinarsi nella struttura dell’Appennino Settentrionale a partire dal Miocene superiore. Tale depressione, corrispondente ad un’area tettonicamente subsidente, fu sede di sedimentazione a partire dal Pliocene/Pleistocene inferiore. Dalla fine del Pliocene fino a tutto il Pleistocene inferiore la piana di Lucca era occupata

da un vasto lago, che dette luogo alla sedimentazione di depositi fluvio-lacustri. Successivamente, con il prosciugamento del lago, la sedimentazione è stata principalmente influenzata dalla deposizione fluviale.

Dal punto di vista geologico-stratigrafico, l’area in esame si colloca su “depositi alluvionali attuali e recenti”, deposti nel corso dell’Olocene dal fiume Serchio e dai suoi affluenti: tali depositi alluvionali sono costituiti in prevalenza da **“ghiaie eterometriche, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica dei terrazzi fluviali recenti – b1”**, denominati comunemente “bellettone” (Figura 3-1); al di sotto del “bellettone” si trova un livello di ghiaie e sabbie addensate, che costituiscono l’acquifero superficiale principale dell’intera Piana di Lucca.

Per quanto concerne l’assetto idrogeologico, secondo i dati relativi alle isopieze del tetto della falda riportate nella tavola QG 04 - centro - Carta idrogeologica e della vulnerabilità degli acquiferi allegata al Piano Strutturale, in questa zona la falda si attesta ad una quota di ca. 13.0 – 14.0 m s.l.m., con una soggiacenza quindi compresa tra 5.0 e 4.0 m dal p.c.

La misura eseguita in data 15 settembre 2021 all’interno del piezometro installato nel sondaggio ha rilevato la presenza di una falda alla quota di -3.76 m dal p.c..



b1  Ghiaie eterometriche, sabbie e limi di composizione generalmente poligenica dei terrazzi fluviali recenti (b1). Età: Olocene

Figura 3-1 Estratto Carta geologica (PS Lucca). In rosso l’area in oggetto.

## 4 INQUADRAMENTO NORMATIVO

Di seguito viene riportato il quadro normativo relativo agli strumenti di pianificazione e gestione del territorio in cui si inseriscono gli interventi in oggetto.

### 4.1 Inquadramento sovracomunale

Dal 17 febbraio 2017 risultano soppresse, per espressa disposizione di legge (rif. art. 51 comma 4 della legge n. 221/2015), tutte le Autorità di Bacino di cui alla legge 183/1989, e quindi, anche l’Autorità di Bacino del fiume Serchio sostituita dall’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Settentrionale che, ai sensi della legge n. 221/2015,

comprende, oltre al bacino del Serchio e dell’Arno, anche i bacini liguri, il bacino del Magra, e tutti i bacini toscani dal Carrione all’Albegna.

Con delibera n. 26 del 20 dicembre 2021, la Conferenza Istituzionale Permanente, ai sensi degli articoli 65 e 66 del d.lgs. 152/2006, ha adottato il primo aggiornamento del Piano di gestione del rischio di alluvioni 2021-2027 – secondo ciclo di gestione – del distretto idrografico dell’Appennino Settentrionale, che è stato successivamente approvato, ai sensi degli articoli 57, 65 e 66 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, con d.p.c.m. 1 dicembre 2022, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n. 31 del 7.02.2023.

Secondo la cartografia del Piano di Gestione del Rischio da Alluvioni (PGRA), che sostituisce le “vecchie” cartografie di piano relative al rischio idraulico, l’area è inserita tra le zone a **pericolosità da alluvione bassa – P1**, corrispondenti ad *aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale* (Figura 4-1), per le quali valgono le disposizioni riportate nell’Articolo 11 delle Misure di Piano.

**Art. 11 – Aree a pericolosità da alluvione bassa (P1) – Norme e indirizzi per gli strumenti di governo del territorio**

1. Nelle aree P1 sono consentiti gli interventi previsti dagli strumenti urbanistici garantendo il rispetto delle condizioni di gestione del rischio.
2. Nelle aree P1 da alluvioni fluviali l’Autorità di bacino distrettuale si esprime sulle opere idrauliche in merito all’aggiornamento del quadro conoscitivo con conseguente riesame delle mappe di pericolosità.
3. La Regione disciplina le condizioni di gestione del rischio per la realizzazione degli interventi nelle aree P1.

Per quanto riguarda l’aspetto geomorfologico, la Conferenza Istituzionale Permanente ha adottato con delibera n. 39 del 28 marzo 2024 in via definitiva il PAI dissesti e con delibera n. 40 del 28 marzo 2024 le relative misure di salvaguardia. Con la pubblicazione dell’avviso di adozione nella Gazzetta Ufficiale n.82 del 8 aprile 2024 sono entrate in vigore le misure di salvaguardia. Lo stesso avviso è in corso di pubblicazione nei Bollettini Ufficiali Regionali della Liguria, Toscana e Umbria.

Sino all’approvazione definitiva del PAI dissesti con decreto del presidente del consiglio dei ministri, con l’adozione delle misure di salvaguardia, le disposizioni dei PAI ex L.183/89 continuano ad applicarsi nel settore urbanistico, con specifico riferimento alla definizione delle condizioni di gestione del rischio da dissesti di natura geomorfologica e all’individuazione dei singoli interventi ammessi nelle aree a pericolosità, in coordinamento con la nuova disciplina del PAI dissesti.

Secondo quanto riportato nella cartografia tematica prodotta dal Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico dell’Appennino Settentrionale, denominato “PAI Dissesti”, l’area d’intervento è esterna alle aree a pericolosità geomorfologica (Figura 4-2).

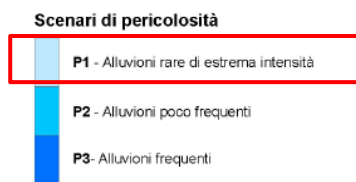
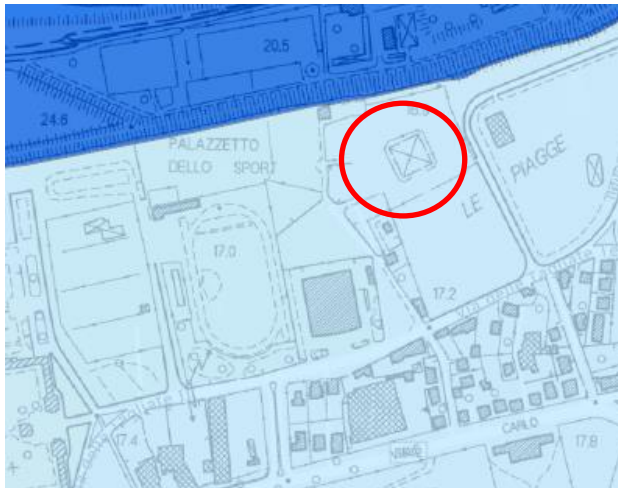


Figura 4-1- Estratto Carta pericolosità alluvioni PGRA

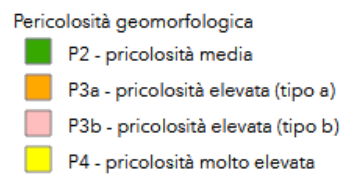
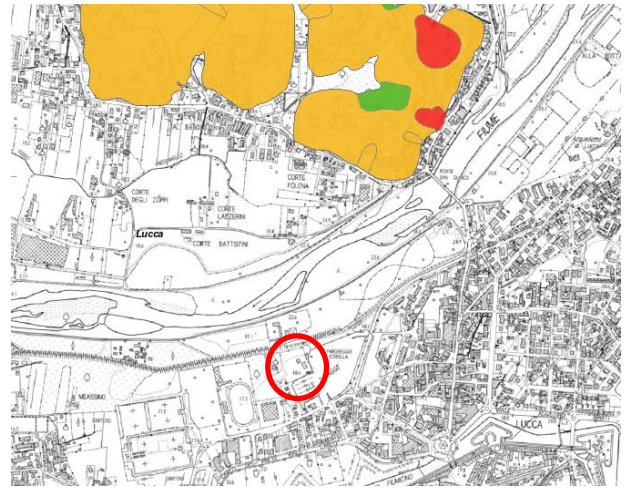


Figura 4-2- Estratto PAI Dissesti

## 4.2 Inquadramento comunale

Dalla consultazione della cartografia redatta a supporto del Piano Operativo comunale, adottato con Deliberazione C.C. n.103 del 26.10.2021, Approvato Deliberazione C.C. n.109 del 15.10.2024 e aggiornato con la Variante 1/2025, approvata con DCC n.39 del 22.05.2025, le classi di pericolosità geomorfologica, sismica e idraulica individuate sono le seguenti:

- **Pericolosità geomorfologica bassa (G.1):** Aree in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche e giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfoevolutivi (Figura 4-3).

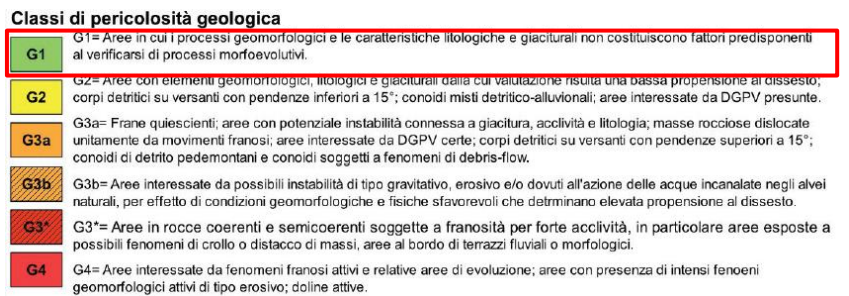
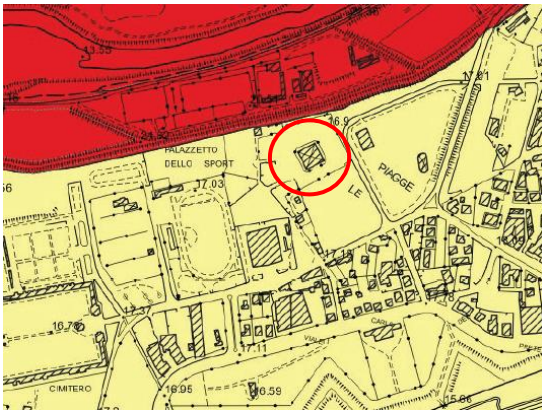


Figura 4-3 – Estratto Carta della pericolosità geologica (PO)

- **Pericolosità idraulica media (I.2):** Aree a pericolosità per alluvioni rare o a pericolosità bassa (aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni) (Figura 4-4).



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).

Figura 4-4 – Estratto Carta della pericolosità idraulica (PO)

- **Aree presidiate da sistemi arginali:** Area a quota inferiore della quota arginale maggiorata di 2.0 m (Figura 4-4).

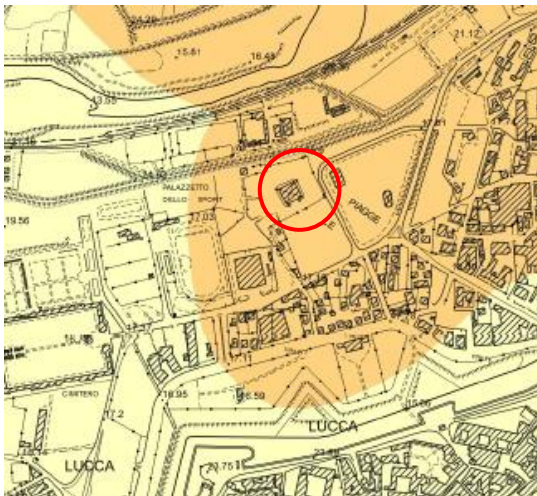


**Aree presidiate da rilevati arginali**

Area a quota inferiore della quota arginale maggiorata di 2 metri
Area a quota maggiore della quota arginale maggiorata di 2 metri

Figura 4-5 – Estratto Carta della pericolosità idraulica (PO)

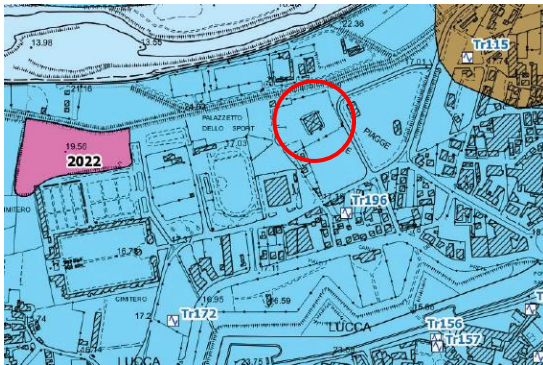
- **Pericolosità sismica media (S.3):** zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, connesse con un alto contrasto di impedenza sismica atteso entro alcune decine di metri da piano di campagna con fattore di amplificazione ( $F_x$ ) > 1.4 (Figura 4-6).



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.
----	---

Figura 4-6 – Estratto Carta dalla pericolosità sismica (PO)

- **Carta delle MOPS - Zona 18:** Sabbie limose, miscela di sabbia e limo – SM (5-10m) su ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia – GW (10-30m) su coesivo sovraconsolidato – CO (10>100m) su substrato lapideo stratificato – LPS (>100m) (Figura 4-7).



**2018** Zona 18: Sabbie limose, miscela di sabbia e limo - SM (5-10m) su ghiaie pulite con granulometria ben assortita, miscela di ghiaia e sabbia - GW (10-30m) su coesivo sovraconsolidato - CO (10>100m) (>30 m nel complesso) su substrato lapideo stratificato - LPS (>100 m).

Figura 4-7 – Estratto Carta delle MOPS (PO)

- **Carta di MS di Livello II – Fha MAX:** Zona E con FA = 1.7-1.8 (Figura 4-8).



**Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**

<b>B</b>	FA = 1.1 - 1.2
<b>C</b>	FA = 1.3 - 1.4
<b>D</b>	FA = 1.5 - 1.6
<b>E</b>	FA = 1.7 - 1.8
<b>F</b>	FA = 1.9 - 2.0
<b>G</b>	FA = 2.1 - 2.2

Figura 4-8 – Estratto Carta di MS di Livello II – Fha MAX

### 4.3 Fattibilità dell'intervento

Dalla consultazione della Relazione generale di fattibilità geologico-tecnica allegata al Piano Operativo Comunale, per l'intervento in oggetto, sono state individuate le seguenti fattibilità (si riportano gli estratti della suddetta relazione):

#### 4.3.1 Fattibilità geologica

Pericolosità	Condizioni di attuazione e Approfondimenti geologici
<b>G.1</b>	<p><b>2.5. Le condizioni di fattibilità nelle aree a pericolosità geologica bassa (G.1)</b></p> <p>1. Nelle aree caratterizzate da una classe di pericolosità geologica bassa (G.1) le condizioni di attuazione degli interventi ammessi dal P.O. non presentano limitazioni o prescrizioni di carattere geomorfologico.</p> <p>2. Le condizioni di attuazione degli interventi sono rappresentate dagli usuali approfondimenti di carattere geotecnico da eseguirsi a livello di intervento diretto sulla base di indagini commisurate a quanto stabilito dalle NTC 2018, finalizzate ad una corretta progettazione degli interventi stessi.</p> <p>3. In particolare le indagini di supporto alla progettazione edilizia dovranno pervenire alla definizione del modello geologico di riferimento, comprensivo della relativa caratterizzazione stratigrafico-geotecnica ed idrogeologica. Nel caso di volumetrie interrato dovranno essere valutate le prevedibili sottospinte idrauliche e gli effetti di eventuali emungimenti connessi agli scavi sotto falda. Nel caso poi di interventi su terreni argillosi dovranno essere valutati i possibili fenomeni di ritiro e rigonfiamento dei terreni stessi per variazioni di umidità del suolo.</p>

#### 4.3.2 Fattibilità idraulica

Pericolosità	Condizioni di attuazione e Approfondimenti geologici
<b>P1</b>	<p><b>4.2. Le condizioni di fattibilità nelle aree a pericolosità da alluvioni rare P1</b></p> <p>1. Nelle aree definite nell’elaborato QG. 15 a pericolosità da alluvioni rare (P1) le condizioni di attuazione degli interventi ammessi dal P.O. non presentano limitazioni.</p> <p>2. Al fine di accrescere le condizioni di sicurezza è comunque prescritto, nel caso di interventi di nuova edificazione, che le quote dei piani di calpestio dei piani terra e delle soglie di ingresso a piani interrati siano rialzati almeno di 15 cm rispetto alle aree esterne e comunque al di sopra dei battenti individuati nell’elaborato di Piano Strutturale QG.14.1 – <i>Carta di approfondimento delle aree depresse.</i></p>

Considerando che l’area rientra tra quelle presidiate da sistemi arginali, dovranno essere rispettate anche le prescrizioni riportate nell’art. 14 della L.R. 41/2018:

#### Art.14

*Fermo restando quanto stabilito all’articolo 3, nelle aree presidiate da sistemi arginali per il contenimento delle alluvioni di cui all’articolo 2, comma 1, lettera s), per gli interventi di nuova costruzione sono previste misure per la gestione del rischio di alluvioni nell’ambito del piano di protezione civile comunale. A tal fine il comune, entro centottanta giorni dal rilascio del titolo abilitativo, aggiorna il relativo piano e lo trasmette alla struttura regionale competente.*

## 4.3.3 Fattibilità sismica

Pericolosità	Condizioni di attuazione e Approfondimenti geologici
<b>S.3</b>	<p><b>3.2. Le condizioni di fattibilità nelle aree a pericolosità sismica elevata (S.3)</b></p> <p><b>1.</b> Nelle aree definite nell'elaborato QG. 11 a pericolosità sismica locale elevata (S3), le condizioni di fattibilità sono condizionate all'esecuzione di specifiche indagini di approfondimento da eseguirsi in sede di Piano Attuativo o di Progetto Unitario Convenzionato oppure, in loro assenza, in sede dei progetti edilizi, ed in particolare:</p> <p style="padding-left: 40px;">nelle zone stabili suscettibili di amplificazione locale, caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica tra copertura e substrato rigido o entro le coperture stesse entro alcune decine di metri, sono raccolti i dati bibliografici oppure, se insufficienti per una compiuta caratterizzazione, è effettuata una specifica campagna di indagini geofisiche (quali, ad esempio, profili sismici a riflessione o rifrazione, prove sismiche in foro e, ove risultino significative, profili MASW) e geognostiche (quali, ad esempio, pozzi o sondaggi, preferibilmente a carotaggio continuo) che definisca spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti per valutare l'entità del (o dei) contrasti di rigidità sismica tra coperture e bedrock sismico o entro le coperture stesse. Nelle zone di bordo della valle è preferibile l'utilizzo di prove geofisiche di superficie capaci di effettuare una ricostruzione bidimensionale del sottosuolo, quale quella sismica a rifrazione o riflessione.</p> <p><b>2.</b> Nell'ambito dell'area caratterizzata a pericolosità sismica locale elevata (S3), la valutazione dell'azione sismica (NTC 2018, paragrafo 3.2), da parte del progettista, è supportata da specifiche analisi di risposta sismica locale (in conformità NTC 2018, paragrafo 3.2.2 e paragrafo 7.11.3), da condurre in fase di progettazione, nei seguenti casi:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>o realizzazione o ampliamento di edifici strategici o rilevanti, ricadenti nelle classe d'indagine 3 o 4, come definite dal regolamento di attuazione dell'articolo 181 della l.r.65/2014;</li> </ul>

Per quanto riguarda le prescrizioni di carattere geologico si fa presente che è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da indagini dirette (sondaggi e prove penetrometriche) e indirette (down-hole e masw).

Per le prescrizioni sismiche, oltre ai dati acquisiti con le specifiche indagini, è stata eseguita l'analisi di Risposta Sismica Locale per ricavare la specifica azione sismica del sito di intervento.

La totalità delle indagini e delle valutazioni eseguite hanno consentito di determinare la ricostruzione stratigrafica, geotecnica e sismica dei terreni oggetto di intervento.

## 5 INQUADRAMENTO SISMICO

### 5.1 Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale

La pericolosità sismica è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo. Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e dei parametri di riferimento (per esempio: scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

A seguito dell'Ordinanza PCM 3274/2003 (GU n.108 dell'8 maggio 2003) l'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia ha realizzato la Mappa di Pericolosità sismica 2004 (MPS04) che descrive la pericolosità sismica attraverso

il parametro dell'accelerazione massima attesa con una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni su suolo rigido e pianeggiante. Dopo la sua approvazione da parte della Commissione Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile nella seduta del 6 aprile 2004, la mappa MPS04 è diventata ufficialmente la mappa di riferimento per il territorio nazionale con l'emanazione dell'Ordinanza PCM 3519/2006 (G.U. n.105 dell'11 maggio 2006) (Figura 5-1 **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

A seguito di tale classificazione il territorio del Comune di Lucca era stato inserito in zona 3 corrispondente ad una accelerazione massima al suolo compresa tra 0.125 e 150g. Basandosi sui valori di accelerazione proposti dalla mappa di pericolosità sismica MPS04, a seguito all'Ordinanza PCM 3519/2006, le Regioni e le Province Autonome hanno potuto aggiornare le pericolosità del proprio territorio per individuare le soglie che definiscono il limite tra una zona sismica e un'altra.

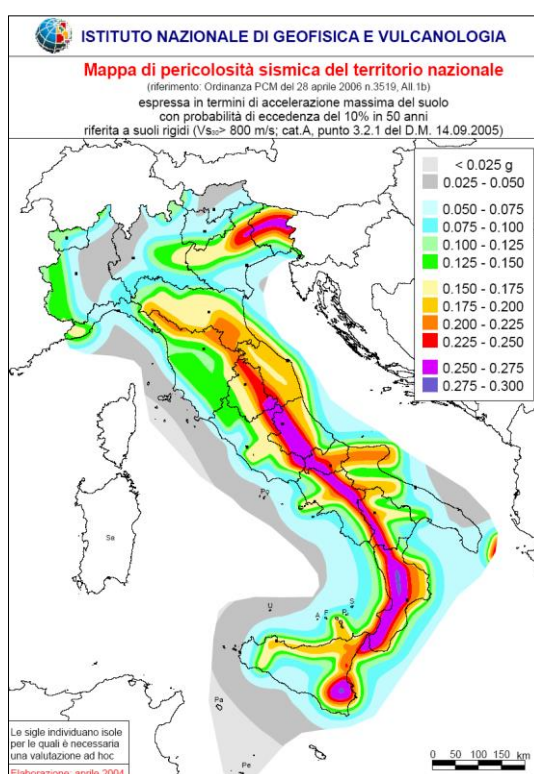


Figura 5-1- La Mappa di Pericolosità sismica 2004 (MPS04).

A tal proposito la Regione Toscana con delibera di GRT n° 431 del 19.06.06, approvava la riclassificazione sismica del territorio regionale, applicando (prima fra tutte le regioni italiane) i criteri nazionali riportati nel suddetto O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006 e attualmente aggiornata con Deliberazione GRT n. 421 del 26/05/2014, pubblicata sul BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, per la quale il Comune di Lucca risulta classificato sismico e collocato in "zona 3", riprendendo la precedente classificazione del 2006.

La classificazione sismica nazionale aggiornata al 2015, consultabile sul sito del Dipartimento della Protezione Civile, è riportata nella Figura 5-2 sottostante.

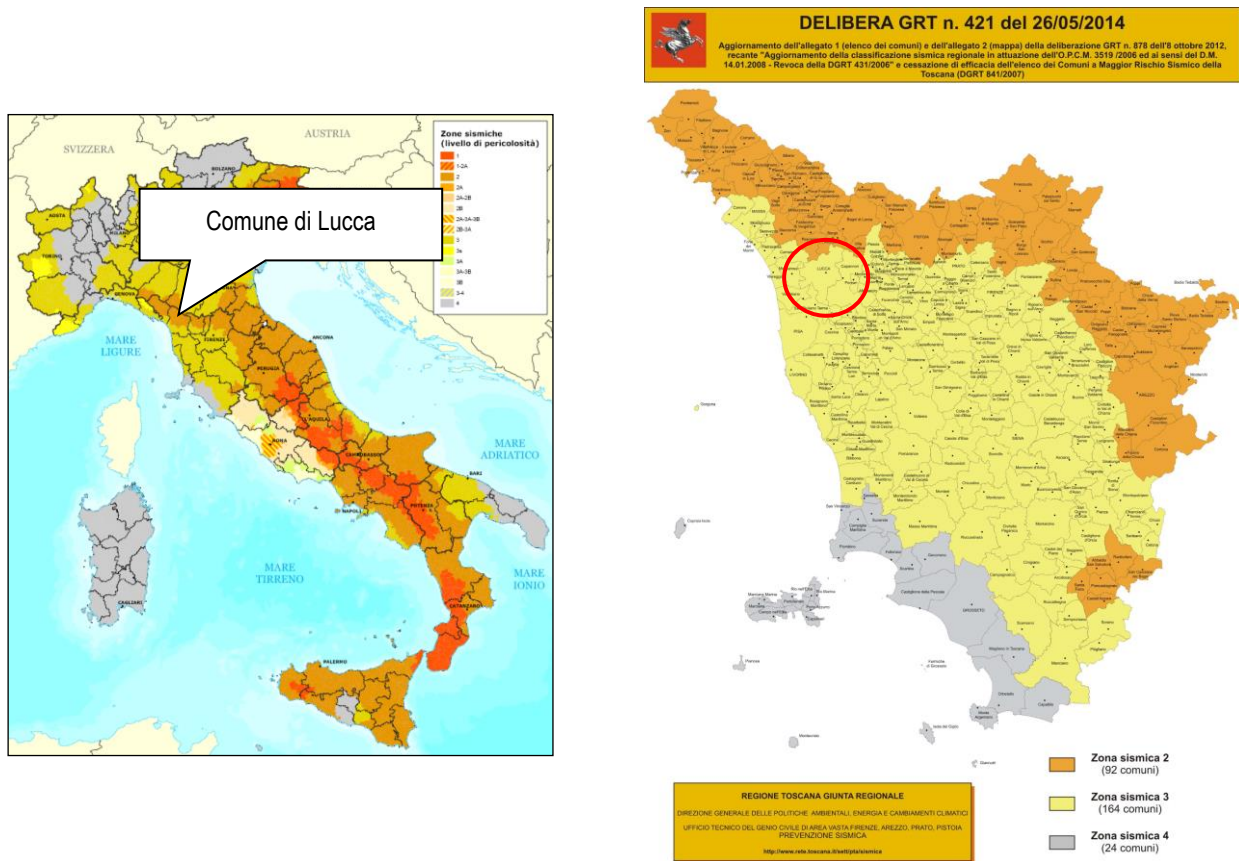


Figura 5-2-Classificazione sismica nazionale aggiornata al 2015 secondo le normative regionali sismiche e Classificazione sismica Regione Toscana e Classificazione sismica Regione Toscana

## 5.2 Zonazione sismica

Nell’ambito della realizzazione della Mappa di Pericolosità MPS04, l’INGV ha realizzato una nuova zonizzazione sismogenetica, denominata ZS9, a partire da una sostanziale rivalutazione della precedente zonizzazione ZS4 realizzata da Meletti et alii. nel 2000, alla luce delle evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni.

Le zone sismogenetiche individuate con la ZS9 sono 36 (da 9 01 a 9 36) (Figura 5-3) ed in particolare il territorio comunale di Lucca di nostro interesse, rientra nella zona sismogenetica 16 (916) – Versilia-Chianti per la quale è stata osservata una magnitudo massima di 5.68 ed una magnitudo cautelativa di 6.14 (Figura 5-4).

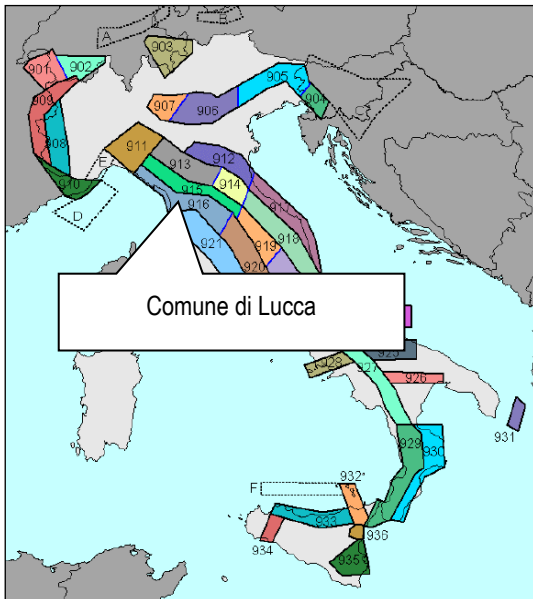


Figura 5-3 – Zonazione sismogenetica ZS9.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
nome ZS	N ZS	DISS2 MwMax	CPTI2 MwMax	CPTI2 MwMax (classe)	CPTI2 completo 04.2	Az1	Mw Max1	Az2	Mw Max2	
Savoia	901		5.79	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+2(d)	6.14	
Vallese	902		6.10	6.14	6.14		6.14		6.14	
Grigioni-Valtellina	903		5.79	5.68	5.22	+3(b)	5.91	+4(d)	6.14	
Trieste -Monte Nevoso	904		5.71	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14	
Friuli -Veneto Orientale	905	6.4	6.66	6.60	6.60		6.60		6.60	
Garda-Veronese	906	6.2	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60	
Bergamasco	907	5.9	5.67	5.68	5.68	G	5.91	+2(d)	6.14	
Piemonte	908		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14	
Alpi Occidentali	909		5.54	5.45	5.45	+1(a)	5.68	+3(d)	6.14	
Nizza-Sanremo	910	6.3	6.29	6.37	6.37		6.37		6.37	
Tortona-Bobbio	911		5.67	5.68	5.68		5.68	+2(d)	6.14	
Dorsale Ferrarese	912	6.2	5.88	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14	
Appennino Emiliano-Romagn.	913		5.85	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14	
Forlivese	914		5.97	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14	
Garfagnana-Mugello	915	6.4	6.49	6.60	6.60		6.60		6.60	
Versilia-Chianti	916		5.52	5.45	5.45	+1(c)	5.68	+3(d)	6.14	
Rimini-Ancona	917	6.1	5.94	5.91	5.91	G	6.14	G	6.14	
Medio-Marchigiana/Abruzz.	918		6.23	6.14	6.14	+1(a)	6.37	+1(a)	6.37	
Appennino Umbro	919	6.0	6.33	6.37	6.37		6.37		6.37	
Val di Chiana-Ciociaria	920		5.57	5.68	5.45	+1(b)	5.68	+3(d)	6.14	
Etruria	921		5.91	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14	
Colli Albani	922		5.53	5.45	5.45		5.45		5.45	
Appennino Abruzzese	923	6.7	6.99	7.06	7.06		7.06		7.06	
Molise-Gargano	924	6.7	6.73	6.83	6.83		6.83		6.83	
Ofanto	925		6.72	6.83	6.83		6.83		6.83	
Basento	926	5.8	5.84	5.91	5.91		5.91	+1(d)	6.14	
Sannio-Irpinia -Basilicata	927	6.8	6.96	7.06	7.06		7.06		7.06	
Ischia-Vesuvio	928		5.78	5.68	5.68	+1(a)	5.91	+1(a)	5.91	
Calabria Tirrenica	929	7.0	7.24	7.29	7.29		7.29		7.29	
Calabria Ionica	930	6.0	6.60	6.60	6.60		6.60		6.60	
Canale d'Otranto	931		6.90	6.83	6.83		6.83		6.83	
Eolie-Patti	932	6.1	6.06	6.14	6.14		6.14		6.14	
Sicilia settentrionale	933		5.89	5.91	5.91	+1(c)	6.14	+1(c)	6.14	
Belice	934		6.12	6.14	6.14		6.14		6.14	
Iblei	935		7.41	7.29	7.29		7.29		7.29	
Etna	936		5.30	5.22	5.22	+1(a)	5.45	+1(a)	5.45	

Figura 5-4 - Tabella riassuntiva di Mmax (Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici).

Mmax1 – magnitudo "osservata; Mmax2 – magnitudo "cautelativa".

### 5.3 Azione sismica dell'area di progetto

Come già indicato, l'aggiornamento della classificazione sismica della Toscana, approvata con Del. GRT n° 421 del 26/05/2014 (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 22 del 04.06.2014, inserisce il territorio comunale di Lucca in "Zona 3".

La valutazione dell'azione sismica di progetto va definita, secondo il nuovo DM 17.01.2018 (NTC18), attraverso specifiche analisi di Risposta Sismica Locale (RSL). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà del terreno siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab 3.2. Il delle norme, è possibile fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato.*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>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.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

I valori di  $V_s$  sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all’approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni compresi nel volume significativo.

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 (3.2.1 delle NTC18):

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

con:

$h_i$  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.

## 6 INDAGINI GEOGNOSTICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE DEL SITO

Al fine di caratterizzare i terreni oggetto d'intervento da un punto di vista stratigrafico, geotecnico e sismico è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da:

- n° 1 Sondaggio geognostico a carotaggio continuo attrezzato con piezometro;
- n. 1 Sondaggio geognostico a distruzione attrezzato per la prova down-hole;
- n° 1 Prelievo di campione indisturbato su cui eseguire analisi di laboratorio;
- n° 2 Prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH);
- n° 1 Indagine sismica in foro (Down-hole);
- n° 1 Analisi Multicanale delle Onde Superficiali (MASW - Onde di Rayleigh).

L'ubicazione delle indagini rispetto allo stato attuale e a quello di progetto è riportata nella Tavola 1 in calce alla presente.

### 6.1 Sondaggio a carotaggio continuo

Il sondaggio, realizzato secondo le "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - AGI, 1977" e "Raccomandazioni ISSMGE", è stato eseguito mediante una sonda CMV MK600 con avanzamento a carotaggio continuo. Nel corso della sua esecuzione, sotto la direzione costante del geologo di cantiere, sono state effettuate le seguenti operazioni:

- raccolta in apposite cassette catalogatrici del materiale estratto;
- descrizione del materiale estratto e ricostruzione della stratigrafia di dettaglio dei terreni attraversati;
- esecuzione di n.3 prove S.P.T. standard;
- prelievo di n.1 campione indisturbato di terreno;
- documentazione fotografica.

I dati relativi ai sondaggi eseguiti sono schematicamente riportati di seguito:

n° sondaggio	Profondità (m)	n° SPT	Campioni	Piezometro	n° cassette	Avanzamento
S1	15.0	3	si	si	3	Carotaggio continuo

Di seguito si riporta la stratigrafia delle tre verticali indagate così come riportate nei logs di campagna:

#### Sondaggio S1

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE
0.0÷0.4 m	Sottofondo stabilizzato
0.4÷1.0 m	Riporto di ghiaia e ciottoli in matrice limosa color marrone
1.0÷2.2 m	Sabbia limosa e limo sabbioso marrone
2.2÷15.0 m	Ghiaie e ciottoli eterogenei ed eterometrici in matrice limo-sabbiosa color grigio-marrone

La falda, misurata in data 15 settembre 2021 nel piezometro installato nel sondaggio (quindi a più di un mese dalla sua realizzazione) è risultata alla profondità di -3.76 m dal p.c..

Durante l'esecuzione di ciascun sondaggio geognostico sono state eseguite n. 5 prove SPT standard; di seguito sono riportati i dati raccolti ed il valore dei principali parametri geotecnici ricavabili:

Sondaggio	N° SPT	Profondità	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>SPT</sub>	Dr (%)	γ (t/m <sup>3</sup> )	φ (°)	Cu (kg/cm <sup>2</sup> )	Ed (kg/cm <sup>2</sup> )
S1	1	3.00	14	28	28	56	87.3	2.16	41.9	-	700
	2	6.00	20	24	28	52	85.8	2.15	41.3	-	650
	3	9.00	20	23	29	52	85.8	2.15	41.3	-	650
	4	12.00	19	23	27	50	85.0	2.15	41.0	-	630
	5	15.00	16	20	23	43	78.0	2.12	39.3	-	550

Dove: γ= peso di volume; φ = angolo d'attrito (Peck e Hanson, 1953); cu=coesione non drenata (Peck e Hanson, 1948, per argille sabbioso-siltose) e Ed=modulo edometrico (Shultze e Menzenbach (sabbia ghiaiosa)).

## 1.1 Analisi geotecniche di laboratorio

Al fine di caratterizzare da un punto di vista geotecnico il terreno con cui è stata realizzata la spalla, sono state eseguite analisi geotecniche di laboratorio su n. 1 campione indisturbato. Le analisi geotecniche sono state eseguite dal laboratorio certificato SOCOTEC ITALIA SRL - Dipartimento di Ferrara.

Le analisi svolte sul campione sono le seguenti:

- Umidità di una terra
- Massa volumetrica apparente
- Determinazione del peso specifico con picometro
- Limiti di Atterberg
- Analisi granulometrica
- Prova di Taglio diretto

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

CAMPIONI INDISTURBATI	QUOTA PRELIEVO		W (%)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	γ <sub>s</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	LIMITI DI ATTERBERG			GRANULOMETRIA (UNI)				ELL (kPa)	TAGLIO DIRETTO	
	da m.	a m.				LL (%)	LP (%)	IP (%)	Ghiaia (%)	Sabbia (%)	Limo (%)	Argilla (%)		Condizioni di picco	
														c' (kPa)	φ' (°)
S1C1	1.50	2.00	17.80	17.20	26.79	ND	ND	ND	0.50	61.20	34.40	4.00	ND	3.21	35.0

ND - Non determinabile

## 6.2 Sondaggio a distruzione

Tale sondaggio è stato eseguito esclusivamente per il posizionamento della tubazione necessaria per la prova sismica in foro Down-hole e ha raggiunto la profondità di 33 m dal p.c.. L'analisi del cutting di perforazione ha permesso di ricostruire la presente stratigrafia:

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE
0.0÷1.0 m	Terreno di riporto
1.0÷2.0 m	Limo sabbioso e sabbie limose marroni
2.0÷17.0 m	Ghiaie in matrice limo-sabbiosa grigio-marrone
17.0÷33.0 m	Ghiaie e ciottoli eterogenei ed eterometrici in matrice limo-sabbiosa color grigio-marrone

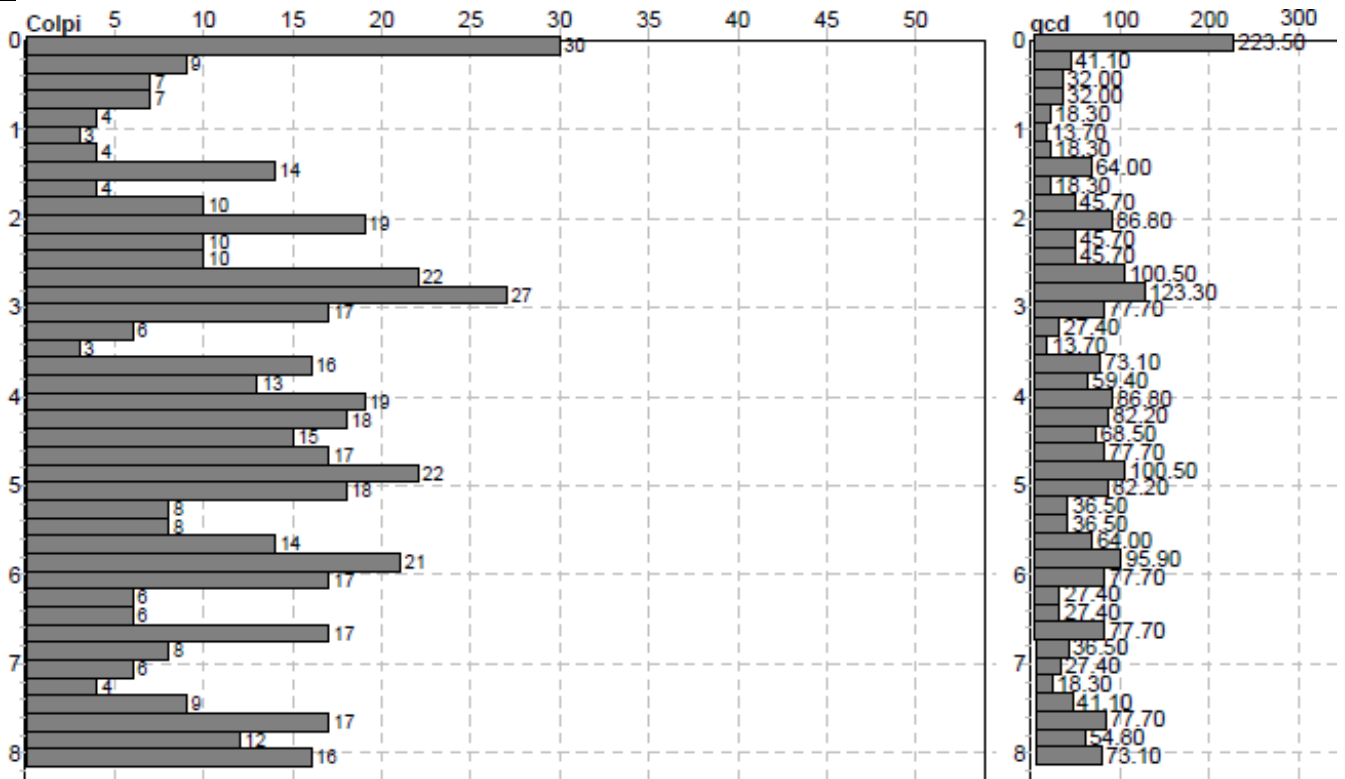
### 6.3 Prove penetrometriche

Le prove penetrometriche sono state effettuate mediante un Penetrometro statico/dinamico modello Pagani TG-63/200 da 20 tonn di spinta, con maglio di 63,5 Kg.

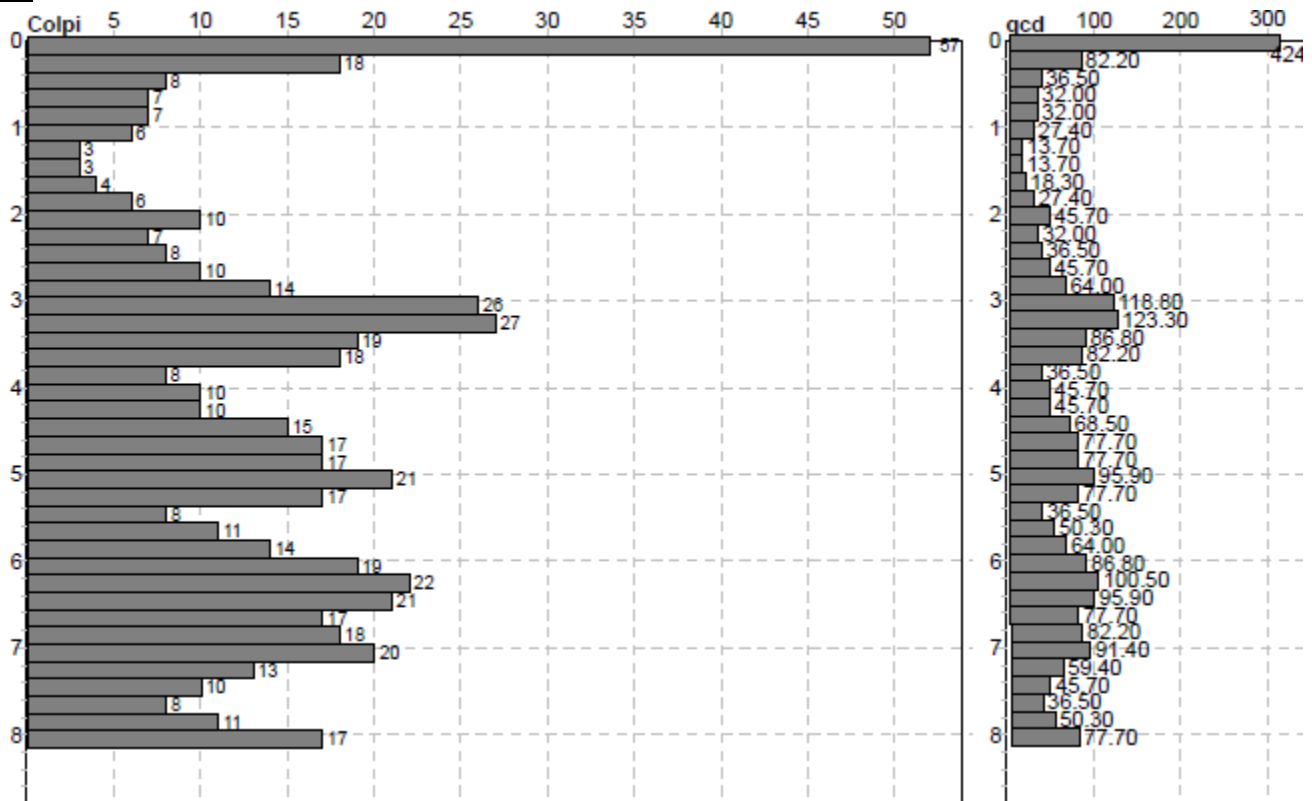
La prova penetrometrica di tipo dinamico super pesante (DPSH) consiste nell’infiggere a percussione una punta troncoconica standardizzata nel terreno, valutando ogni 20 cm il numero dei colpi (N<sub>20</sub>) necessari all’avanzamento; successivamente, in base al numero di colpi N<sub>20</sub> equiparati al valore standardizzato N<sub>SPT</sub> (mediante un coefficiente correttivo che nel caso specifico risulta pari a  $\beta t=1.521$ ), viene calcolato il valore dei principali parametri geomeccanici (O=angolo di attrito; E=modulo edometrico;  $\gamma$ =peso in volume del terreno).

Di seguito si riportano i dati acquisiti in campagna per le due verticali indagate:

#### Pd1



Pd2



Non è stato possibile misurare la falda nei perfori delle due prove in quanto il foro si è richiuso a poche decine di centimetri.

**6.4 Indagine Down-hole**

Al fine di fornire una precisa definizione della categoria di suolo di fondazione e individuare le velocità delle onde Sh caratterizzanti le unità litotecniche individuate, sono state eseguite, come detto, una prova sismica in foro Down-Hole e una prospezione sismica con metodologia MASW. Questo tipo di indagini consente di caratterizzare le proprietà elastiche dei materiali ottenendo quindi la classificazione del terreno di fondazione in base alle nuove norme antisismiche (NTC 2018).

Di seguito si riporta il grafico dell'andamento delle velocità delle onde Sh e delle onde P con la profondità ottenute dall'elaborazione dei dati di campagna (Figura 6-1).

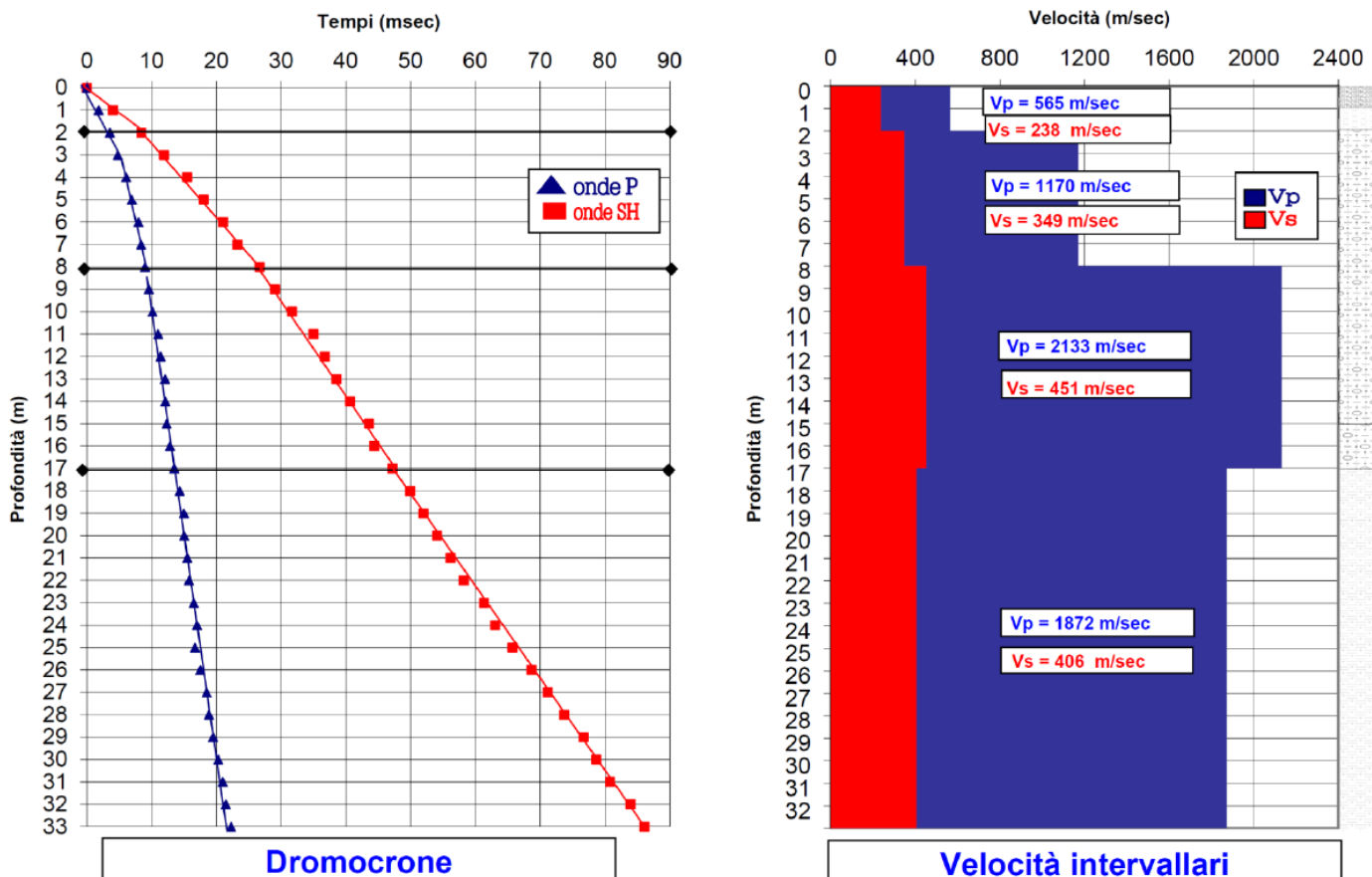


Figura 6-1 - Elaborazione dei dati acquisiti con l'indagine Down-Hole

Complessivamente si osserva una buona corrispondenza tra stratigrafia e velocità rilevate, con la consueta inversione di velocità al passaggio tra le ghiaie ed i sottostanti depositi argillosi che caratterizza tutta la piana lucchese.

Il bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s) non è stato individuato fino alla profondità di 30 m e pertanto la  $V_s$  equivalente, corrisponde alla  $V_{s30}$ , è risultata pari a ca. **386 m/s**.

Ai sensi di quanto definito nel §3.2.2 del D.M. 17.01.2018, i terreni oggetto di intervento rientrano quindi in **Categoria di Suolo B**: “Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”.

## 6.5 Indagine sismica MASW

Nell’area in oggetto è stata eseguita anche una prospezione sismica con metodologia MASW, che sostanzialmente ha confermato le indicazioni ricavate dal down-hole.

Il bedrock sismico ( $V_s > 800$  m/s) non è stato individuato fino alla profondità di 30 m e pertanto, ai sensi del D.M. 17.01.2018, la  $V_s$  equivalente corrisponde alla  $V_{s30}$  che è risultata pari a **375 m/s**. I terreni oggetto di intervento possono pertanto essere associati ad una **Categoria di Suolo B**: “Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”.

## 7 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICO – GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO

In funzione di tutti i dati acquisiti con la campagna geognostica specificatamente realizzata e in base alla personale conoscenza dell'area, è stato possibile ricostruire l'andamento stratigrafico e geotecnico del sottosuolo oggetto di intervento.

L'area risulta caratterizzata da un primo orizzonte di riporto e/o terreno rimaneggiato di circa 1.0 m, al di sotto del quale si trovano i limi sabbiosi e le sabbie limose appartenenti appartenenti al "bellettone" fino a ca. 2.20 m sovrastanti l'orizzonte delle sabbie, ciottoli e ghiaie rappresentante l'acquifero della pianura. L'orizzonte limoso sabbioso tende a ridursi andando verso nord in considerazione della presenza del fiume Serchio.

Nella tabella seguente vengono riportate le unità litologiche riconosciute sulla base delle indagini svolte, con i rispettivi parametri geotecnici attribuiti secondo una stima ragionata e cautelativa in accordo a quanto richiesto dal D.M. 17.01.2018.

Unità litologico stratigrafiche	Descrizione	Parametri					
		$\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	<b>Cu</b> (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>c'</b> (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>Mo</b> (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>Vs</b> (m/s)
U.Lit.0 Da 0.0 m a 1.0 m	Sottofondo e terreno di riporto	1.95	30	-	-	200	238
U.Lit.A Da 1.0 m a 2.2 m	Sabbie limose e limi sabbiosi marroni	1.85	35	0.60	0.032	200	249
U.Lit.B Da 2.2 m a 17.0 m	Ghiaie e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa	2.00	38	-	-	500	451
U.Lit.C Da 17.0 m a 33.0 m	Argille grigio-azzurre con ciottoli	-	-	-	-	-	406

$\gamma$  è il peso di volume del terreno (tonn/m<sup>3</sup>),  $\phi$  è l'angolo di attrito interno (°); **Cu** è la coesione non drenata (Kg/cm<sup>2</sup>); **c'** è la coesione drenata, **Mo** è il Modulo di compressibilità (Kg/cm<sup>2</sup>, inverso del coefficiente di compressibilità) e **Vs** è il valore di velocità delle onde Sh (m/s).

La falda, misurata all'interno del piezometro è stata individuata alla profondità di -3.76 m dal p.c., tuttavia in caso di eventi intensi e prolungati può comunque risalire a quote più alte. Per quanto riguarda la categoria di suolo, le indagini sismiche eseguite, hanno individuato una categoria B.

La ricostruzione schematica dell'andamento stratigrafico e geotecnico dell'area è riportata nella Tavola GEO01 allegata.

## 8 RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per risposta sismica locale si intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base, subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie libera. Tale fenomeno dipende innanzitutto dalle caratteristiche del moto sismico al tetto della formazione di base, nonché dalle caratteristiche geometriche profonde e superficiali dei terreni, dalle proprietà fisiche e meccaniche dei terreni, dalle caratteristiche di permeabilità e dalle condizioni idrauliche al contorno.

Dalla stessa definizione del fenomeno, discende che la risposta sismica locale può modificare sostanzialmente le frequenze dominanti dell'evento. In particolare, può accadere che in corrispondenza di alcune frequenze si abbia un fenomeno di amplificazione, mentre in corrispondenza di altre il segnale sismico si riduca. Dal modello geologico-geotecnico e sismo-stratigrafico ricostruito, si è in grado, avendo una serie di accelerogrammi da utilizzare come input sismico al bedrock, di valutare, con programmi dedicati, lo spettro di risposta medio in accelerazione per il sito in studio.

Il modello sismostratigrafico del sito in oggetto, utilizzato per l'analisi, è quello ricostruito nel cap. 8.

### 8.1 Scelta dell'input sismico (accelerazione di base ag)

Per la definizione dell'input sismico è stato utilizzato il programma Scalcona-3.0 che consente di ottenere un set di 7 input sismici naturali registrati su roccia e soddisfacenti al requisito della spettrocompatibilità con lo spettro di risposta di normativa (NTC2018) per un qualsiasi sito ricadente all'interno del territorio toscano.

La scelta dell'input sismico è cominciata considerando i seguenti parametri progettuali indicati dai progettisti:

- Classe d'uso: III
- Vita nominale (Vn): 50 anni
- Coefficiente d'uso (Cu): 1.5
- Stati limite di riferimento: SLO, SLD e SLV

Nella tabella seguente sono riassunti i valori ottenuti:

#### Valori dei parametri $a_g$ , $F_o$ , $T_C^*$ per i periodi di ritorno $T_R$ associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C^*$ [s]
SLO	45	0.051	2.549	0.249
SLD	75	0.061	2.574	0.265
SLV	712	0.148	2.380	0.293
SLC	1462	0.187	2.388	0.302

Inserendo il periodo di ritorno caratteristico dello stato limite da studiare e le coordinate del sito (o il nome del Comune), il programma restituisce i 7 accelerogrammi spettrocompatibili e sismocompatibili dell'area.

STORIE TEMPORALI PER LO STATO LIMITE OPERATIVO - SLO				
MAGNITUDE(Mw)	EPIC.DISTANCE(KM)	SCALING_FACTOR	SOURCE	FILE_NAME
6.2	29.9	0.69%	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
6.19	38.63	0.76%	NGA-West2	RSN455_MORGAN_G01230.AT2
5.9	10.1	0.53%	ESM	IT.ATN..HNN.D.19840507.174943.C.ACC.ASC
5.61	39.6	0.54%	NGA-West2	RSN1649_SMADRE_VAS000.AT2
6.5	57.74	1.14%	NGA-West2	RSN8167_SANSIMEO_DCPP247.AT2
6.6	62	0.72%	KiK-net	SAGH050503201053.NS2
6.1	53.7	1.54%	ESM	IT.SUL..HNE.D.20090406.013240.C.ACC.ASC

STORIE TEMPORALI PER LO STATO LIMITE OPERATIVO - SLD				
MAGNITUDE(Mw)	EPIC.DISTANCE(KM)	SCALING_FACTOR	SOURCE	FILE_NAME
6.2	29.9	0.81%	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
6.19	38.63	0.88%	NGA-West2	RSN455_MORGAN_G01230.AT2
5.9	10.1	0.61%	ESM	IT.ATN..HNN.D.19840507.174943.C.ACC.ASC
5.61	39.6	0.63%	NGA-West2	RSN1649_SMADRE_VAS000.AT2
6.5	57.74	1.32%	NGA-West2	RSN8167_SANSIMEO_DCPP247.AT2

6.6	62	0.83%	KiK-net	SAGH050503201053.NS2
6.1	53.7	1.79%	ESM	IT.SUL..HNE.D.20090406.013240.C.ACC.ASC

STORIE TEMPORALI PER LO STATO LIMITE OPERATIVO - SLV				
MAGNITUDE(MW)	EPIC.DISTANCE(KM)	SCALING_FACTOR	SOURCE	FILE_NAME
6.2	29.9	1.46%	ESM	EU.HRZ..HNE.D.19790524.172317.C.ACC.ASC
5.74	12.57	1.55%	NGA-West2	RSN146_COYOTELK_G01320.AT2
6.93	92.21	2.43%	NGA-West2	RSN788_LOMAP_PJH045.AT2
6.69	38.07	1.04%	NGA-West2	RSN1091_NORTHV_VAS090.AT2
6.6	31	0.50%	KiK-net	SMNH100010061330.EW2
6.6	62	1.35%	KiK-net	SAGH050503201053.NS2
5.4	13.2	2.21%	ESM	IT.AQP..HNN.D.20090407.174737.C.ACC.ASC

## 8.2 Analisi di Risposta Sismica Locale

Per l’analisi di Risposta Sismica Locale 1D è stato utilizzato il software Strata 1.0 (Albert R. Kottke, 2010) utilizzando gli accelerogrammi descritti sopra scalati da  $m/sec^2$  a g ed il modello geologico e sismico ricostruito nel cap.9 (Figura 8-1).

Soil Types				
Name	Unit Weight (kN/m <sup>3</sup> )	G/G_max Model	Damping Model	Notes
1 Riporto e sabbie limose e limi sabbiosi marroni (U.lit.0 + U.Lit A)	18.50	Sabbie e limi (VEL_RT)	Sabbie e limi (VEL_RT)	
2 Ghiaie e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa	20.00	ROLLINS et Alii	ROLLINS et Alii	
3 Ghiaie e ciottoli addensati	20.00	ROLLINS et Alii	ROLLINS et Alii	
4 Argille grigio-azzurre con ciottoli	20.00	Argille Villafranchiane (VEL_RT)	Argille Villafranchiane (VEL_RT)	

Figura 8-1- Modello geologico-sismico inserito in STRATA

Relativamente alle curve di decadimento della rigidità ( $G/G_0-S$ ) e dello smorzamento ( $D-S$ ) per l’orizzonte 1 e 4 sono state considerate le curve ricavate dalla banca dati VEL della Regione Toscana, mentre per l’orizzonte 2 e 3 relativi alle ghiaie sono state considerate le curve di Rollins et alii.

Le curve  $G/G_0-S$  e  $D-S$  utilizzate per il calcolo sono riportate nelle tabelle seguenti:

1 – Riporto e sabbie limose e limi sabbiosi marroni (U.Lit.0 + U.Lit. A) – VEL\_RT

Strain (%)	G/Gmax	Strain (%)	Damping (%)
1.00e-06	1.000	1.00e-06	1.605
3.00e-06	1.000	3.00e-06	1.606
1.00e-05	0.999	1.00e-05	1.609
3.00e-05	0.997	3.00e-05	1.617
1.00e-04	0.993	1.00e-04	1.638
3.00e-04	0.984	3.00e-04	1.689
1.00e-03	0.958	1.00e-03	1.834
3.00e-03	0.902	3.00e-03	2.186
1.00e-02	0.775	1.00e-02	3.266
3.00e-02	0.584	3.00e-02	5.967
		1.00e-01	12.719
		3.00e-01	21.622

		1.00e+00	29.866
		1.02e-01	12.610
		1.49e-01	15.870
		2.26e-01	17.360
		3.96e-01	18.140

2 – Ghiaie e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa (U.Lit.B) e 3 – Ghiaia e ciottoli addensati (U.Lit. C) – Rollins et Alii

Strain (%)	G/Gmax	Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	1.000	1.00e-04	1.140
2.00e-04	0.996	2.00e-04	1.210
4.00e-04	0.989	3.00e-04	1.310
7.00e-04	0.977	5.00e-04	1.390
1.00e-03	0.964	1.00e-03	1.530
2.00e-03	0.937	2.00e-03	2.080
3.00e-03	0.907	3.00e-03	2.340
4.10e-03	0.882	5.00e-03	2.910
5.00e-03	0.855	7.00e-03	3.390
7.00e-03	0.818	1.01e-02	3.940
9.90e-03	0.757	2.01e-02	5.570
1.96e-02	0.635	2.99e-02	6.810
3.04e-02	0.552	3.97e-02	7.640
3.95e-02	0.500	5.96e-02	8.990
4.95e-02	0.451	8.05e-02	10.010
6.04e-02	0.412	9.90e-02	10.730
8.08e-02	0.364	2.00e-01	13.240
9.97e-02	0.326	2.95e-01	14.370
2.01e-01	0.205	4.00e-01	15.140
2.99e-01	0.146	5.94e-01	16.050
4.00e-01	0.112	8.09e-01	16.550
5.00e-01	0.092	1.00e+00	16.890
6.03e-01	0.075		
7.95e-01	0.057		
1.02e+00	0.042		

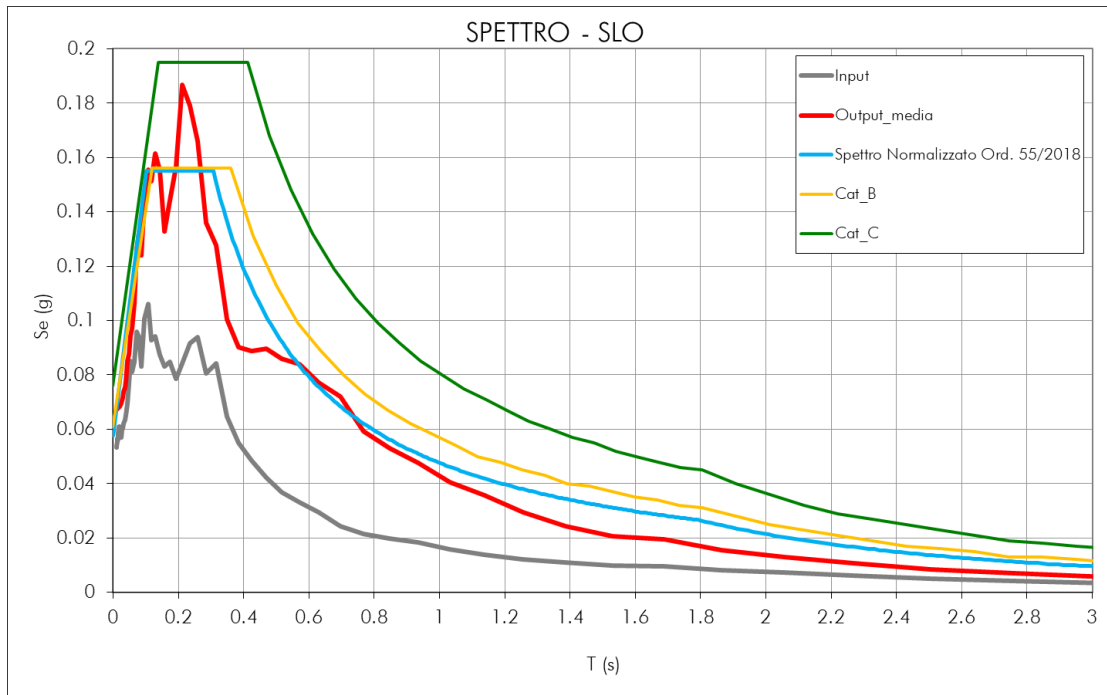
4 – Riperto e sabbie limose e limi sabbiosi marroni (U.Lit.C) – VEL RT

Strain (%)	G/Gmax	Strain (%)	Damping (%)
1.00e-06	1.000	1.00e-06	3.140
3.00e-06	1.000	3.00e-06	3.140
1.00e-05	1.000	1.00e-05	3.140
3.00e-05	1.000	3.00e-05	3.142
1.00e-04	0.999	1.00e-04	3.142
3.00e-04	0.996	3.00e-04	3.156
1.00e-03	0.988	1.00e-03	3.194
3.00e-03	0.966	3.00e-03	3.298
1.00e-02	0.897	1.00e-02	3.644
3.00e-02	0.747	3.00e-02	4.528
1.00e-01	0.474	1.00e-01	6.717
3.00e-01	0.234	3.00e-01	9.504
1.00e+00	0.085	1.00e+00	11.782

Il substrato sismico ( $V_s \geq 800$  m/s), non individuato dalle indagini eseguite, è stato ipotizzato alla profondità di 62 m considerando un aumento lineare delle velocità dei terreni con la profondità.

Di seguito si riporta il grafico dello spettro RSL orizzontale e lo spettro “normalizzato” RSL di progetto per i tre strati limite SLO, SLD e SLV. La normalizzazione è stata fatta considerando le disposizioni riportate nell’allegato 1 dell’ordinanza n.55/2018 sulla base della procedura messa a punto da Newmark e Hall, 1982, Romeo, 2007, Liberatore e Pagliaroli, 2014 (All.2).

### Spettri di risposta elastici SLO



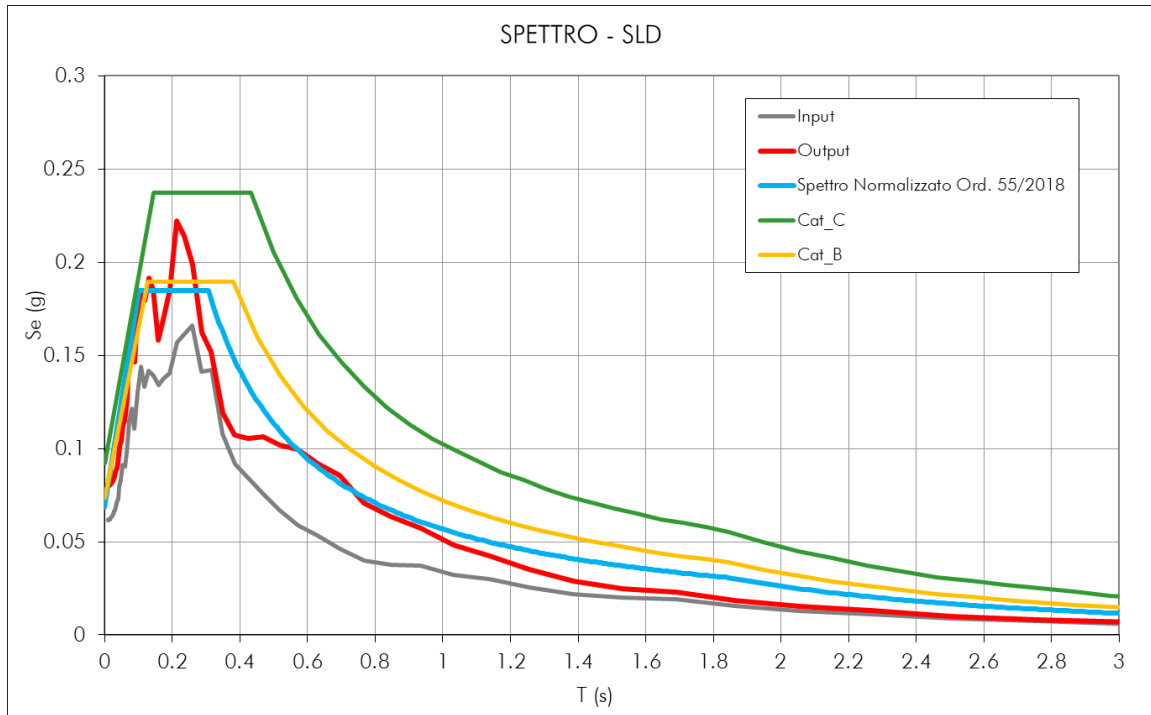
**Parametri indipendenti:**

$ag = 0.051 \cdot g$   
 $F_0 = 2.549$   
 $T_c = 0.249s$

**Parametri dipendenti “SN”:**

$F_0 = 2.69$   
 $S_{RSL} = 1.15$   
 $T_B = 0.10s$   
 $T_C = 0.31s$   
 $T_D = 1.80s$   
 $A_{max} = 0.058$

### Spettri di risposta elastici SLD



**Parametri indipendenti:**

$ag = 0.062 \cdot g$

$F_0 = 2.574$

$T_c = 0.265s$

**Parametri dipendenti "SN":**

$F_0 = 2.69$

$S_{RSL} = 1.11$

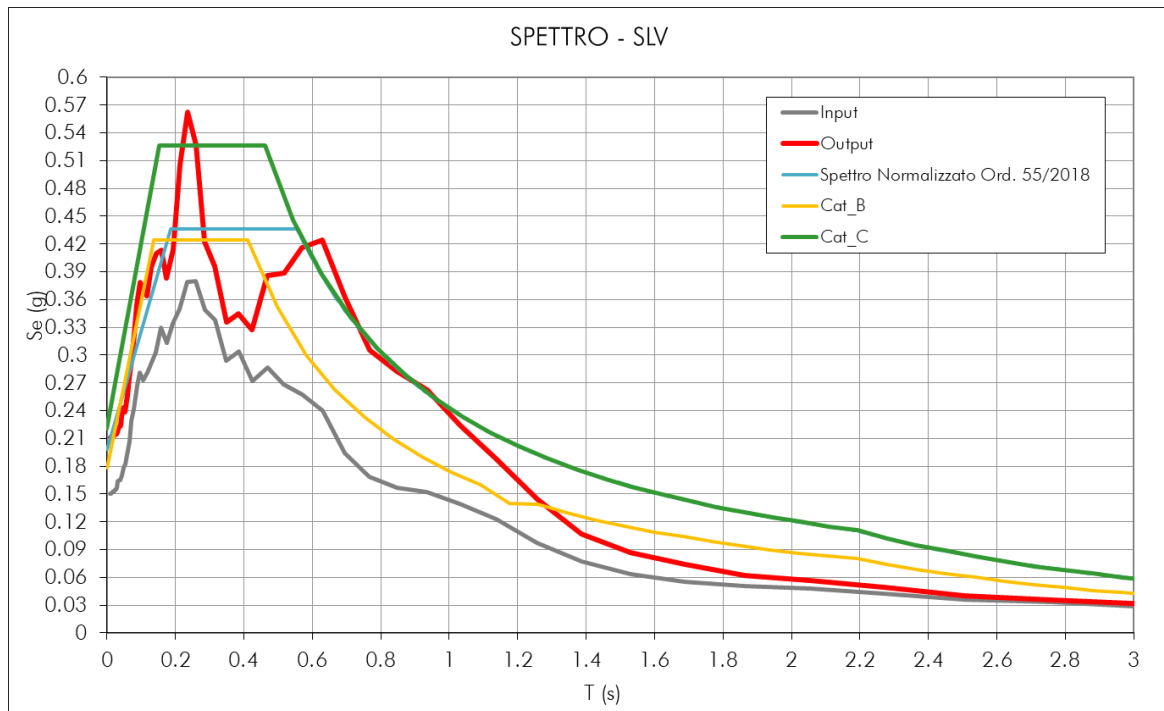
$T_B = 0.10s$

$T_C = 0.31s$

$T_D = 1.84s$

$A_{max} = 0.069$

### Spettri di risposta elastici SLV



**Parametri indipendenti:**

$a_g = 0.148 \cdot g$   
 $F_0 = 2.380$   
 $T_c = 0.293$

**Parametri dipendenti “SN”:**

$F_0 = 2.20$   
 $S_{RSL} = 1.34$   
 $T_B = 0.19s$   
 $T_C = 0.56s$   
 $T_D = 2.19s$   
 $A_{max} = 0.198$

Come si deduce dai grafici riportati sopra per gli Stati limite Operativo e di Danno l’accelerazione massima risulta leggermente minore rispetto a quella della categoria B delle NTC18 mentre risulta maggiore per lo Stato Limite Vita.

L’analisi sismica (MASW e Down-hole) aveva individuato una categoria di suolo B al limite con la C.

Al fine di definire lo spettro elastico di progetto è necessario confrontare lo spettro di risposta medio ottenuto dalla RSL, regolarizzato secondo il metodo riportato nell’allegato 1 dell’ordinanza n.55/2018, con quello dell’approccio semplificato della normativa sismica per la categoria di sottosuolo B (categoria di suolo della nostra area).

L’intervallo di periodi da considerare per il confronto è determinato considerando i periodi di vibrazione di interesse dell’opera nelle due direzioni principali, ossia il minore,  $T_{min}$  e il maggiore,  $T_{max}$ , dei tre periodi di vibrazione dell’edificio (inteso come struttura tridimensionale) con massa partecipante più elevata, tenendo anche conto dell’elongamento degli stessi durante la risposta sismica. Tale intervallo è compreso tra  $T_{min}$  e  $2T_{max}$

In questo intervallo dovranno essere valutate le seguenti due condizioni:

- lo spettro di MS3 supera puntualmente in misura maggiore del 30% lo spettro semplificato di norma;
- l’integrale dello spettro di MS3 è superiore del 20% rispetto al corrispondente integrale dello spettro semplificato di norma.

Nel caso specifico, considerando  $T_{min}=0.05$  s e  $T_{max}=0.40$  s risulta:

Stato Limite	$T_{min}$ [sec]	$T_{max}$ [sec]	Rapporto puntuale [%]	Rapporto integrale [%]	Esito
SLO	0.05	0.40	-8.82	-25.93	Lo spettro semplificato di norma può essere utilizzato per la progettazione.
SLD	0.05	0.40	8.49	-11.87	
SLV	0.05	0.40	40.39	13.72	E' necessaria un'analisi di RSL.

Nel caso di SLO e SLD quindi lo spettro semplificato riferito alla categoria di suolo B risulta, se pur di poco, più cautelativo rispetto a quello di RSL. Cosa opposta invece per lo Stato Limite di Vita – SLV, nel quale deve essere utilizzato lo spettro derivante dalla Risposta Sismica Locale.

I tabulati relativi allo spettro ottenuto con la RSL e a quello normalizzato sono riportati in allegato (Allegato 2).

## 9 LIQUEFAZIONE

Il fenomeno della liquefazione si manifesta sotto l'azione di carichi ciclici come quelli indotti da un sisma, quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento, cioè quando gli sforzi efficaci da cui dipende la resistenza al taglio si riducono a zero. Deve pertanto essere verificata la suscettibilità alla liquefazione nei casi in cui il terreno oggetto d'intervento comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limo argillosa.

La ricostruzione geologica dell'area in esame non ha permesso di escludere la presenza di spessori rilevanti di sabbie sciolte sotto falda e pertanto si è ritenuto opportuno eseguire il calcolo della suscettibilità dei terreni in oggetto alla liquefazione secondo il metodo dell'EC8 (Vs) che considera le velocità delle onde Sh.

Il metodo si basa sulla determinazione del fattore di sicurezza  $F_s=CSR/CRR$ , indicativo della propensione o meno del terreno a liquefare. La metodologia, partendo da una parametrizzazione geomeccanica e sismica dei terreni costituenti l'area in esame, porta alla individuazione della suscettibilità a liquefazione dei terreni costituenti i terreni di fondazione, analizzando strati dello spessore di 0.20 m al di sotto del livello di falda.

Per quanto concerne maggiori informazioni riguardanti la metodologia di calcolo, le relative tabelle e le sezioni schematiche prodotte, si rimanda all'All.3.

Per il calcolo sono stati inseriti i seguenti dati di input:

- la falda è stata considerata, cautelativamente, alla profondità di – 3.0 m dal p.c.;
- sono stati inseriti i dati sismici ricavati nel cap. 4, considerando una Magnitudo massima cautelativa di 6.14 (colonna 10 della Tab.6, del Rapporto Conclusivo) derivante dalle mappe di pericolosità sismica redatte dall'INGV ai sensi dell'OPCM 20.03.2003 n. 3274, All.1, considerando che l'area in oggetto rientra nella Zona Sismogenetica n. 916 “Versilia-Chianti”(ZS9-16);
- non è stata attribuita alcuna componente fine ai terreni.

Durante la fase di elaborazione, il programma ha analizzato la suscettibilità di liquefazione a partire dalla profondità di 3.0 m (profondità di falda), con un passo di 0.20 metri.

Il calcolo, eseguito fino alla profondità di 15 m, ha prodotto un coefficiente di sicurezza sempre maggiore di 1,25 e pertanto, ai sensi delle NTC18, i terreni in gioco non sono suscettibili di liquefazione (All. 3).

**10 VERIFICA IMPERMEABILIZZAZIONE SUOLO**

Per quanto riguarda la trasformazione delle superfici permeabili dell'area, l'intervento in progetto è stato verificato ai sensi del cap.7, "Disposizioni correlate al contenimento degli effetti dell'impermeabilizzazione del suolo" della Relazione Generale di fattibilità geologico-tecnica allegata al Piano Operativo.

Allo stato attuale l'area presenta le seguenti permeabilità che, considerando una pioggia oraria ventennale di 60 mm, apportano una portata pari a 415.92 m<sup>3</sup>/h.

STATO ATTUALE				
Materiale	Superficie	Coefficiente di deflusso	Superficie impermeabile	Superficie permeabile
Coperture metalliche (tetto inclinato < 3°)	50,74	1,00	50,74	0,00
Pavimentazioni tipo "macadam" (ghiaia costipata)	10455,61	0,50	5227,81	5227,81
Autobloccanti su sabbia	454,72	0,50	227,36	227,36
Pavimentazioni in asfalto o CLS	1395,37	1,00	1395,37	0,00
Incolto, superfici degradate	153,67	0,20	30,73	122,94
<b>TOTALE</b>	<b>12510,11</b>	-	<b>6932,01</b>	<b>5578,10</b>

Il progetto prevede le seguenti trasformazioni, con un aumento della superficie permeabile di circa 766 m<sup>2</sup> e un apporto al reticolo di 369.9 m<sup>3</sup>/h.

STATO DI PROGETTO				
Materiale	Superficie	Coefficiente di deflusso	Superficie impermeabile	Superficie permeabile
Calcestruzzo architettonico drenante con sottofondo in ghiaia	1770,28	0,50	885,14	885,14
Pavimentazioni in asfalto o CLS	1215,49	1,00	1215,49	0,00
Pavimentazioni tipo "macadam" (ghiaia costipata)	406,07	0,50	203,04	203,04
Autobloccanti inerbiti	188,27	0,50	94,14	94,14
Coperture metalliche (tetto inclinato > 3°)	2245,74	1,00	2245,74	0,00
Coperture metalliche (tetto inclinato < 3°)	231,10	1,00	231,10	0,00
Prati	6453,16	0,20	1290,63	5162,53
<b>TOTALE</b>	<b>12510,11</b>	-	<b>6165,27</b>	<b>6344,84</b>

L'intervento pertanto prevede un miglioramento delle attuali condizioni di permeabilità dell'area e quindi non è soggetta alle disposizioni sul contenimento degli effetti dell'impermeabilizzazione del suolo.

## 11 CONCLUSIONI

Sulla base delle indagini svolte e dei dati raccolti si ritiene l'intervento fattibile dal punto di vista geologico, idraulico e sismico, ai sensi degli Strumenti Urbanistici vigenti (P.O.), del P.A.I. Autorità di Bacino del Fiume Serchio e del PGR del Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

I dati ottenuti dalle indagini geognostiche hanno permesso di ricostruire il modello stratigrafico, geotecnico, idrogeologico e sismico del sottosuolo sul quale, l'ingegnere progettista, dovrà necessariamente basarsi per i propri calcoli geotecnici (fondazione, cedimenti, sottospinta idraulica ecc). I terreni individuati al di sotto di uno strato superficiale di riporto sono costituiti da sabbie limose e limi sabbiosi seguiti da ghiaie e ciottoli in matrice limoso-sabbiosa a prevalentemente composizione granulare e bassa componente coesiva e pertanto, nelle verifiche geotecniche, possono essere considerati in condizioni drenate.

L'analisi di Risposta Sismica Locale ha individuato che nel caso di SLO e SLD lo spettro semplificato riferito alla categoria di suolo B risulta, seppur di poco, più cautelativo rispetto a quello di RSL, mentre per lo Stato Limite di Vita – SLV, deve essere utilizzato lo spettro derivante dalla Risposta Sismica Locale.

La verifica a liquefazione, eseguita con il metodo semplificato EC 8 (Vs) che considera le velocità delle onde Sh, ha evidenziato che il terreno di imposta delle fondazioni non è suscettibile di liquefazione.

In fase esecutiva dei lavori si consiglia l'assistenza geologica di cantiere da parte di Tecnico abilitato al fine di verificare le ipotesi stratigrafiche, geologiche, idrogeologiche e progettuali fatte ed apporre se necessario le eventuali modifiche.

ALLEGATO 1  
Report indagini

## INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE

### Relazione Tecnica

**COMMITTENTE:** CITTA' DI LUCCA - Arch. Gianluca Bacci

**OGGETTO:** INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE PROPEDEUTICHE ALLA RELAZIONE GEOLOGICA/PROGETTAZIONE "COMPLETAMENTO POLO SPORTIVO DI VIA DELLE TAGLIATE".

**CANTIERE:** Via delle Tagliate, San Marco - Lucca (LU)



**RAPPORTO RELATIVO ALLA CAMPAGNA D'INDAGINE  
ESEGUITA DAL 5 AGOSTO AL 15 SETTEMBRE 2021**

**BIERREGI s.r.l.**  
IL RESPONSABILE TECNICO  
Dott. Geol. *Francesco Rossi*

## INDICE

1. - Premessa.....	2
2. - Sondaggio geognostico .....	2
2.1 - Prove SPT (Standard Penetration Test) .....	3
2.2 - Analisi geotecniche di laboratorio .....	3
3 - Prove penetrometriche .....	4
4. - Analisi Multicanale delle Onde Superficiali (MASW).....	6
4.1 - Sistema d'acquisizione.....	7
4.2 - Elaborazione .....	7
4.3 - Configurazione e risultati della prospezione sismica .....	8
5. - Conclusioni.....	10

## FIGURE

Fig. 1 : COROGRAFIA (CTR Regione Toscana Foglio 261110)

Fig. 2 : UBICAZIONE INDAGINI (CTR Regione Toscana Foglio 19F07)

## ALLEGATI

All. A : LOG STRATIGRAFICO E DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DEL SONDAGGIO  
GEOGNOSTICO

All. B : ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

All. C : ELABORAZIONE DELLE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPER-PESANTI  
(DPSH)

All. D : ELABORATI GRAFICI MASW (Onde di Rayleigh - STR150921A)

## 1. - Premessa

Per incarico ricevuto dalla **Città di Lucca** e su richiesta dell'Arch. *Gianluca Bacci*, sono state eseguite indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche propedeutiche alla relazione geologica/progettazione "*Completamento del polo Sportivo di Via delle Tagliate*". Nell'area oggetto di studio, sita in Via delle Tagliate a San Marco nel Comune di Lucca (LU), sono state eseguite le seguenti indagini:

- n° 1 Sondaggio geognostico a carotaggio continuo attrezzato con piezometro;
- n° 1 Prelievo di campione indisturbato su cui eseguire analisi di laboratorio;
- n° 2 Prove penetrometriche dinamiche super-pesanti (DPSH);
- n° 1 Analisi Multicanale delle Onde Superficiali (MASW - Onde di Rayleigh).

L'area e la relativa ubicazione delle indagini sono riportate rispettivamente in figura 1 (*Corografia*) e in figura 2 (*Ubicazione indagini*).

## 2. - Sondaggio geognostico

Il sondaggio geognostico è stato eseguito mediante una Sonda CMV Mk 600. A seguire si riporta schematicamente un quadro riassuntivo delle specifiche del sondaggio eseguito:

Sondaggio n°	Data di esecuzione	Certificato	Profondità (m)	Falda (m)	Coordinate Gauss-Boaga	
					X	Y
S1-PZ	05/08/2021	BHc-166/21	15,00	-3,76	1620570,9844	4856484,0809

Nel corso dell'esecuzione del sondaggio, costantemente seguito e diretto da un Geologo di cantiere, sono state effettuate le seguenti operazioni:

- Raccolta in apposite cassette catalogatrici del materiale estratto (totale n. 3);
- Esecuzione di prove S.P.T. standard (totale n. 5);
- Prelievo di campione indisturbato con fustella Shelby (totale n.1);
- Documentazione fotografica.

Al termine della perforazione, il sondaggio S1-PZ è stato attrezzato con tubo piezometrico fino a fondo foro ( $\emptyset = 40,0$  mm) per consentire il monitoraggio della falda.

La falda è stata misurata in data 15 Settembre 2021 (giorno di esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche super-pesanti) ed è risultata livellare alla profondità di 3,76 metri dal piano campagna.

Tutte le informazioni raccolte durante l'esecuzione del sondaggio geognostico sono contenute nel relativo log stratigrafico e documentazione fotografica, riportati dettagliatamente in allegato (All.A).

### 2.1 - Prove SPT (Standard Penetration Test)

La prova S.P.T. consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionatore di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0.76 m. Durante la prova si misura:

- $N_1$  = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";
- $N_2$  = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;
- $N_3$  = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$N_{SPT} = N_2 + N_3$$

Durante l'esecuzione del sondaggio geognostico sono state eseguite in totale n. 5 prove SPT standard a punta aperta. Di seguito sono riportati i dati raccolti (numero dei colpi):

N° SPT	Profondità d'indagine			$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_{SPT}$	
1	3.00	÷	3.45	m	14	28	28	56
2	6.00	÷	6.45	m	20	24	28	52
3	9.00	÷	9.45	m	20	23	29	52
4	12.00	÷	12.45	m	19	23	27	50
5	15.00	÷	15.45	m	16	20	23	43

### 2.2 - Analisi geotecniche di laboratorio

Al fine di caratterizzare da un punto di vista geotecnico il terreno investigato, sono state eseguite analisi geotecniche di laboratorio su n. 1 campione indisturbato prelevato durante la perforazione. Le analisi geotecniche sono state eseguite dal laboratorio certificato *SOCOTEC ITALIA SRL - Dipartimento di Ferrara*.

Di seguito si indicano sinteticamente le analisi svolte sul campione raccolto:

TIPO DI PROVA	NORMA	CAMPIONE INDISTURBATO
		S1C1
UMIDITA' DI UNA TERRA	UNI EN ISO 17892-1	SI
MASSA VOLUMICA APPARENTE	UNI EN ISO 17892-2	SI
DETERMINAZIONE DEL PESO SPECIFICO CON PICNOMETRO	UNI EN ISO 17892-3	SI
LIMITI DI ATTERBERG	ASTM D4318 metodo A	SI
ANALISI GRANULOMETRICA (1)	ASTM D 422	SI
PROVA DI COMPRESSIONE AD ESPANSIONE LATERALE LIBERA	ASTM D 2166-91	SI
PROVA DI TAGLIO DIRETTO	UNI CEN ISO 17892-10	SI

(1) per setacciatura e sedimentazione

Dalle prove sopra riportate sono stati ricavati i seguenti parametri:

CAMPIONI INDISTURBATI	QUOTA PRELIEVO		W	$\gamma$	$\gamma_s$	LIMITI DI ATTERBERG			GRANULOMETRIA (UNI)				ELL	TAGLIO DIRETTO		
	da m.	a m.				LL	LP	IP	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla		Cu	Condizioni di picco	
															(%)	(%)
S1C1	1.50	2.00	17.80	17.20	26.79	ND	ND	ND	0.50	61.20	34.40	4.00	ND	3.21	35.0	

ND - Non determinabile

dove:

- W Umidità naturale
- $\gamma$  Peso di volume
- $\gamma_s$  Peso specifico
- Cu Coesione non drenata
- $c'$  Coesione consolidata drenata
- $\phi'$  Angolo di attrito consolidato drenato

Non è stato possibile eseguire le prove meccaniche Edometria ed Espansione L.L. perché il campione è risultato prevalentemente a grana grossolana.

Per una visione dettagliata dei grafici e tabulati delle prove di laboratorio effettuate si veda l'All.B.

### 3 - Prove penetrometriche

Le prove penetrometriche sono state effettuate mediante un Penetrometro statico/dinamico modello Pagani TG-63/200 da 20 tonni di spinta, con maglio di 63,5 Kg.

La prova penetrometrica di tipo dinamico super pesante (DPSH) consiste nell'infiggere a percussione una punta troncoconica standardizzata nel terreno, valutando ogni 20 cm il numero dei colpi ( $N_{20}$ ) necessari all'avanzamento; successivamente, in base al numero di colpi  $N_{20}$  equiparati al valore standardizzato  $N_{SPT}$  (mediante un coefficiente correttivo che nel caso specifico risulta pari a  $\beta_t=1.521$ ), viene calcolato il valore dei principali parametri geomeccanici ( $\phi$ =angolo di attrito;  $E$ =modulo edometrico;  $\gamma$ =peso in volume del terreno). Con questa tipologia di prova penetrometrica non è possibile tuttavia ricavare informazioni dettagliate sulle caratteristiche granulometriche (ghiaie, sabbie, limi, argille). A seguire si riporta una tabella di sintesi delle specifiche tecniche delle prove eseguite:

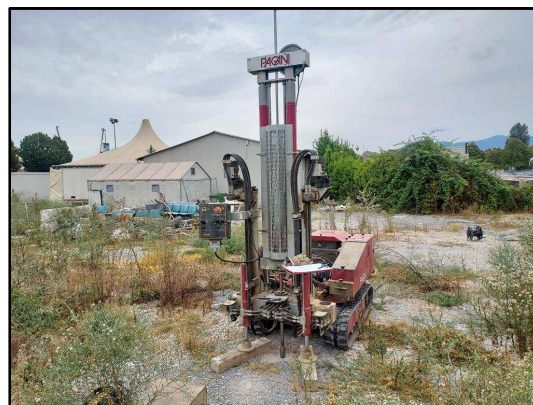
Prova n°	Data di esecuzione	Certificato	Profondità (m)	Falda (m)	Coordinate Gauss-Boaga	
					X	Y
PD.1	15/09/2021	DPSH-131/21	8,20	-	1620557,8251	4856509,9234
PD.2	15/09/2021	DPSH-132/21	8,20	-	1620574,6145	4856476,9519

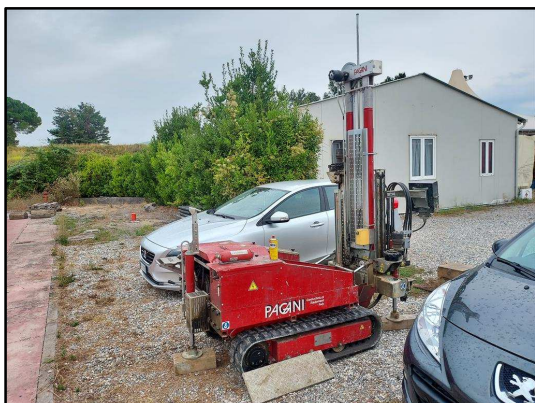
I dati rilevati in campagna sono stati elaborati con l'ausilio del programma "Win-Din" versione 3.01 0405-401 della OCX del Dr. Geol. Diego Merlin.

Non è stato possibile effettuare misure della falda all'interno dei perfori delle prove a causa della chiusura dei fori in prossimità della superficie.

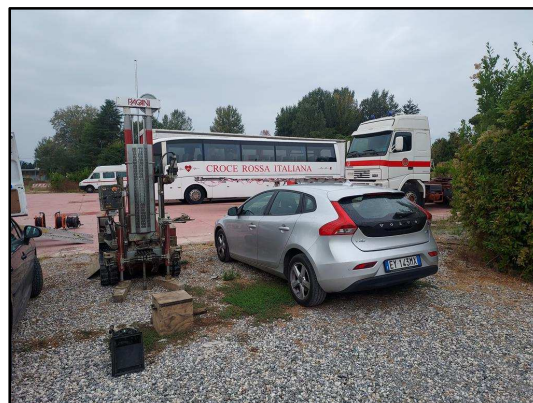


Postazione della Prova Penetrometrica PD.1





Postazione della Prova Penetrometrica PD.2



Per le caratteristiche tecniche del penetrometro utilizzato e la visione dei relativi tabulati e diagrammi delle prove si rimanda al relativo allegato (All.C).

#### 4. - Analisi Multicanale delle Onde Superficiali (MASW)

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde di volume o di corpo (onde P e S - "Body Waves"), più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di ONDE SUPERFICIALI ("Surface Waves"), la cui componente principale è rappresentata dalle onde di Rayleigh e Love ("Ground Roll"). Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica geofisica limitatamente invasiva di recente applicazione che, attraverso l'analisi delle onde di superficie (dispersione), ha lo scopo di ottenere profili  $V_S$ -Z (velocità delle onde di taglio - profondità).

Il fenomeno dispersivo delle onde superficiali si manifesta in un mezzo stratificato, in quanto diverse lunghezze d'onda si propagano con velocità di fase differente. A sua volta la velocità di fase dipende dalla frequenza e tale dipendenza viene espressa attraverso la curva di dispersione. Esiste una relazione fondamentale che lega i tre parametri fondamentali che descrivono la propagazione nello spazio di un'oscillazione:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

dove:

- |           |                                       |
|-----------|---------------------------------------|
| $\lambda$ | lunghezza d'onda (misurata in metri); |
| $f$       | frequenza (in Hz);                    |
| $v$       | velocità di propagazione (in m/s).    |

A tal proposito, la profondità di esplorazione massima raggiungibile dipende dalle caratteristiche del mezzo dalla superficie fino ad una profondità indicativamente pari al valore di  $\lambda/2$  o  $\lambda/3$ . In riferimento a quest'ultimo aspetto, è buona regola operare che geometrie di acquisizione di lunghezza D prossima al doppio della profondità che si vuole indagare.

#### 4.1 - Sistema d'acquisizione

Per l'acquisizione è stato utilizzato un sismografo a 48 canali ECHO 24-48/2012 dell'AMBROGEO di Piacenza, collegato ad un pc portatile su cui è installato programma di acquisizione Echo2012, aventi le seguenti caratteristiche principali:

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

Inoltre, l'attrezzatura è completata da un cavo sismico a 24 takes out spaziatati a 2,0 m, con connettori cannon a cui sono stati attaccati 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5Hz per la ricezione delle onde R (Rayleigh). Come sorgente energizzante è stata utilizzata una mazza da 8 kg battente su piastra in duralluminio.

#### 4.2 - Elaborazione

Il software qui utilizzato per il processing dei dati sismici acquisiti in campagna è WinMASW 7.0 ver. Academy, che consente di ricavare il profilo verticale delle Vs. Tale risultato viene ottenuto tramite l'inversione delle curve di dispersione delle Onde di Rayleigh. Il metodo MASW si articola in tre passaggi successivi:

- Acquisizione delle onde superficiali di Rayleigh ("Ground Roll") da effettuarsi in campagna con apposita strumentazione;
- Costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- Inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Il primo punto riguarda la prova MASW eseguita "in situ" per ottenere il sismogramma relativo alle onde di Rayleigh. I passaggi successivi fanno riferimento all'elaborazione dei dati acquisiti in campagna mediante pc, utilizzando il software WinMASW 7.0 ver. Academy. Il primo passo, una volta caricati i dati di campagna

(sismogramma delle onde di Rayleigh) è quello di calcolare lo spettro di velocità e successivamente procedere con il picking della curva di dispersione.

Infine l'ultimo passaggio riguarda l'inversione della curva di dispersione precedentemente "piccata". Questa viene effettuata grazie all'utilizzo di una potente tecnica di ottimizzazione (algoritmi genetici) da parte del software utilizzato. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione.

I risultati delle prospezioni vengono restituiti in allegato che include i grafici dei vari passaggi necessari per ottenere il grafico del profilo verticale delle Vs. In particolare come allegati vengono forniti:

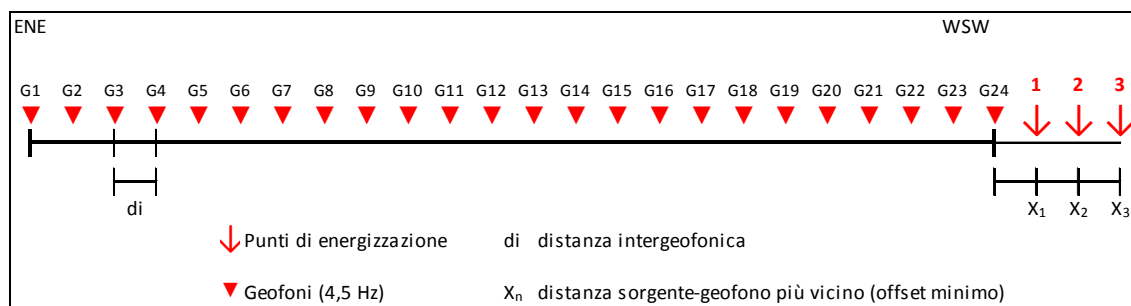
- Traccia sismica registrata ad ogni geofono per lo sparo effettuato (input file);
- Spettro di velocità e Curva di Dispersione (picking);
- Grafico Misfit - Generazione e Profilo verticale Onde S.

Attualmente la tecnica MASW, seppur presentando alcuni vantaggi rispetto alla sismica a rifrazione (es. operare in contesti con spazio limitato), è soggetta a limitazioni di tipo teorico (es. strati piano paralleli) e pratico (es. necessità di sorgenti energetiche a bassa frequenza), che unite alle difficoltà interpretative in assenza di un valido modello sismo-stratigrafico, pongono la massima cautela per l'utilizzo di questa tecnica come unico sistema di analisi.

Infatti, l'ottimizzazione di tali prospezioni può essere ottenuta con la realizzazione di più stese (sismica a rifrazione per ricostruire l'andamento dei sismostrati) ed eventuali operazioni di taratura con la realizzazione di sondaggi di tipo puntuale (carotaggi, penetrometrie...). Nel nostro caso abbiamo preso come riferimento il sondaggio e la penetrometria eseguiti, oltre alla visione della carta geologica e delle carte di microzonazione sismica a supporto del RU del Comune di Lucca.

#### *4.3 - Configurazione e risultati della prospezione sismica*

Nell'area oggetto di studio, considerando la logistica del cantiere, è stata eseguita n°1 prospezione sismica MASW denominata "STR150921A" (Fig.2), utilizzando un sistema d'acquisizione a 24 geofoni interspaziati di 2,00 metri (lunghezza stesa 46,00 metri). La configurazione della stesa è riportata nello schema che segue:



Sono state eseguite tre registrazioni, effettuate con mazza da 8 kg battente su piastra in duralluminio. I tre punti sorgente (shot) sono stati effettuati esternamente alla stesa ad una distanza di 2,0 metri ( $X_1$  - shot 1), 5,00 metri ( $X_2$  - shot 2) e 10,00 metri ( $X_3$  - shot 3) dall'ultimo geofono (G.24). Azimut  $N080^\circ$  (ENE-WSW) riferito al G1. Tempo di acquisizione 1,5 s - Intervallo di campionamento 0,256 ms.

Le registrazioni avvenute in campagna sono state ottenute, in fase di acquisizione, utilizzando la medesima sensibilità per ciascun geofono e senza l'utilizzo di filtraggio delle frequenze.

L'analisi MASW fornisce vari modelli (profili di velocità  $V_s$  monodimensionale) ottenuti mediante processo di inversione, tra i quali viene adottato quello relativo al modello stratigrafico medio. La velocità della  $V_{s,eq}$  (a partire dal piano campagna) è risultata essere pari a:

$$V_{s,eq} = 375 \text{ m/s (modello medio)}$$



Stesa sismica MASW (vista da G24)



Postazione

Per ulteriori dettagli su spessori e velocità ottenute dall'analisi MASW, si rimanda al relativo allegato (All.D).

## 5. - Conclusioni

Sulla base dei dati raccolti sul campo e le elaborazioni eseguite, è stato possibile evidenziare quanto segue:

Il sondaggio geognostico, le analisi geotecniche di laboratorio e le prove penetrometriche hanno permesso di ricavare la stratigrafia e i parametri geomeccanici del terreno investigato.

La valutazione dell'azione sismica di progetto va definita, secondo il DM 17.01.2018 (NTC18), attraverso specifiche analisi di Risposta Sismica Locale (RSL). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà del terreno siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab 3.2.11 delle norme, è possibile fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ .

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 (3.2.1 delle NTC18):

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

con:

- $h_i$  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. Nel nostro caso, quindi, il calcolo della  $V_{s,eq}$  può essere associato alla  $V_{s,30}$  e dall'analisi MASW effettuata per il sito d'interesse (modello medio) sono stati individuati i vari sismostrati con le relative velocità  $V_s$ , riportati nella tabella sottostante:

MASW STR150921A LUCCA (modello medio)	Profondità		Spessore ( $h_i$ ) (metri)	Velocità ( $V_{s,i}$ ) (m/s)	$h_i/V_{s,i}$ (-)
	da (m)	a (m)			
Sismostrato 1	0.00	0.30	0.30	300	0.0010
Sismostrato 2	0.30	0.70	0.40	274	0.0015
Sismostrato 3	0.70	1.90	1.20	250	0.0048
Sismostrato 4	1.90	3.90	2.00	300	0.0067
Sismostrato 5	3.90	6.10	2.20	330	0.0067
Sismostrato 6	6.10	10.10	4.00	350	0.0114
Sismostrato 7	10.10	15.10	5.00	370	0.0135
Sismostrato 8	15.10	19.80	4.70	400	0.0118
Sismostrato 9	19.80	30.00	10.20	450	0.0227

H = 30 metri

 $\sum h_i/V_{s,i} = 0.0800$ 

$V_{s,eq} = V_{s,30} = 30/0.0800 = 375 \text{ m/s}$	<b>Categoria di Sottosuolo B</b> <b>(a partire dal piano campagna)</b>
<i>“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s”.</i>	

L'analisi specifica dei dati elaborati rimane comunque a carico del “geologo/ingegnere” responsabile delle indagini; le considerazioni sopra esposte in merito all'elaborazione delle prove penetrometriche (parametri geomeccanici del terreno e suddivisioni) e alla “categoria di suolo”, si devono intendere come mera interpretazione dei risultati ottenuti.

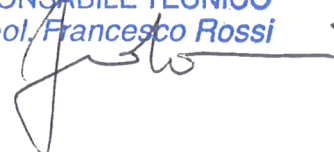
Per ulteriori dettagli sulle indagini svolte si rimanda ai relativi allegati (All.A - B - C - D).

*Lucca, Settembre 2021*

**BIERREGI srl**

*Il Responsabile Tecnico  
Dott. Geol. Francesco Rossi*

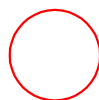
**BIERREGI s.r.l.**  
IL RESPONSABILE TECNICO  
Dott. Geol. Francesco Rossi



# FIG.1 - COROGRAFIA

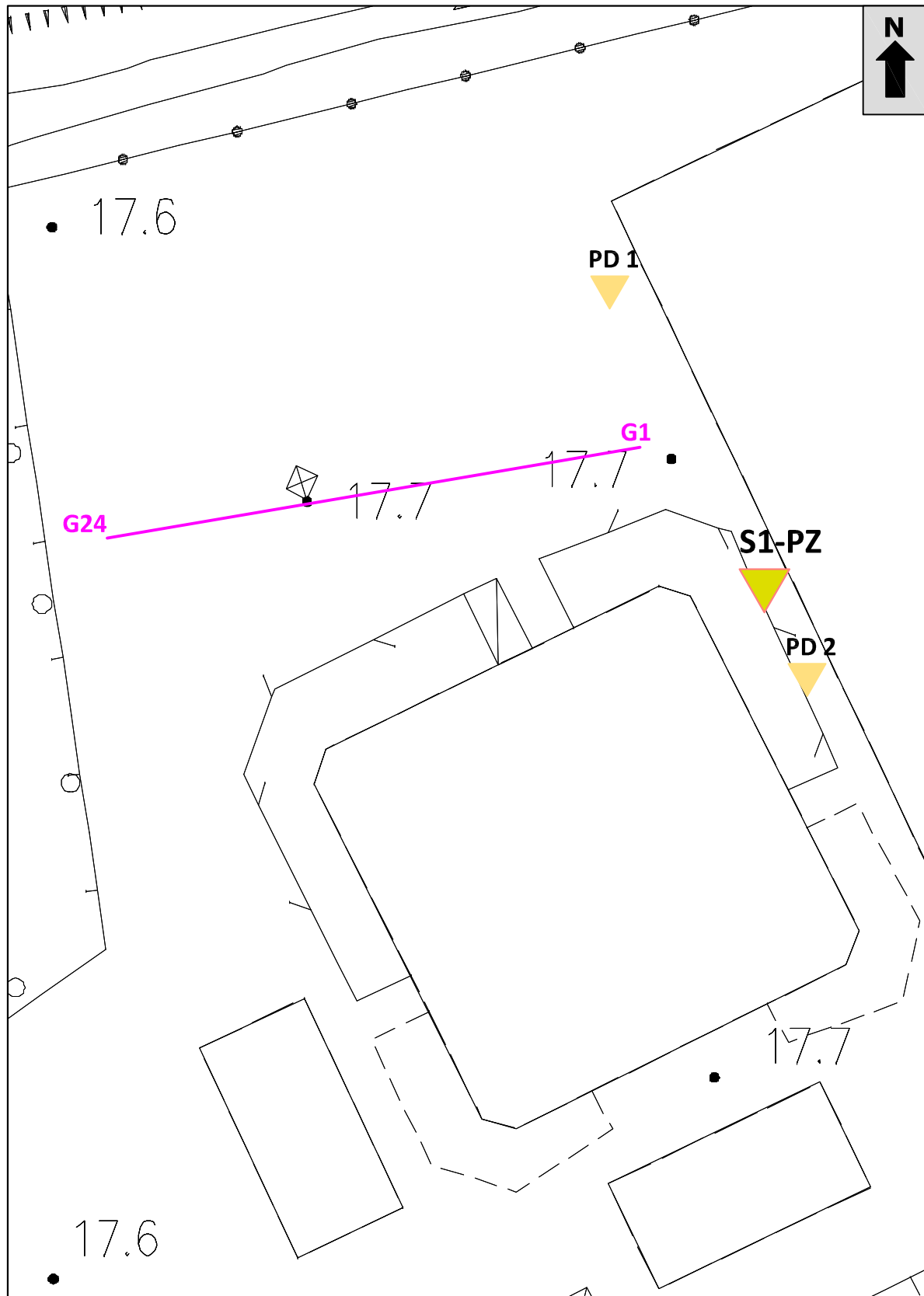
(C.T.R. Regione Toscana - Foglio 261110 - Scala 1:20'000)



 - Area oggetto d'indagine

## FIG.2 - UBICAZIONE INDAGINI

(C.T.R. Regione Toscana - Foglio 19F07 - Scala 1:500)



**S1-PZ**



- Sondaggio geognostico  
a carotaggio continuo  
attrezzato con piezometro

**PD 1-2**



- Prove penetrometriche  
dinamiche super-pesanti

**G24**



- Stesa sismica MASW  
(Onde Rayleigh)

**G1**

**bierregi s.r.l.**

INDAGINI GEOFISICHE  
GEOGNOSTICHE e GEOTECNICHE



OS 21  
OS 20- B

Presidenza del Consiglio Superiore  
dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale  
Aut. n. :00007464



Cert. No. 98514-2011-AQ-  
ITA-ACCREDIA

**Allegato A**

**Log Stratigrafico del Sondaggio Geognostico  
E Documentazione fotografica**

S1-PZ (BHc-166/21) Profondità 15,00 m



**CANTIERE:**

COMPLETAMENTO DEL POLO SPORTIVO DI VIA DELLE TAGLIATE - SAN MARCO - LUCCA

**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DEL SONDAGGIO GEOGNOSTICO**



**Figura 1:** Postazione Sondaggio



**Figura 2:** Cassetta n.1 - da 0.00 a 5.00 metri



**Figura 3:** Cassetta n.2 - da 5.00 a 10.0 metri



**Figura 4:** Cassetta n.3 - da 10.0 a 15.0 metri



**Figura 5:** Completamento (Chiusino e deposito cassette)

**bierregi s.r.l.**

INDAGINI GEOFISICHE  
GEOGNOSTICHE e GEOTECNICHE



OS 21  
OS 20- B

  
Presidenza del Consiglio Superiore  
dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale  
Aut. n. :00007464



Cert. No. 98514-2011-AQ-  
ITA-ACCREDIA

**Allegato B**

## Analisi Geotecniche di Laboratorio

**FERRARA DEPARTMENT**

Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)

Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

[www.socotec.it](http://www.socotec.it)**SOCOTEC**

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 486 del 20/09/2019 , art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC


**SCHEDA GENERALE DEL CAMPIONE**COMMITTENTE: **BIERREGI S.r.l. - Via Acquacalda 840/A - 55100 Lucca (LU)**CANTIERE: **"Croce Rossa" - Lucca (LU)**CAMPIONE: **S1C1 m 1.50 - 2.00**

COMMESSA: 23260FE/21

VERBALE ACC.: 382/21

DATA CONSEGNA: 30/08/21

il campione è stato conservato in vasca umida termostatica

alto 1.50	P.P. kPa	T.V. kPa	LUNGHEZZA (cm): 34 GRADO DI QUALITA': AGI Q5 EC 7-3 Q1																																
	-	-	DESCRIZIONE: Sabbia medio fina con limo marrone scuro-grigio																																
			<table> <tr><td>W naturale (%)</td><td>17.8</td></tr> <tr><td><math>\gamma</math> naturale (Mg/m<sup>3</sup>)</td><td>1.72</td></tr> <tr><td><math>\gamma</math> secco (Mg/m<sup>3</sup>)</td><td>1.46</td></tr> <tr><td><math>\gamma</math> immerso (Mg/m<sup>3</sup>)</td><td>0.92</td></tr> <tr><td>porosità (%)</td><td>45</td></tr> <tr><td>indice dei vuoti</td><td>0.83</td></tr> <tr><td>grado di saturazione (%)</td><td>57</td></tr> <tr><td>massa specifica (Mg/m<sup>3</sup>)</td><td>2.679</td></tr> </table>	W naturale (%)	17.8	$\gamma$ naturale (Mg/m <sup>3</sup> )	1.72	$\gamma$ secco (Mg/m <sup>3</sup> )	1.46	$\gamma$ immerso (Mg/m <sup>3</sup> )	0.92	porosità (%)	45	indice dei vuoti	0.83	grado di saturazione (%)	57	massa specifica (Mg/m <sup>3</sup> )	2.679																
W naturale (%)	17.8																																		
$\gamma$ naturale (Mg/m <sup>3</sup> )	1.72																																		
$\gamma$ secco (Mg/m <sup>3</sup> )	1.46																																		
$\gamma$ immerso (Mg/m <sup>3</sup> )	0.92																																		
porosità (%)	45																																		
indice dei vuoti	0.83																																		
grado di saturazione (%)	57																																		
massa specifica (Mg/m <sup>3</sup> )	2.679																																		
			<b>PROVE ESEGUITE</b> <table> <tr><td>Umidità Naturale</td><td>SI</td><td>Trassiale UU</td><td>-</td></tr> <tr><td>Limiti Atterberg</td><td>SI</td><td>Trassiale CIU</td><td>-</td></tr> <tr><td>Gran. Setacciatura</td><td>SI</td><td>Edometria</td><td>-</td></tr> <tr><td>Gran. Sedimentazione</td><td>SI</td><td>Taglio Diretto</td><td>SI</td></tr> <tr><td>Peso di Volume</td><td>SI</td><td>Espansione L.L.</td><td>-</td></tr> <tr><td>Peso Specifico</td><td>SI</td><td>Trassiale Cicl. + C.M.</td><td>-</td></tr> <tr><td>Analisi Chimica</td><td>-</td><td>Colonna Risonante</td><td>-</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>Taglio Torsionale Cicl.</td><td>-</td></tr> </table>	Umidità Naturale	SI	Trassiale UU	-	Limiti Atterberg	SI	Trassiale CIU	-	Gran. Setacciatura	SI	Edometria	-	Gran. Sedimentazione	SI	Taglio Diretto	SI	Peso di Volume	SI	Espansione L.L.	-	Peso Specifico	SI	Trassiale Cicl. + C.M.	-	Analisi Chimica	-	Colonna Risonante	-			Taglio Torsionale Cicl.	-
Umidità Naturale	SI	Trassiale UU	-																																
Limiti Atterberg	SI	Trassiale CIU	-																																
Gran. Setacciatura	SI	Edometria	-																																
Gran. Sedimentazione	SI	Taglio Diretto	SI																																
Peso di Volume	SI	Espansione L.L.	-																																
Peso Specifico	SI	Trassiale Cicl. + C.M.	-																																
Analisi Chimica	-	Colonna Risonante	-																																
		Taglio Torsionale Cicl.	-																																
			NOTE: Non è stato possibile eseguire le prove meccaniche Edometria ed Espansione L.L. perché il campione è risultato prevalentemente a grana grossolana.																																
2.00 basso																																			

Io Sperimentatore:  
dott. Roberto BellanovaIl Direttore del Laboratorio terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli

**FERRARA DEPARTMENT**

Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)

Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

[www.socotec.it](http://www.socotec.it)



Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 486 del 20/09/2019 , art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

**UMIDITA' DI UNA TERRA**

**UNI EN ISO 17892-1**

COMMITTENTE: **BIERREGI S.r.l. - Via Acquacalda 840/A - 55100 Lucca (LU)**

CANTIERE: **"Croce Rossa" - Lucca (LU)**

CAMPIONE: **S1C1 m 1.50 - 2.00**

COMMESSA: 23260FE/21 DURATA PROVE: 01-08/09/2021

VERBALE ACC.: 382/21 DATA CONSEGNA: 30/08/21

GEO - CERT. n°: 0 rev.00 del: 00/01/00

il campione è stato conservato in vasca umida termostatica

ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE:  
**Sabbia medio fina con limo marrone scuro-grigio**

cod.bilancia 480 - cod. stufa 567

DETERMINAZIONE	1	2
TARA (g)	309.28	3.25
TERRA UMIDA (g)	908.29	229.33
TERRA ESSICATA* (g)	814.78	196.25
UMDITA' DETERMINATA (%)	18.5	17.1
UMDITA' CALCOLATA (%)	=	<b>17.8</b>

\* materiale essiccato in stufa a 105 - 110 °C, fino a massa costante.

lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova

Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli

**FERRARA DEPARTMENT**

Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)

Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

[www.socotec.it](http://www.socotec.it)



Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 486 del 20/09/2019 , art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

**MASSA VOLUMICA APPARENTE**

**UNI EN ISO 17892-2**

COMMITTENTE: **BIERREGI S.r.l. - Via Acquacalda 840/A - 55100 Lucca (LU)**

CANTIERE: **"Croce Rossa" - Lucca (LU)**

CAMPIONE: **S1C1 m 1.50 - 2.00**

COMMESSA: 23260FE/21 DURATA PROVE: 01-08/09/2021

VERBALE ACC.: 382/21 DATA CONSEGNA: 30/08/21

GEO - CERT. n°: 0 rev.00 del: 00/01/00

il campione è stato conservato in vasca umida termostatica

ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE:  
**Sabbia medio fina con limo marrone scuro-grigio**

cod.bilancia 480 - cod. calibro 708

DETERMINAZIONE	1	2
TARA (g)	42.57	42.59
ALTEZZA (cm)	2.01	2.01
DIAMETRO (cm)	5.99	5.99
MASSA LORDA (g)	139.68	140.64
MASSA VOLUMICA (Mg/m <sup>3</sup> )	1.72	1.73
<b>MEDIA (Mg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>=</b>	<b>1.72</b>

Io Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova

Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli

**FERRARA DEPARTMENT****Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)****Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119**

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

[www.socotec.it](http://www.socotec.it)

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 486 del 20/09/2019, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

**DETERMINAZIONE DEL PESO SPECIFICO CON PICNOMETRO****UNI EN ISO 17892-3**

COMMITTENTE:	<b>BIERREGI S.r.l. - Via Acquacalda 840/A - 55100 Lucca (LU)</b>		
CANTIERE:	<b>"Croce Rossa" - Lucca (LU)</b>		
CAMPIONE:	<b>S1C1</b>	<b>m 1.50 - 2.00</b>	
COMMESSA:	23260FE/21	DURATA PROVE:	01-08/09/2021
VERBALE ACC.:	382/21	DATA CONSEGNA:	30/08/21
GEO - CERT. n°:	0	rev.00 del:	00/01/00

il campione è stato conservato in vasca umida termostatica

**ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE:**  
**Sabbia medio fina con limo marrone scuro-grigio**

cod.bilancia 480

determinazione	1	2
picnometro n:	(pic. 001)	(pic. 002)
terra (g):	20.38	19.64
temperatura (°C):	25.0	25.0
picnometro + acqua (g):	145.53	149.73
picnometro + terra (g):	158.31	162.05
fattore K	0.9988	0.9988
<b>Peso specifico determinato (Mg/m<sup>3</sup>):</b>	<b>2.678</b>	<b>2.680</b>

<b>Peso specifico calcolato (Mg/m<sup>3</sup>):</b>	<b>2.679</b>
---	--------------

Io Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova

Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli

**FERRARA DEPARTMENT**

Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)

Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

[www.socotec.it](http://www.socotec.it)



Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 486 del 20/09/2019 , art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

<b>LIMITI DI ATTERBERG (norma ASTM D4318 metodo A)</b>			
COMMITTENTE:	<b>BIERREGI S.r.l. - Via Acquacalda 840/A - 55100 Lucca (LU)</b>		
CANTIERE:	<b>"Croce Rossa" - Lucca (LU)</b>		
CAMPIONE:	<b>S1C1</b>	<b>m 1.50 - 2.00</b>	
COMMESSA:	23260FE/21	DURATA PROVE:	01-08/09/2021
VERBALE ACC.:	382/21	DATA CONSEGNA:	30/08/21
GEO - CERT. n°:	0	rev.00 del:	00/01/00

il campione è stato conservato in vasca umida termostatica

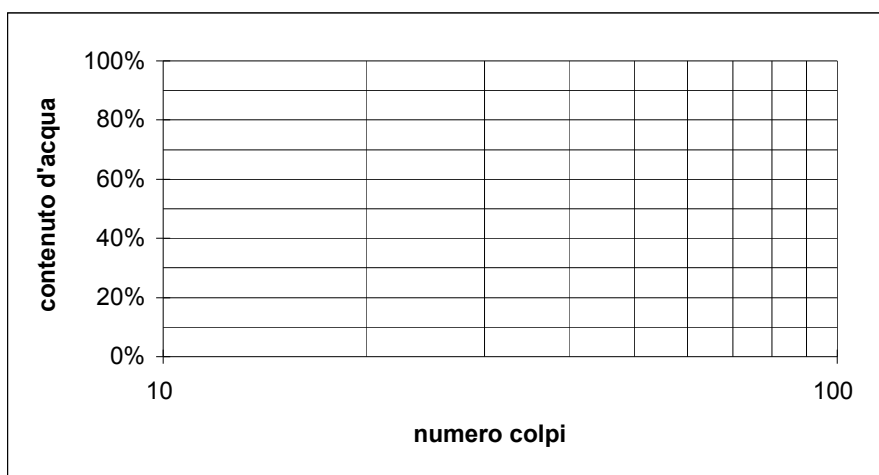
ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE:

**Sabbia medio fina con limo marrone scuro-grigio**

codice cucchiaino: 344; codice bilancia: 480; codice stufa: 419

	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO		UMIDITA'
	1	2	3	1	2	
impasto						
N° colpi						
massa umida+ tara (g)						908.29
massa secca+ tara (g)						814.78
acqua contenuta (g)	NON DETERMINATO					93.51
tara (g)						309.28
peso secco (g)						505.50
contenuto d'acqua				NON PLASTICO		18.5%

**Umidità Naturale**      **Wn = 18%**  
**Limite Liquido**        **LL = ND**  
**Limite Plastico**        **LP = NP**  
**Indice Plastico**        **IP = ND**



Io Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova

Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott. geol. Massimo Romagnoli

**FERRARA DEPARTMENT**

Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)

Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20045 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

[www.socotec.it](http://www.socotec.it)



Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 486 del 20/09/2019, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/S1

**ANALISI GRANULOMETRICA**

(per setacciatura e sedimentazione) norma A.S.T.M. D 422

COMMITTENTE: **BIERREGI S.r.l. - Via Acquacalda 840/A - 55100 Lucca (LU)**

CANTIERE: **"Croce Rossa" - Lucca (LU)**

CAMPIONE: **S1C1 m 1.50 - 2.00**

COMMESSA: 23260FE/21 DURATA PROVE: 01-08/09/2021

VERBALE ACC.: 382/21 DATA CONSEGNA: 30/08/21

GEO - CERT. n°: 0 rev.00 del: 00/01/00

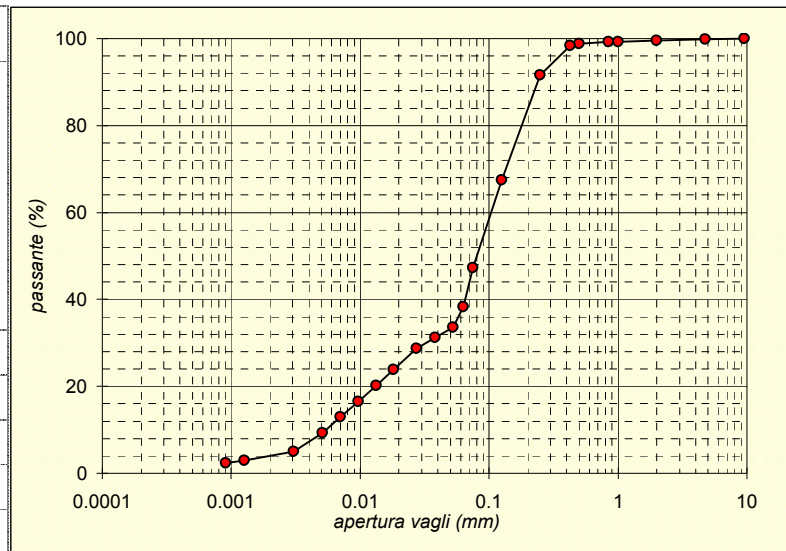
il campione è stato conservato in vasca umida termostatica Codici strumentazione: bilancia 480, vasca 557, stufa 419, densimetro 151H 348, termometro 588mescolatore 432.

ASPETTO MACROSCOPICO DEL CAMPIONE:

**Sabbia medio fina con limo marrone scuro-grigio**

codici	vaglio	trattenuto	trattenuto	cum. tratt.	passante
	(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)
712	setaccio	9.51	0.00	0.00	100.00
571	setaccio	4.75	1.06	0.21	99.79
572	setaccio	2	1.38	0.27	99.52
573	setaccio	1	0.99	0.20	99.32
290	setaccio	0.85	0.31	0.06	99.26
291	setaccio	0.5	2.27	0.45	98.81
292	setaccio	0.425	2.46	0.49	98.32
293	setaccio	0.250	33.76	6.68	91.65
282	setaccio	0.125	122.06	24.15	67.50
283	setaccio	0.075	102.22	20.22	47.28
286	setaccio	0.063	45.11	8.92	38.35
-	calcolato	0.0524	23.92	4.73	66.38
-	calcolato	0.0380	12.33	2.44	68.82
-	calcolato	0.0275	12.33	2.44	71.26
-	calcolato	0.0182	24.66	4.88	76.13
-	calcolato	0.0133	18.49	3.66	79.79
-	calcolato	0.0097	18.49	3.66	83.45
-	calcolato	0.0071	18.49	3.66	87.11
-	calcolato	0.0051	18.49	3.66	90.77
-	calcolato	0.0030	21.57	4.27	95.03
-	calcolato	0.0013	10.34	2.05	97.08
-	calcolato	0.0009	3.08	0.61	97.69
-	fondo	11.68	2.31	100.00	0.00
<b>TOTALE</b>		<b>505.50</b>			<b>φ max (mm) = 5.9</b>

Passante effettivo setaccio 0.063 (g) in areometro	50.03	
t° C	Tempo (s)	Letture
26	30	30.0
26	60	28.0
26	120	26.0
26	300	22.0
26	600	19.0
26	1200	16.0
26	2400	13.0
26	4800	10.0
26	14400	6.5
25	86400	5.0
25	172800	4.5
Rapporti granulometrici		
	USCS	UNI
GHIAIA	> 4,75 mm	> 2,00 mm
	0.2%	0.5%
SABBIA	> 0,075 mm	> 0,063 mm
	52.5%	61.2%
LIMO	> 2 μ	> 2 μ
	43.3%	34.4%
ARGILLA	< 2 μ	< 2 μ
	4.0%	4.0%



Soluzione disperdente preparata al momento

lo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanovè

Il Direttore del Laboratorio  
dott. geol. Massimo Romagnoli

**FERRARA DEPARTMENT**

Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)  
Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648  
Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)  
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099  
[www.socotec.it](http://www.socotec.it)



Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 486 del 20/09/2019, art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO (norma UNI CEN ISO 17892-10)**

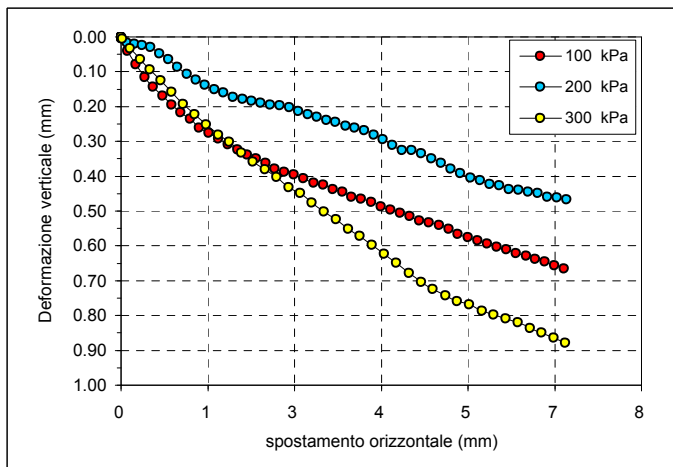
COMMITTENTE:	<b>BIERREGI S.r.l. - Via Acquacalda 840/A - 55100 Lucca (LU)</b>		
CANTIERE:	<b>"Croce Rossa" - Lucca (LU)</b>		
CAMPIONE:	<b>S1C1</b>	<b>m 1.50 - 2.00</b>	
COMMESSA:	23260FE/21	DURATA PROVE:	01-08/09/2021
VERBALE ACC.:	382/21	DATA CONSEGNA:	30/08/21
GEO - CERT. n°:		rev.00 del:	

Il campione è stato conservato in vasca umidostatica

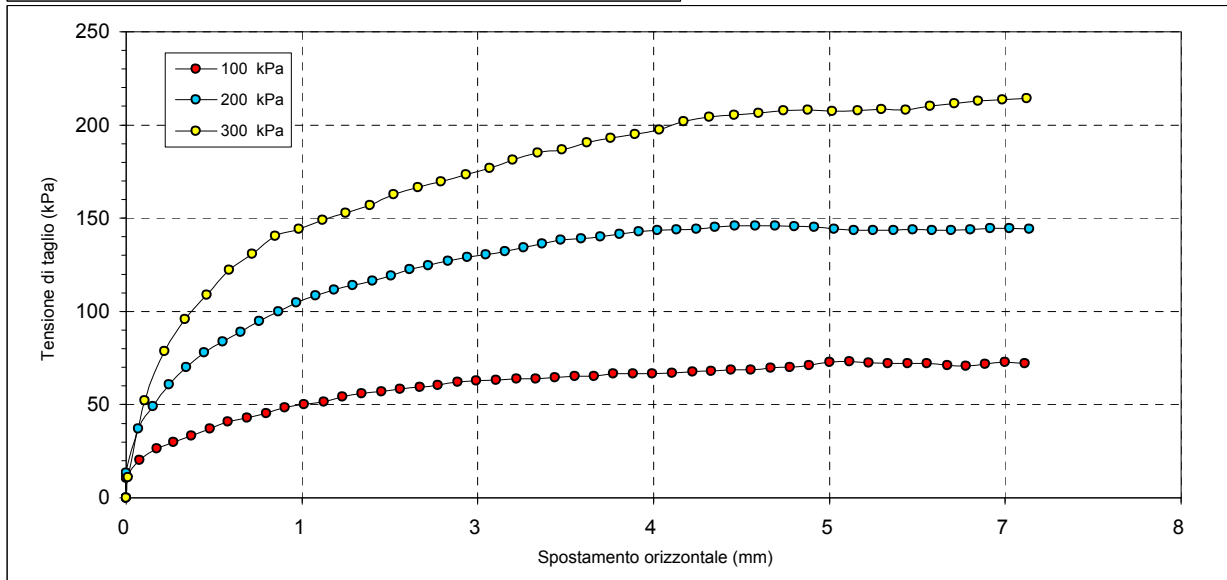
CODICI STRUMENTAZIONE: calibro 12; bilancia 480; trasduttori LVDT 540, 540, 543, 544; SG 539, 542.

Macchina:	CONTROLS T206 Electronic/T207 Digital
Prova:	CONSOLIDATA DRENATA
Dimensioni provino:	$\phi \times h = 60 \times 20$ mm
Velocità prova:	0,004 mm/min

NATURA DEL CAMPIONE: Sabbia medio fina con limo marrone scuro-grigio



	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3
$\sigma_v$ (kPa)	100	200	300
W ini (%)	18.5	17.1	17.1
$\gamma$ ini (Mg/m <sup>3</sup> )	1.72	1.73	1.73
$\gamma_d$ ini (Mg/m <sup>3</sup> )	1.45	1.48	1.48
S ini (%)	58	57	56
W fin (%)	43.2	42.8	37.8
$\gamma$ fin (Mg/m <sup>3</sup> )	1.78	1.79	1.83
$\gamma_d$ fin (Mg/m <sup>3</sup> )	1.24	1.25	1.33
S fin (%)	100	100	100
G (Mg/m <sup>3</sup> )	2.679		
H fine cons (mm)	20.002	19.925	19.827



Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott.geol. Massimo Romagnoli

Io Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova

**FERRARA DEPARTMENT**

Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)

Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648

Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)

Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099

[www.socotec.it](http://www.socotec.it)

Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 486 del 20/09/2019 , art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO (norma UNI CEN ISO 17892-10)**

COMMITTENTE:	<b>BIERREGI S.r.l. - Via Acquacalda 840/A - 55100 Lucca (LU)</b>		
CANTIERE:	<b>"Croce Rossa" - Lucca (LU)</b>		
CAMPIONE:	<b>S1C1</b>	<b>m 1.50 - 2.00</b>	
COMMESSA:	23260FE/21	DURATA PROVE:	01-08/09/2021
VERBALE ACC.:	382/21	DATA CONSEGNA:	30/08/21
GEO - CERT. n°:	rev.00 del:		

PROVINO 1 100 kPa			PROVINO 2 200 kPa			PROVINO 3 300 kPa		
Def.or. (mm)	Tensione (kPa)	Def.ver. (mm)	Def.or. (mm)	Tensione (kPa)	Def.ver. (mm)	Def.or. (mm)	Tensione (kPa)	Def.ver. (mm)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.001	10.716	0.004	0.002	13.440	0.004	0.016	10.929	0.005
0.105	20.407	0.041	0.094	36.959	0.016	0.147	52.309	0.033
0.238	26.278	0.079	0.210	49.196	0.021	0.300	78.799	0.065
0.371	29.709	0.116	0.336	60.620	0.024	0.459	95.811	0.094
0.509	33.458	0.143	0.471	70.063	0.029	0.632	108.720	0.125
0.655	37.101	0.170	0.610	77.915	0.047	0.805	122.231	0.159
0.798	40.744	0.194	0.754	83.928	0.064	0.987	130.719	0.193
0.947	43.007	0.217	0.896	88.808	0.087	1.164	140.304	0.223
1.098	45.377	0.236	1.041	94.715	0.106	1.350	144.194	0.252
1.242	48.383	0.261	1.190	100.055	0.123	1.538	149.110	0.281
1.393	50.151	0.275	1.331	104.618	0.138	1.718	152.965	0.302
1.544	51.531	0.292	1.481	108.437	0.150	1.906	156.785	0.333
1.689	54.289	0.308	1.627	111.585	0.160	2.092	162.797	0.358
1.843	55.881	0.324	1.772	114.025	0.172	2.280	166.688	0.380
1.995	57.154	0.339	1.925	116.501	0.178	2.464	169.517	0.403
2.143	58.215	0.350	2.070	119.154	0.184	2.657	173.266	0.432
2.295	59.312	0.363	2.215	122.549	0.189	2.843	176.945	0.449
2.438	60.549	0.379	2.364	124.671	0.195	3.024	181.259	0.476
2.590	62.035	0.387	2.518	126.970	0.197	3.218	185.044	0.501
2.739	62.954	0.395	2.665	129.021	0.203	3.408	186.883	0.524
2.893	63.131	0.406	2.811	130.577	0.214	3.600	190.738	0.551
3.050	64.016	0.419	2.960	132.346	0.222	3.786	192.931	0.571
3.203	64.016	0.424	3.107	134.397	0.229	3.979	194.911	0.597
3.354	64.617	0.437	3.251	136.378	0.239	4.167	197.316	0.623
3.507	65.147	0.445	3.399	138.394	0.244	4.359	201.843	0.648
3.656	65.324	0.460	3.556	139.207	0.255	4.559	204.248	0.678
3.808	66.703	0.465	3.706	140.268	0.261	4.754	205.486	0.704
3.963	66.633	0.475	3.856	141.506	0.269	4.944	206.370	0.724
4.114	66.774	0.488	4.007	142.744	0.281	5.137	207.750	0.743
4.267	66.916	0.496	4.151	143.381	0.295	5.327	208.068	0.760
4.426	67.482	0.506	4.303	144.053	0.311	5.519	207.573	0.769
4.574	67.835	0.514	4.457	144.336	0.326	5.721	207.608	0.787
4.728	68.543	0.527	4.605	145.255	0.326	5.905	208.386	0.797
4.883	68.826	0.533	4.758	145.856	0.334	6.093	208.033	0.809
5.038	69.639	0.541	4.917	145.998	0.349	6.286	210.226	0.819
5.189	70.205	0.552	5.072	145.892	0.363	6.476	211.605	0.836
5.339	71.160	0.567	5.225	145.750	0.379	6.660	212.913	0.849
5.498	72.681	0.575	5.380	145.184	0.392	6.852	213.762	0.864
5.652	72.999	0.585	5.536	144.371	0.405	7.041	214.187	0.878
5.804	72.398	0.594	5.689	143.487	0.411			
5.953	72.256	0.603	5.841	143.487	0.422			
6.109	72.009	0.611	5.998	143.699	0.427			
6.261	72.009	0.621	6.148	143.840	0.438			
6.417	71.054	0.629	6.297	143.664	0.440			
6.565	70.806	0.637	6.450	143.699	0.444			
6.714	71.620	0.645	6.601	143.805	0.448			
6.869	72.645	0.656	6.756	144.442	0.459			
7.023	72.221	0.665	6.907	144.583	0.462			
			7.062	144.300	0.467			

Il Direttore del Laboratorio terre:  
dott.geol. Massimo RomagnoliIo Sperimentatore:  
dott. Roberto Bellanova

**FERRARA DEPARTMENT**  
**Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)**  
**Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119**

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648  
 Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)  
 Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099  
[www.socotec.it](http://www.socotec.it)



Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 486 del 20/09/2019 , art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO (norma UNI CEN ISO 17892-10)**

COMMITTENTE:	<b>BIERREGI S.r.l. - Via Acquacalda 840/A - 55100 Lucca (LU)</b>		
CANTIERE:	<b>"Croce Rossa" - Lucca (LU)</b>		
CAMPIONE:	<b>S1C1</b>	<b>m 1.50 - 2.00</b>	
COMMESSA:	23260FE/21	DURATA PROVE:	01-08/09/2021
VERBALE ACC.:	382/21	DATA CONSEGNA:	30/08/21
GEO - CERT. n°:		rev.00 del:	

**Consolidazione Provino 1**

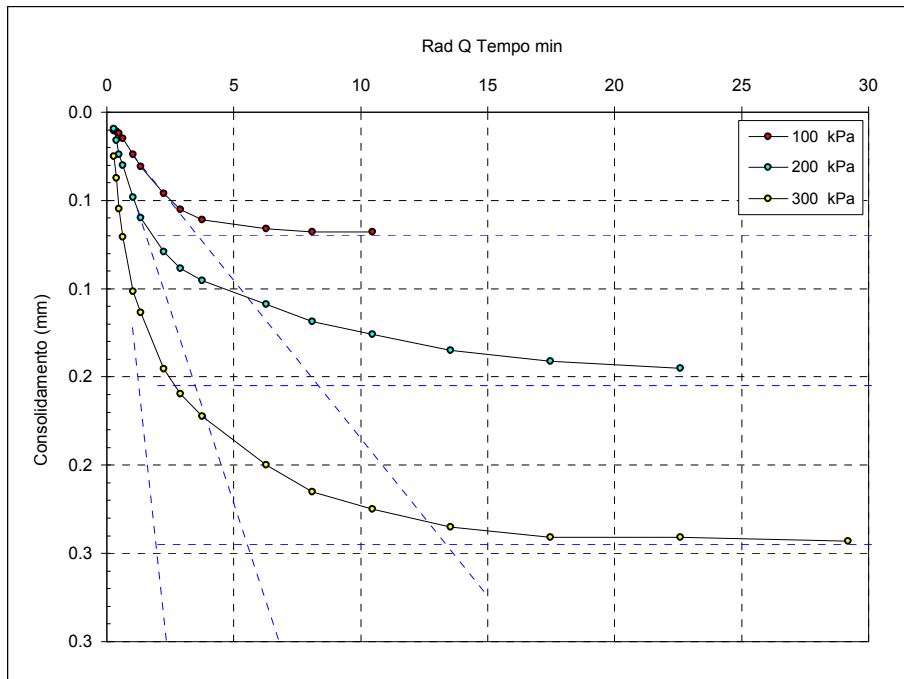
100 kPa	
Tempo (min)	Dh (mm)
H0	0.000
0.08	0.011
0.14	0.011
0.23	0.012
0.39	0.015
1.08	0.024
1.81	0.031
5.05	0.046
8.44	0.055
14.09	0.061
39.29	0.066
65.61	0.068
109.58	0.068
182.98	
305.58	
510.33	
852.27	

**Consolidazione Provino 2**

200 kPa	
Tempo (min)	Dh (mm)
H0	0.000
0.08	0.010
0.14	0.016
0.23	0.024
0.39	0.030
1.08	0.048
1.81	0.060
5.05	0.079
8.44	0.088
14.09	0.095
39.29	0.109
65.61	0.119
109.58	0.126
182.98	0.135
305.58	0.141
510.33	0.145
852.27	

**Consolidazione Provino 3**

300 kPa	
Tempo (min)	Dh (mm)
H0	0.000
0.08	0.025
0.14	0.037
0.23	0.055
0.39	0.071
1.08	0.102
1.81	0.113
5.05	0.145
8.44	0.160
14.09	0.172
39.29	0.200
65.61	0.215
109.58	0.225
182.98	0.235
305.58	0.241
510.33	0.241
852.27	0.243



$t_{100}$  min  
 (Bishop ed Henkel)  
 Provino 1  
 12.6  
 Provino 2  
 12.0  
 Provino 3  
 3.7

Il Direttore del Laboratorio terre:  
 dott.geol. Massimo Romagnoli

Io Sperimentatore:  
 dott. Roberto Bellanova

**FERRARA DEPARTMENT**

Via Annibale Zucchini, 69 – 44122 Ferrara (FE)  
Tel.: +39 0532 56771 - Fax.: +39 0532 56119

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648  
Headquarters: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)  
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099  
[www.socotec.it](http://www.socotec.it)



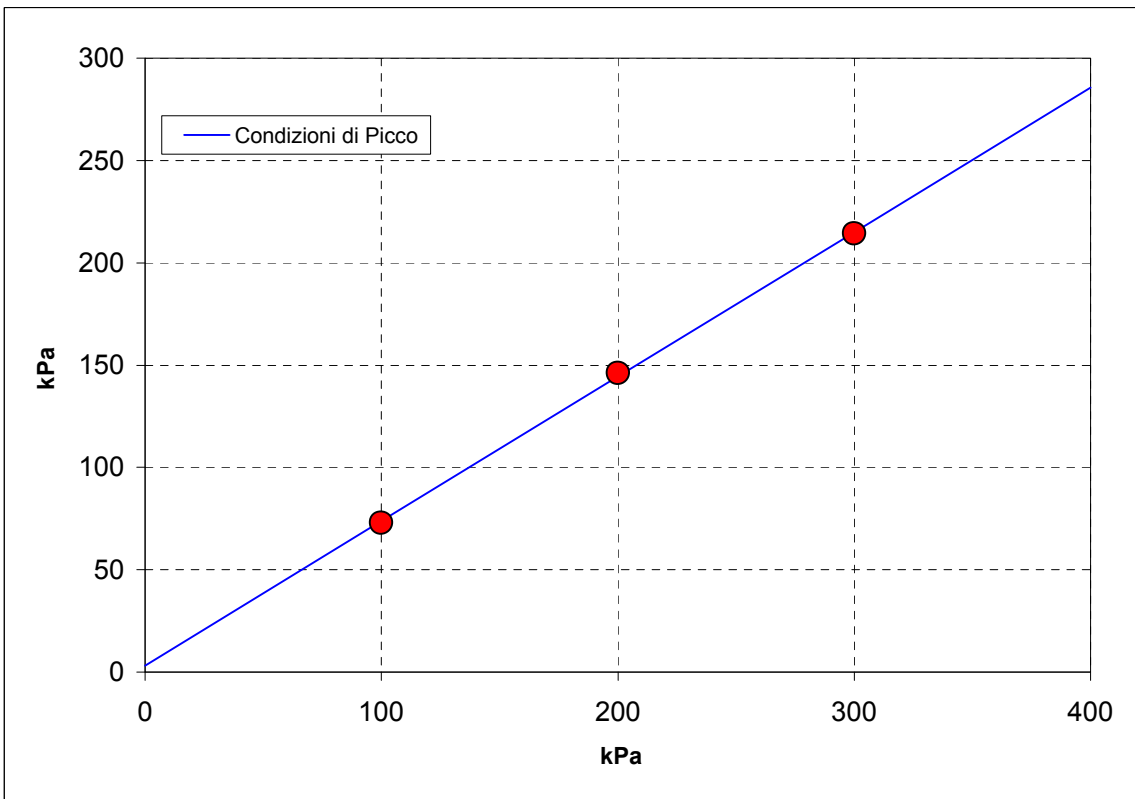
Laboratorio Geotecnico autorizzato con Dec. n. 486 del 20/09/2019 , art. 59 del D.P.R. 380/2001, Circolari Ministeriali 7618/STC

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO (norma ASTM D 3080)**

COMMITTENTE:	BIERREGI S.r.l. - Via Acquacalda 840/A - 55100 Lucca (LU)		
CANTIERE:	"Croce Rossa" - Lucca (LU)		
CAMPIONE:	S1C1		
COMMESSA:	23260FE/21	DURATA PROVE:	01-08/09/2021
VERBALE ACC.:	382/21	DATA CONSEGNA:	30/08/21

*Il presente elaborato non è parte del certificato di prova cui è allegato, è solo un'interpretazione soggettiva dei risultati di prova.*

	PROVINO 1	PROVINO 2	PROVINO 3
Pressione verticale (kPa)	100	200	300
Tensione di taglio (kPa)	73.00	146.00	214.19
<b>Condizioni di Picco</b>	<b>Coesione:</b>	<b>3.21 kPa</b>	<b>Angolo di attrito:</b> <b>35°</b>



**bierregi s.r.l.**

INDAGINI GEOFISICHE  
GEOGNOSTICHE e GEOTECNICHE



OS 21  
OS 20- B

  
Presidenza del Consiglio Superiore  
dei Lavori Pubblici

Servizio Tecnico Centrale  
Aut. n. :00007464



Cert. No. 98514-2011-AQ-  
ITA-ACCREDIA

**Allegato C**

**Elaborazione delle Prove Penetrometriche  
Dinamiche Super-Pesanti (DPSH)**

## **LEGENDA SPECIFICHE TECNICHE PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**

### DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ , misurando il numero di colpi N necessari.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti :

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica : diametro base cono D , area base A (angolo di apertura  $\alpha$ )
- avanzamento (penetrazione  $\delta$ )
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici) .

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella più sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

### DIVERSE TIPOLOGIE DI PENETROMETRI DINAMICI Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici

Tipo	Sigla di riferimento	massa battente	prof.max indagine
Leggero	DPL (Light)	$M \div 10$	8 m
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25 m
Pesante	DPH (Heavy)	$40 < M < 60$	25 m
Super pesante	DPSH (Super Heavy)	$M > 60$	> 25 m

Per la visione delle caratteristiche tecniche dei penetrometri, si rimanda alla sezione EDITOR PENETROMETRI.

I PENETROMETRI dinamici in uso in Italia risultano essere i seguenti (non rientranti però nello Standard ISSMFE) :

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica (  $\alpha = 60-90^\circ$ ),  
diametro D = 35.7 mm, area base cono A = 10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento  $\delta = 10$  cm, punta conica (  $\alpha = 60-90^\circ$ ),  
diametro D = 35.7 mm, area base cono A = 10 cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SCPT) (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)  
massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H = 0.75 m, avanzamento  $\delta = 30$  cm, punta conica (  $\alpha = 60^\circ$ ),  
diametro D = 50.8 mm, area base cono A = 20.27 cm<sup>2</sup> rivestimento : previsto secondo precise indicazioni

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)  
massa battente M = 63.5 kg, altezza caduta H = 0.75 m, avanzamento  $\delta = 20-30$  cm, punta conica (  $\alpha = 60^\circ$ ),  
diametro D = 50.5 mm , area base cono A = 20 cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto .

## LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

### VALUTAZIONI STATISTICHE - CORRELAZIONI N / N<sub>spt</sub>

Il sottosuolo indagato viene suddiviso in strati .

Prima definizione della profondità di ciascuno strato , il programma effettua (con riferimento al numero di colpi N) una serie di elaborazioni statistiche dei dati in memoria, valutando :

valore minimo m , massimo Max , media M, scarto quadratico medio s, valore medio/minimo  $(M+m)^{1/2}$   
media-scarto quadratico medio (M-s)

Ciò considerato , si potrà adottare il valore caratteristico VCA per N più adatto , a seconda delle esigenze, impostando uno dei valori elaborati sopra citati o un valore a scelta.

Successivamente , con riferimento al valore caratteristico assunto per il numero di colpi N , si potrà avviare un tentativo di correlazione con il numero di colpi N<sub>spt</sub> della prova SPT :  $N_{spt} = \beta N$  [ove per il coefficiente  $\beta$  si potrà introdurre un valore sperimentale a piacere (vedi note illustrative), ovvero il coefficiente teorico di energia  $\beta t$  fornito dal programma] .

### VALUTAZIONE RESISTENZA DINAMICA E COEFFICIENTE DI ENERGIA

La resistenza alla punta dinamica R<sub>pd</sub> viene comunemente valutata in base alla formula Olandese :

$$R_{pd} = (M^2 H) / [A e (M + P)] \text{ ove :}$$

N = n. colpi per avanzamento  $\delta$  R<sub>pd</sub> = resist.dinam.punta [area A] M = massa battente [altezza caduta H]  
e = avanzamento per colpo =  $\delta/N$  P = peso tot. sistema battente e aste ,  
ovvero in base alla formula semplificata :

$$R_{pd} = (M H) / (A e) = (M H) N / (A \delta) = Q N ,$$

ove :  $Q = (M H) / (A \delta)$  = energia specifica teorica per colpo .

Ciò considerato, volendo riferire la prova in esame (N,Q) alla prova SPT (N<sub>spt</sub>,Q<sub>spt</sub>),

dall'uguaglianza dei valori di resistenza dinamica relativi alle due prove, si ricava teoricamente :

$$R_{pd} = Q N = Q_{spt} N_{spt} \Rightarrow N_{spt} = N [Q/Q_{spt}] = \beta t N ,$$

ove il rapporto  $\beta t = Q/Q_{spt}$  viene definito coefficiente teorico di energia della prova in esame ,  
relativamente alla prova SPT (Q<sub>spt</sub> = 7.83 kg/cm<sup>2</sup> = 0.768 MPa ) per M = 63.5 kg, H = 0.75 m, D = 50.8 mm,  
A = 20.27 cm<sup>2</sup>, d = 0.30 m) .

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al valore del numero dei colpi SPT equivalente prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

N<sub>spt</sub> -> Dr DENSITA' RELATIVA (Terreni granulari) - TERZAGHI & PECK (1948-1967)

N<sub>spt</sub> ->  $\phi'$  ANGOLO DI ATTRITO EFFICACE (Terreni granulari) - PECK-HANSON-THORBURN (1953-1974)

N<sub>spt</sub> -> E' MODULO DI DEFORMAZIONE DRENATO (Terreni granulari) - D'APPOLONIA e altri (1970)

N<sub>spt</sub> -> Cu COESIONE NON DRENATA (Terreni coesivi) - TERZAGHI & PECK (1948-1967)

N<sub>spt</sub> -> Y PESO DI VOLUME

TERRENI GRANULARI (Terzaghi-Peck 1948/1967) [e.max = 1 e.min = 1/3 G = 2.65]

TERRENI COESIVI (Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948/1967) [p.specifico G = 2.70]

R<sub>pd</sub> -> Qd CAPACITA' PORTANTE DINAMICA Herminier, Tchong & Lebegue(1965)

F.L. = accelerazione al suolo che può causare liquefazione ( terreni granulari )

( g = accelerazione gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976 ) [ correlazioni : (Amax/g) ]

Vs = velocità di propagazione delle onde sismiche ( Iyisan 1996 )

**PROVE PENETROMETRICHE MECCANICHE / ELETTRICHE**  
**SCHEMA PENETROMETRO**

riferimento **210531A**

Committente: **Geo Consulting RS**  
Cantiere: **Indagine geognostica**  
Località: **Via del Porto 247 - Massarosa (LU)**

**DPSH (S. Heavy)**

**DPSH (S. Heavy)**

Sigla	DPSH (S. Heavy)	Descrizione
Beta eff.	1.80	Coefficiente Effettivo suggerito dal costruttore del penetrometro
M(massa)	64 kg	Massa del Maglio Battente agente sulla batteria di aste
H(maglio)	0.75 m	Altezza di caduta o corsa del maglio (toll. da 0.01m a 0.02m)
L(aste)	1.00 m	Lunghezza delle aste utilizzabili, variabile da 1.00m a 2.00m (toll. da 0.1% a 0.2%)
M(aste)	8.00 kg	Peso al metro lineare delle aste (N.B. indipendente dalla lunghezza delle aste)
M(sistema)	30 kg	Massa del complesso asta di guida - testa di battuta
A(punta)	20.00 cm <sup>2</sup>	Area della superficie laterale del cono della punta
Alfa(punta)	90 °	Angolo di apertura della punta conica variabile tra 60° e 90°
Prf.(1°asta)	0.80 m	Profondità di giunzione della prima asta infissa
N	0.20 m	Penetrazione standard, tratto di penetrazione per quale sono necessari Nx colpi
Rivest.	Sì	Previsto uso di rivestimento delle aste o uso di fanghi
ø(punta)	50.50 mm	Diametro della punta conica integra, cioè non soggetta ad usura (toll. da 0.3 a 0.5mm)
MaxCE%	50.00 %	Massima compressione elastica consentita rispetto alla penetrazione
L/DM	2.00	Rapporto tra la lunghezza e il diametro del maglio di battuta
D(tb)	100.00 mm	Diametro della testa di battuta.
DEV(a)[<5m]	2.00 °	Deviazione massima delle aste dalla verticale nei primi 5.00 metri
DEV(a)[>5m]	1.00 °	Deviazione massima delle aste dalla verticale oltre i 5.00 metri
ECCmax(a)	0.02 mm	Massima eccentricità consentita alle aste
Dest(aste)	32.00 mm	Diametro esterno delle aste (toll. max 0.2mm)
Dint(aste)		Diametro interno delle aste cave (toll. da 0.2mm a 0.3mm)
Dmin(punta)	49.00 mm	Minimo diametro consentito per la punta conica usurata
hcl(punta)	50.50 mm	Altezza del cilindro alla base del cono della punta (toll. da 1.00mm a 2.00mm)
Ras(punta)	11.00 mm	Rastremazione del cono nella parte alta
Hc(punta)		Altezza della parte conica della punta non soggetta ad usura (toll. da 0.1mm a 0.4mm)
RangeCP	5 - 100	Massimo numero di colpi utile
Spinta	t	Spinta nominale strumento

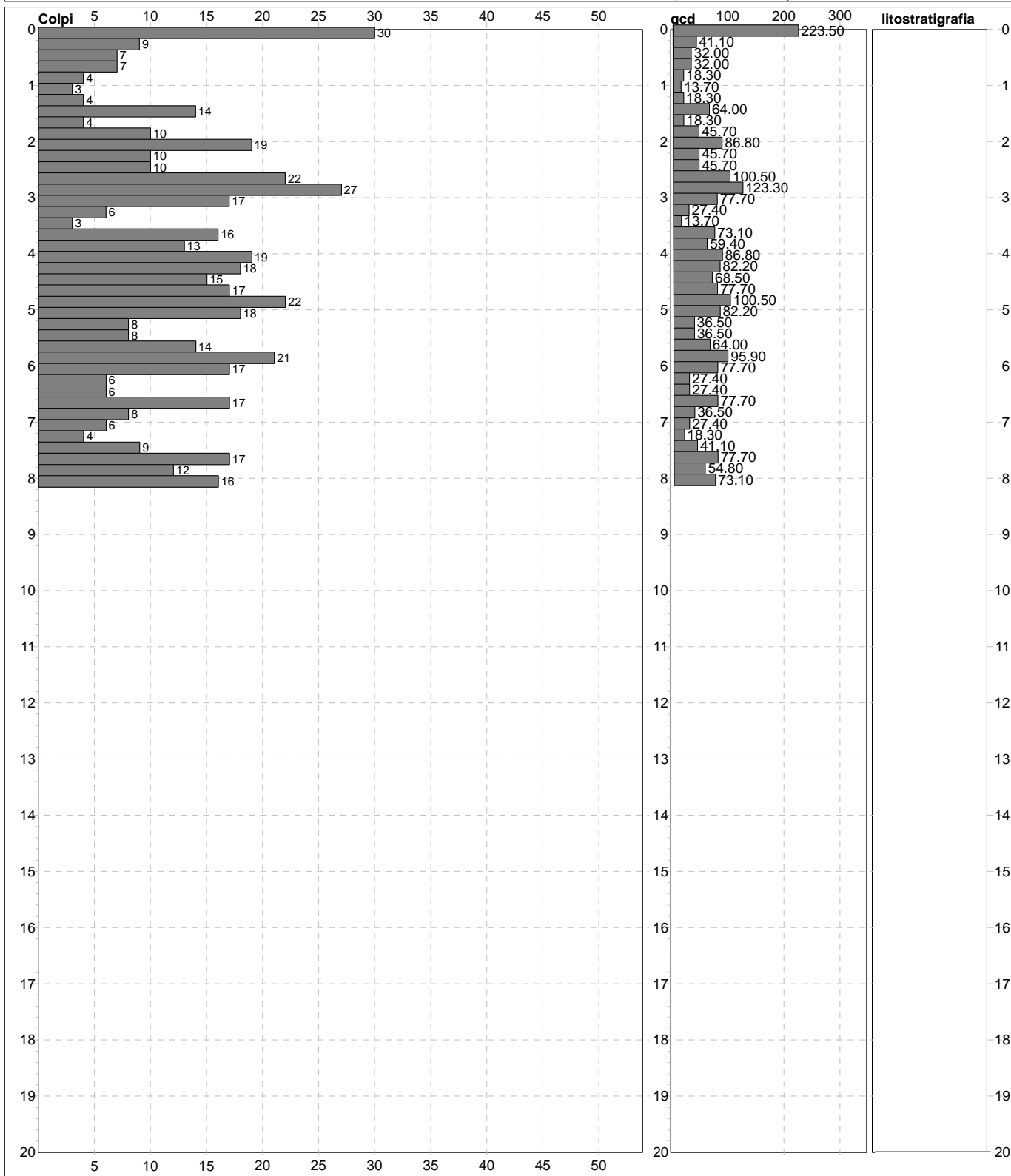


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**  
**DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA**

<b>DIN</b>	<b>PD.1</b>
riferimento	<b>210915A</b>
certificato n°	DPSH131/21

Committente: **Città di Lucca**  
Cantiere: **Completamento del polo sportivo di Via delle Tagliate**  
Località: **Via delle Tagliate, San Marco - Lucca (LU)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**    Data eseg.: 15/09/2021  
Scala: 1:100    Data certificato: 22/09/2021  
Pagina: 1    Quota ass.: piano campagna  
Elaborato:    Falda: Foro chiuso



**Penetrometro:** DPSH (S. Heavy)  
Massa battente: 63.50 m  
Altezza caduta: 0.75 m  
Avanzamento: 0.20 m

nota: Foro richiuso a -1,55 metri dal piano campagna

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**  
**SUDDIVISIONE GEOTECNICA**

**DIN**

**PD.1**

referimento

**210915A**

certificato n°

DPSH131/21

Committente: **Città di Lucca**  
Cantiere: **Completamento del polo sportivo di Via delle Tagliate**  
Località: **Via delle Tagliate, San Marco - Lucca (LU)**

U.M.: **kg/cm<sup>2</sup>**

Data esec.: 15/09/2021

Pagina: 1

Data certificato: 22/09/2021

Elaborato:

Quota ass.: piano campagna

Falda: Foro chiuso

**PARAMETRI GENERALI**

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	$\beta$ -	Nspt colpi	rp kg/cm <sup>2</sup>	qc kg/cm <sup>2</sup>	Vs m/sec	G kg/cm <sup>2</sup>	Q kg/cm <sup>2</sup>	natura	descrizione
1	0.00 : 0.20	Media	30	1.52	46	223.5	201.1	101	257	11.18	Coes./Gran.	
2	0.20 : 1.40	Media	9	1.52	14	54.1	61.3	113	99	2.71	Coes./Gran.	
3	1.40 : 2.60	Media	11	1.52	17	51.0	64.7	139	116	2.55	Coes./Gran.	
4	2.60 : 6.20	Media	16	1.52	24	71.3	79.6	172	153	3.57	Coes./Gran.	
5	6.20 : 7.60	Media	8	1.52	12	36.5	36.4	166	88	1.83	Coes./Gran.	
6	7.60 : 8.20	Media	15	1.52	23	68.5	64.8	191	147	3.43	Coes./Gran.	

**NATURA COESIVA**

**NATURA GRANULARE**

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	W %	e -	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	$\phi$ °	E' kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	Yd t/m <sup>3</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Liq. -
1	0.00 : 0.20	46	2.88	2.10	20.20	0.55	122	81	40	546	2.13	1.82	514	---
2	0.20 : 1.40	14	0.88	1.95	29.45	0.80	57	41	31	299	1.96	1.53	230	---
3	1.40 : 2.60	17	1.06	1.98	26.99	0.73	63	46	32	322	1.97	1.56	264	---
4	2.60 : 6.20	24	1.50	2.07	21.91	0.59	77	56	34	376	2.01	1.63	326	---
5	6.20 : 7.60	12	0.75	1.92	31.20	0.84	52	38	31	284	1.94	1.52	207	---
6	7.60 : 8.20	23	1.44	2.06	22.58	0.61	75	55	34	369	2.01	1.62	318	---

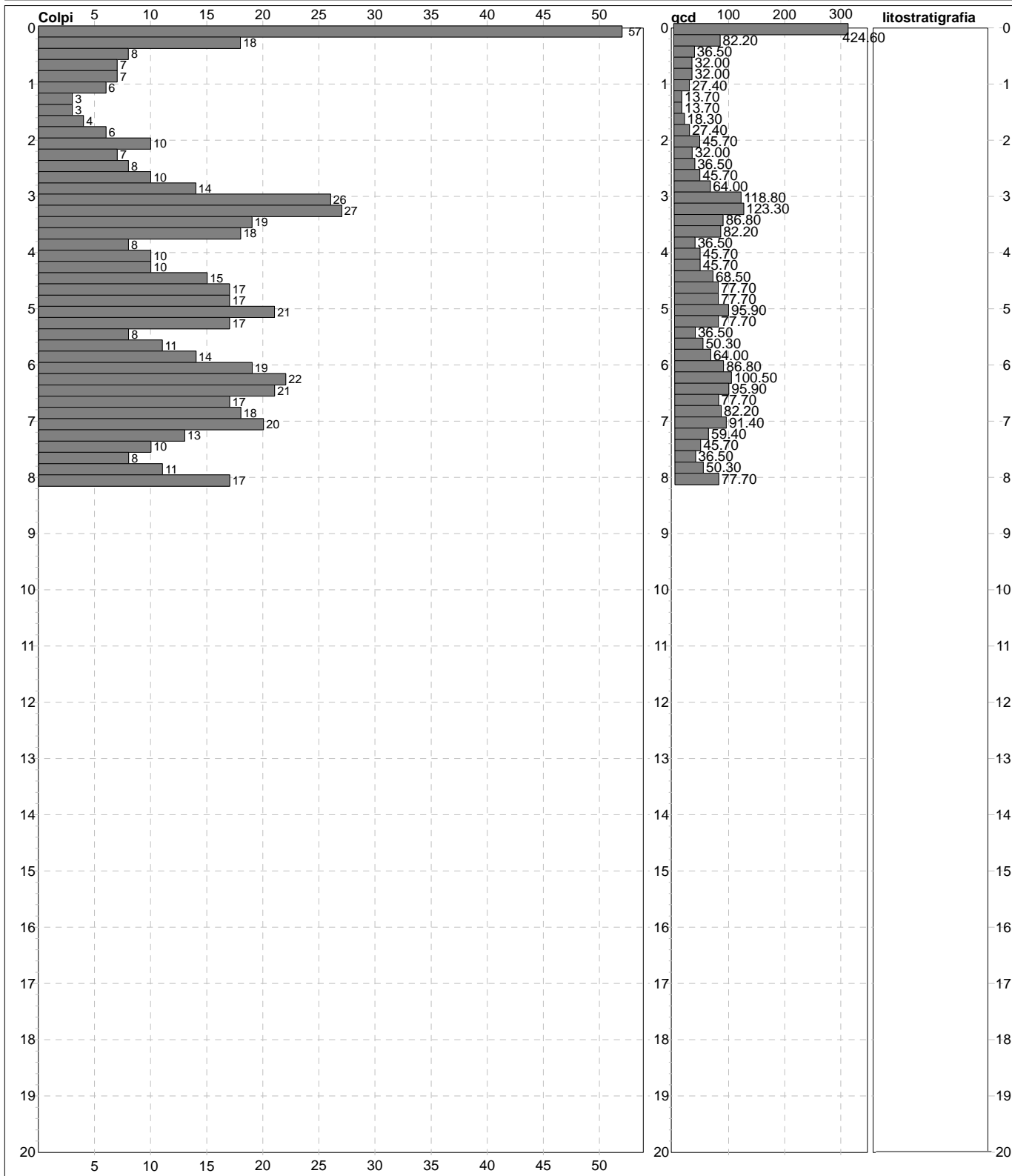


**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**  
**DIAGRAMMI COLPI / RESISTENZA**

<b>DIN</b>	<b>PD.2</b>
riferimento	<b>210915A</b>
certificato n°	DPSH132/21

Committente: **Città di Lucca**  
Cantiere: **Completamento del polo sportivo di Via delle Tagliate**  
Località: **Via delle Tagliate, San Marco - Lucca (LU)**

U.M.: **kg/cm²**    Data eseg.: 15/09/2021  
Scala: 1:100    Data certificato: 22/09/2021  
Pagina: 1    Quota ass.: piano campagna  
Elaborato:    Falda: Foro chiuso



**Penetrometro:** DPSH (S. Heavy)  
Massa battente: 63.50 m  
Altezza caduta: 0.75 m  
Avanzamento: 0.20 m

**PROVA PENETROMETRICA DINAMICA**  
**SUDDIVISIONE GEOTECNICA**

<b>DIN</b>	<b>PD.2</b>
referimento	<b>210915A</b>
certificato n°	DPSH132/21

Committente: <b>Città di Lucca</b>	U.M.: <b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Data esec.: 15/09/2021
Cantiere: <b>Completamento del polo sportivo di Via delle Tagliate</b>	Pagina: 1	Data certificato: 22/09/2021
Località: <b>Via delle Tagliate, San Marco - Lucca (LU)</b>	Elaborato:	Quota ass.: piano campagna
		Falda: Foro chiuso

**PARAMETRI GENERALI**

n°	profondità m	statistica	VCA colpi	$\beta$ -	Nspt colpi	rp kg/cm <sup>2</sup>	qc kg/cm <sup>2</sup>	Vs m/sec	G kg/cm <sup>2</sup>	Q kg/cm <sup>2</sup>	natura	descrizione
1	0.00 : 0.40	Media	38	1.52	57	253.4	251.4	120	305	12.67	Coes./Gran.	
2	0.40 : 2.00	Media	6	1.52	8	25.1	34.2	111	63	1.26	Coes./Gran.	
3	2.00 : 3.00	Media	10	1.52	15	44.8	56.8	142	105	2.24	Coes./Gran.	
4	3.00 : 3.80	Media	23	1.52	34	102.8	122.0	190	202	5.14	Coes./Gran.	
5	3.80 : 8.20	Media	15	1.52	22	67.3	67.0	180	142	3.36	Coes./Gran.	

**NATURA COESIVA**

**NATURA GRANULARE**

n°	profondità m	Nspt colpi	Cu kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	W %	e -	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Dr %	$\phi$ °	E' kg/cm <sup>2</sup>	Ysat t/m <sup>3</sup>	Yd t/m <sup>3</sup>	Mo kg/cm <sup>2</sup>	Liq. -
1	0.00 : 0.40	57	3.56	2.10	20.20	0.55	144	88	42	631	2.17	1.87	608	---
2	0.40 : 2.00	8	0.50	1.87	34.98	0.94	41	28	29	253	1.91	1.46	161	---
3	2.00 : 3.00	15	0.94	1.96	28.61	0.77	59	43	32	307	1.96	1.54	241	---
4	3.00 : 3.80	34	2.13	2.10	20.20	0.55	98	69	37	453	2.07	1.72	411	---
5	3.80 : 8.20	22	1.38	2.04	23.28	0.63	73	53	34	361	2.00	1.61	309	---

**Allegato D**

**Elaborati Grafici MASW  
“STR150921A - Onde di Rayleigh”**

- Spettro delle Velocità con “Picking”
- Grafico Misfit & Profilo Verticale Onde S
- Profilo verticale Vs (modello medio)

## MASW - STR150921A (Onde di Rayleigh) CITTA' DI LUCCA - Arch. Gianluca Bacci Via delle Tagliate, San Marco - Lucca (LU)

Numero di canali 24  
Distanza intergeofonica 2,0 metri  
Lunghezza 46,0 metri  
Azimuth N080° (ENE-WSW)

Coordinate Gauss-Boaga Geofono G1:  
X = 1620560,4064 Y = 4856498,1224  
Coordinate Gauss-Boaga Geofono G24:  
X = 1620515,0599 Y = 4856490,3963

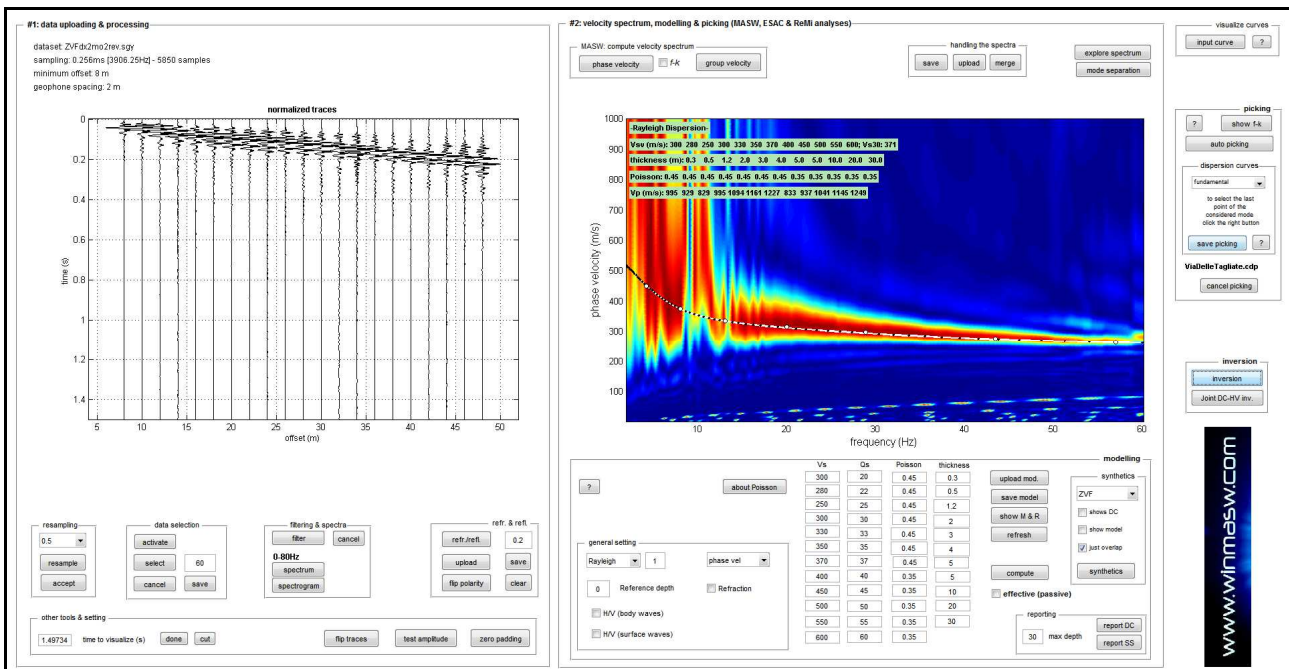


Fig.1: Sismogramma (Shot1 - ZVFDx2m2rev) e spettro delle velocità con "picking"

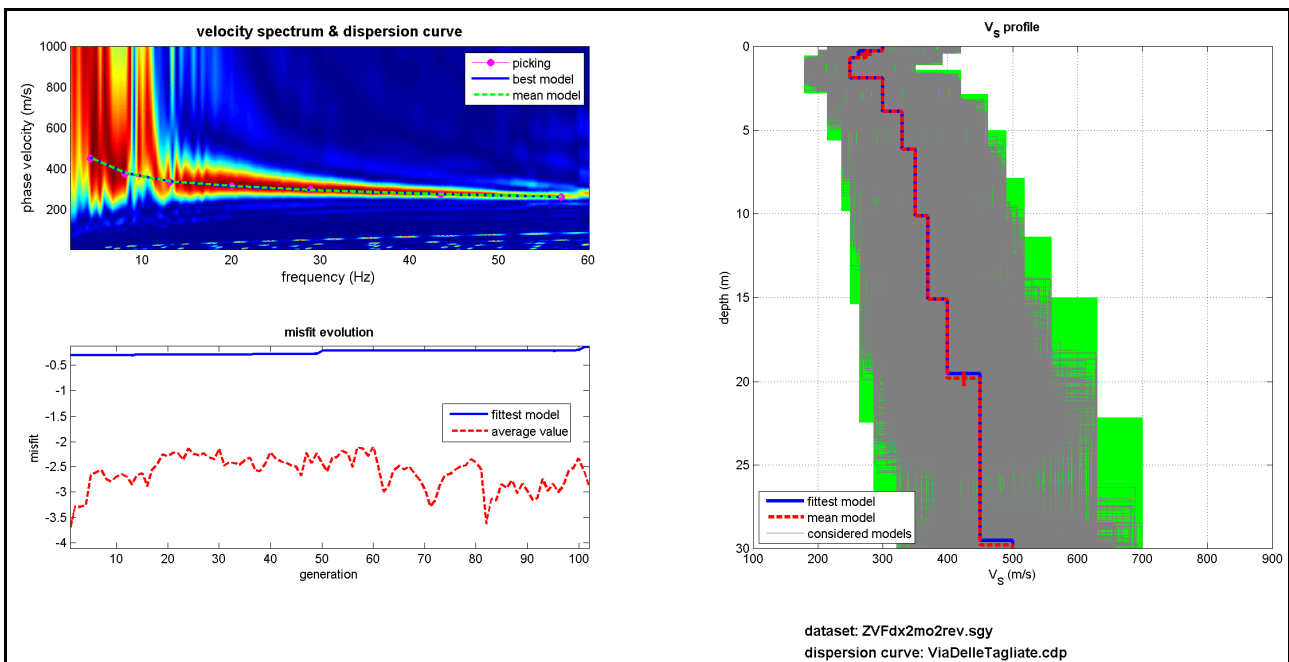


Fig.2: Grafico Misfit - Profilo verticale delle Onde S

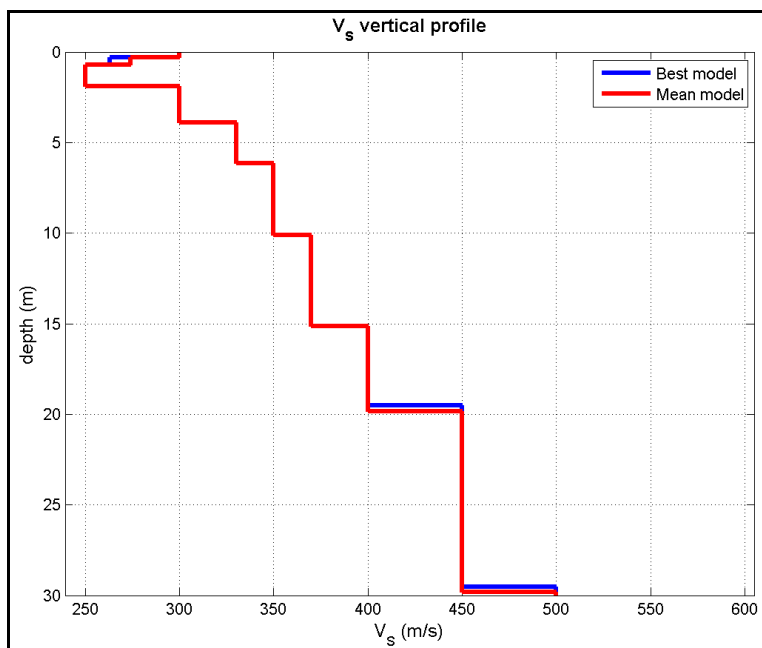


Fig.3: Profilo verticale Vs (Modello medio/Modello migliore)

MASW STR150921A LUCCA (modello medio)	Profondità		Spessore (h <sub>i</sub> ) (metri)	Veocità (V <sub>s,i</sub> ) (m/s)	h <sub>i</sub> /V <sub>s,i</sub> (-)
	da (m)	a (m)			
Sismostrato 1	0.00	0.30	0.30	300	0.0010
Sismostrato 2	0.30	0.70	0.40	274	0.0015
Sismostrato 3	0.70	1.90	1.20	250	0.0048
Sismostrato 4	1.90	3.90	2.00	300	0.0067
Sismostrato 5	3.90	6.10	2.20	330	0.0067
Sismostrato 6	6.10	10.10	4.00	350	0.0114
Sismostrato 7	10.10	15.10	5.00	370	0.0135
Sismostrato 8	15.10	19.80	4.70	400	0.0118
Sismostrato 9	19.80	30.00	10.20	450	0.0227

H = 30 metri

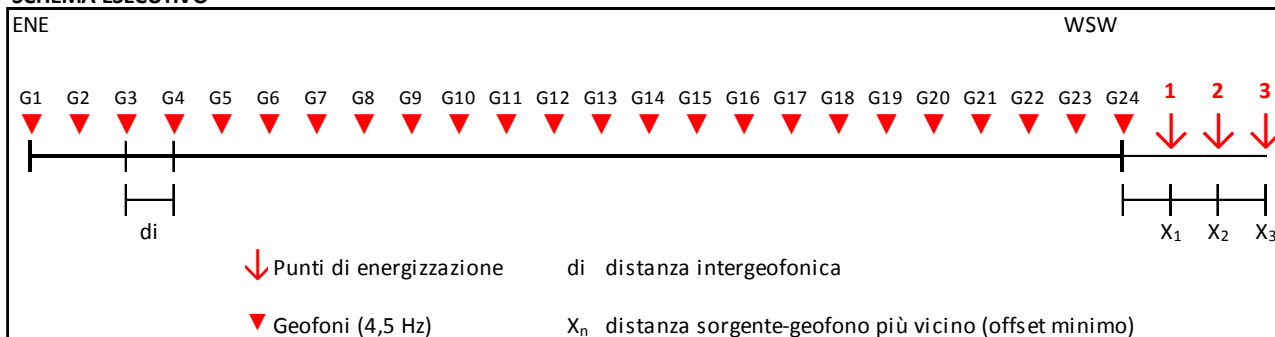
$\sum h_i/V_{s,i} = 0.0800$

$$V_{s,eq} = V_{s,30} = 30/0.0800 = 375 \text{ m/s}$$

**Categoria di Sottosuolo B**  
(a partire dal piano campagna)

"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s".

#### SCHEMA ESECUTIVO



Sono state eseguite tre registrazioni, effettuate con mazza da 8 kg battente su piastra in duralluminio. I tre punti sorgente (shot) sono stati effettuati esternamente alla stesa ad una distanza di 2,0 metri (X<sub>1</sub> - shot 1), 5,00 metri (X<sub>2</sub> - shot 2) e 10,00 metri (X<sub>3</sub> - shot 3) dall'ultimo geofono (G.24). Azimut N080° (ENE-WSW) riferito al G1. Tempo di acquisizione 1,5 s - Intervallo di campionamento 0,256 ms.



**COMUNE DI LUCCA**  
**PROVINCIA DI LUCCA**

*Località: via delle Tagliate – Area sportiva*

**PROSPEZIONE SISMICA IN FORO TIPO DOWNHOLE**

**Committente: COMUNE DI LUCCA**

**RELAZIONE TECNICA**

**Giugno 2022**

**GEOPROVE S.p.A.**  
Il Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Geol. Pietro Barsanti  
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

## I N D I C E

PREMESSA.....	3
1. Generalità .....	4
2. Sorgenti e strumentazione .....	7
3. Risultati delle prove in foro - Sondaggio S1 – Via delle Tagliate - S. Anna .....	12

# COMUNE DI LUCCA

## PROVINCIA DI LUCCA

### *Località: via delle Tagliate*

**OGGETTO: ACCORDO QUADRO CON UN UNICO OPERATORE AI SENSI DELL'ART. 54 COMMI 1 E 3 DEL D.LGS. N. 50/2016, PER IL SERVIZIO DI ESECUZIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO ED IN LABORATORIO RELATIVE AD INTERVENTI LUNGO VIABILITÀ COMUNALI PER L'ANNO 2021. CIG 8814502528 – DETERMINA N. 1315 DEL 09/07/21.**

### **PREMESSA**

Per incarico del Comune di Lucca sono state effettuate indagini sismiche in via delle Tagliate a S.Anna (LU).

Le indagini, finalizzate alla ricostruzione sismostratigrafica del sottosuolo ed alla analisi di risposta sismica locale ai sensi del vigente D.M. 17 Gennaio 2018 – *Norme tecniche per le costruzioni*, sono state condotte mediante una prospezione downhole in foro di sondaggio.

L'ubicazione della downhole è riportata nella Fotoaerea Google che segue:

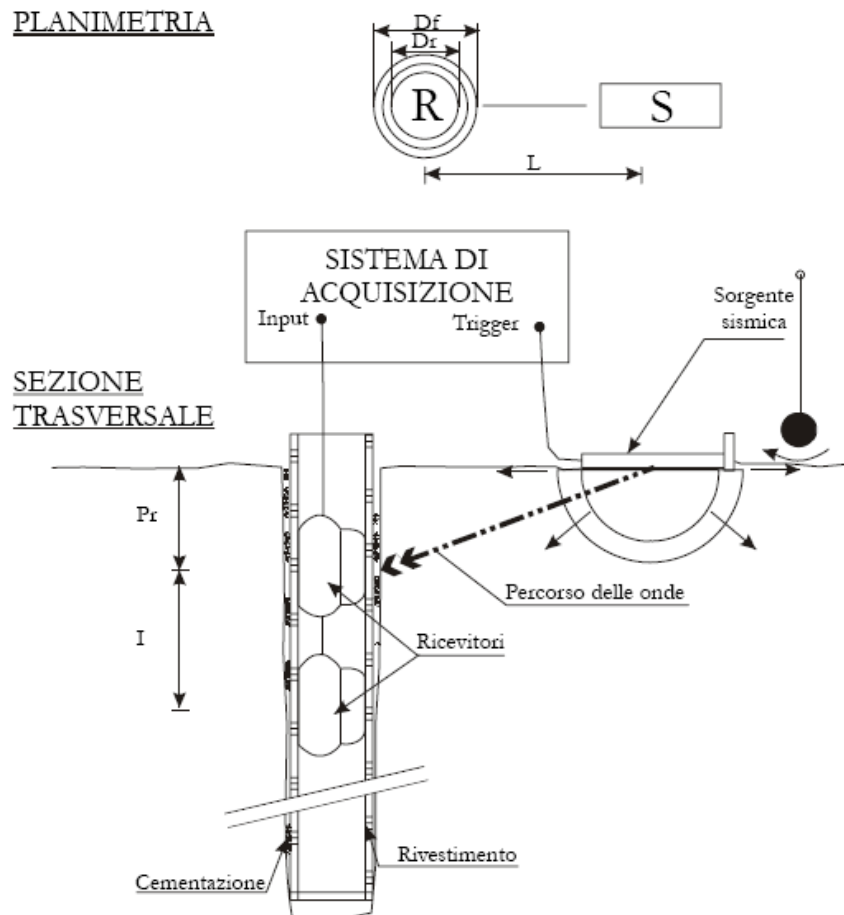


L'elaborazione e l'interpretazione dei dati è stata effettuata in collaborazione con il Dottor Donato Merola. Le presenti note illustrano la metodologia delle indagini ed i risultati conseguiti.

## 1. Generalità

La prova downhole consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, una sollecitazione orizzontale mediante una sorgente meccanica, e nello studiare il treno d'onde,  $P$  e  $S$ , che si propagano all'interno del terreno alle varie profondità in direzione verticale, con vibrazioni polarizzate nella direzione di propagazione (onde  $P$ ), e dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione, polarizzate su un piano orizzontale (onde  $SH$ ). Mediante due ricevitori (*geofoni*) disposti nel terreno, a profondità note, viene valutato l'istante di arrivo del treno di onde  $P$  e  $S$ , rispetto all'istante in cui vengono indotte le sollecitazioni alla sorgente; dividendo quindi per tali valori la distanza (nota) tra sorgente e ricevitori, si può ricavare la velocità delle onde  $P$  e  $S$ .

Lo schema di acquisizione della prova è il seguente:



Per le caratteristiche del foro e la stratigrafia si riporta il log stratigrafico del sondaggio eseguito completamente a distruzione di nucleo fino alla profondità di 33 m.





## 2. Sorgenti e strumentazione

Come **sorgenti** energizzanti sono stati utilizzati: per le onde P una mazza da 10 kg con piattello di battuta; per le onde SH un parallelepipedo (traversina) di legno percosso sulle estremità opposte da un doppio pendolo (vedi foto allegate) da 30 kg montato su di un autocarro, in grado di generare onde SH di notevole contenuto energetico, uniformi sia nella direzione di propagazione sia nella polarizzazione (+ e -) e, di contro, con una generazione di onde P trascurabile.

È stato curato in modo particolare l'accoppiamento della traversina con il terreno, in accordo con le disposizioni fornite dalle Istruzioni Tecniche del Programma VEL della Regione Toscana.

Le sorgenti (onde P ed onde SH) sono state disposte perpendicolarmente ad un raggio uscente dai fori di sondaggio, ad una distanza di circa 3 m (per la distanza precisa vedere lo schema di acquisizione delle misure).

Il **sistema di ricezione** è costituito da una coppia di geofoni tridimensionali rigidamente collegati tra loro da una barra in p.v.c. (distanza intergeofonica  $i = 1.00$  m) dotata di uno smorzatore intermedio in gomma in modo da evitare qualsiasi interazione sismica tra i due sensori. L'accoppiamento del sistema con le pareti del foro è garantito da 4 stantuffi pneumatici comandati dall'esterno, con pressione regolabile fino a 10 atm. L'orientazione assoluta del sistema viene mantenuta costante lungo tutto il foro mediante una batteria di aste in p.v.c.. In adiacenza alla bocca foro è stata inoltre approntata un'ulteriore terna tridimensionale di geofoni per consentire l'eventuale valutazione dell'attenuazione del segnale con la profondità.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico **EG&G GEOMETRICS SMARTSEIS S24** avente le seguenti caratteristiche:

- Registrazione a 24 canali
- Impedenza di ingresso diff. 20 Kohm
- Impedenza di ingresso common mode: 5 Kohm
- Range dinamico: 100 dB
- Digitalizzatore a 16 bit
- Sommatoria dei segnali fino ad un massimo di 8.000 stacks
- Intervallo di campionamento selezionabile a: 31.25, 62.5, 125, 250, 500  $\mu$ s
- Durata della registrazione: 64, 128, 256, 512 o 1.024 msec
- Possibilità di registrazione Autostack e Preview
- Possibilità di inversione della polarità (Stack polarity)
- Visore grafico a cristalli liquidi VGA 640x840 pixel 11"
- Stampante a plotter su carta termica

- Memoria su HD interno 40 Mb o su floppy 3.5" 1.44 Mb

Tutte le registrazioni sono state effettuate con metodo cross-over, ovvero facendo la differenza tra un ugual numero di battute a destra ed a sinistra (bilanciamento energetico): in tal modo viene esaltato l'istante di primo arrivo delle onde SH, mentre vengono abbattute le eventuali onde P spurie.

In particolare le tracce di ciascuna registrazione si riferiscono (dall'alto verso il basso):

- Traccia 8 - geofono controllo trigger
- Traccia 6 - primo geofono – trasduttore verticale (z)
- Traccia 5 - primo geofono – trasduttore orizzontale (x)
- Traccia 4 - primo geofono – trasduttore orizzontale (y)
- Traccia 3 - secondo geofono – trasduttore verticale (z)
- Traccia 2 - secondo geofono – trasduttore orizzontale (x)
- Traccia 1 - secondo geofono – trasduttore orizzontale (y)

dove per primo geofono si intende quello più vicino alla superficie del terreno e per secondo quello posto 1.00 m più in basso.

La profondità alla quale ciascuna registrazione è stata effettuata è rilevabile su ciascuna registrazione alla voce "shot location".

Una volta determinata con qualche misura di prova l'orientazione assoluta più efficace del sistema per massimizzare l'ampiezza di ricezione dei ricevitori e la registrazione di tracce in opposizione di fase, sono state effettuate misure ogni metro di profondità, dall'alto verso il basso per le onde Sh e dal basso verso l'alto per le onde P.

Esaminati i tracciati delle registrazioni, si è scelto il set ottimale e si è quindi proceduto all'assemblaggio delle tracce relative a ciascuna profondità di registrazione (in questo caso da 1 a 33 m) mediante il programma REFLEX, con il quale si è anche proceduto al picking dei primi arrivi (vedi pag seguenti) ed all'allineamento allo "zero" di trigger.

Per quanto riguarda **la determinazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche**, mediante un'applicazione su foglio elettronico Excel (vedi tabulati allegati), i tempi di primo arrivo ("tempi obliqui") sono stati quindi corretti in funzione della geometria del sistema (posizione della sorgente rispetto al foro ed alla profondità di acquisizione) attraverso la formula:

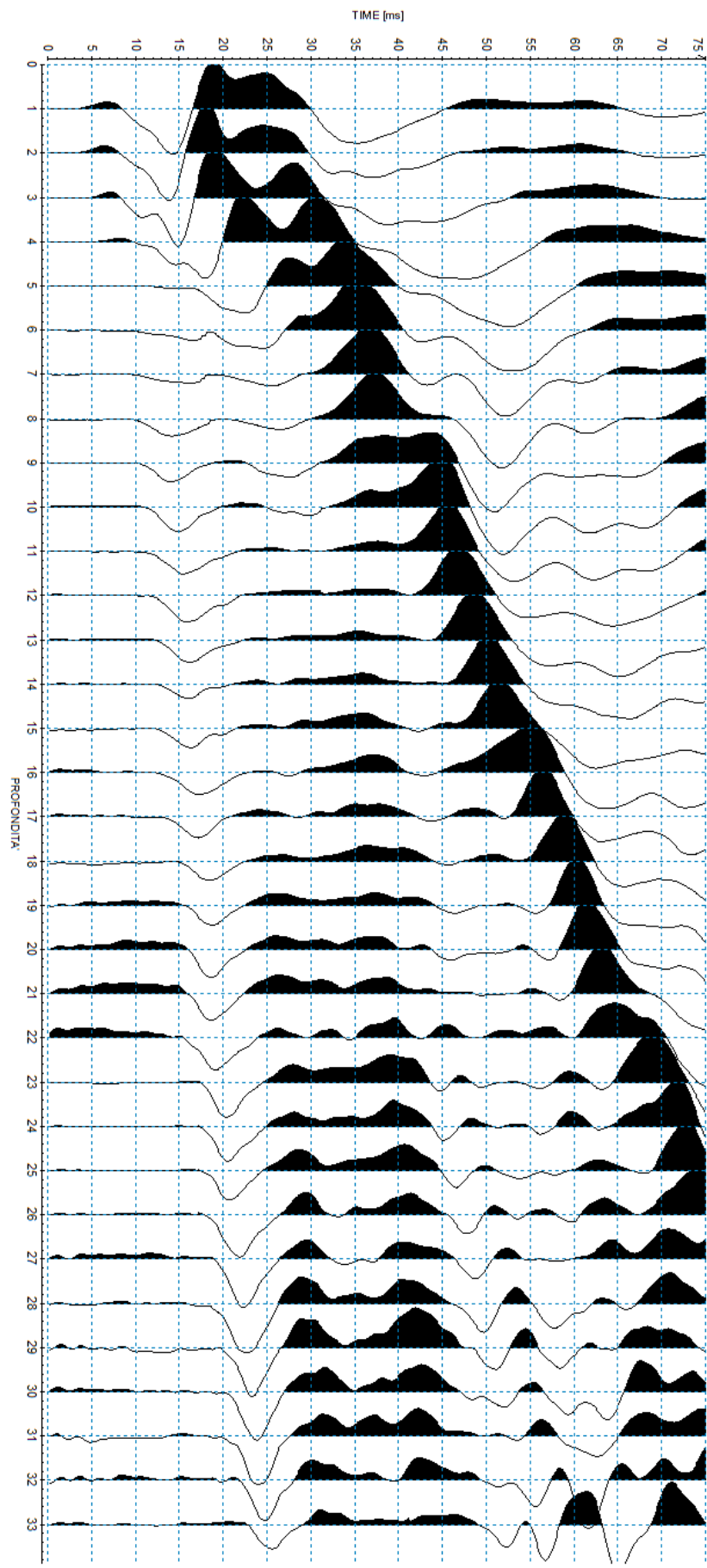
$$t^* = \frac{z}{d} \cdot t = \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} \cdot t$$

dove  $z$  è la profondità del ricevitore,  $d$  è la distanza effettiva tra sorgente e ricevitore,  $R$  la distanza superficiale tra sorgente e dentro del foro,  $t$  il tempo determinato dalle tracce di registrazione e  $t^*$  il tempo corretto.

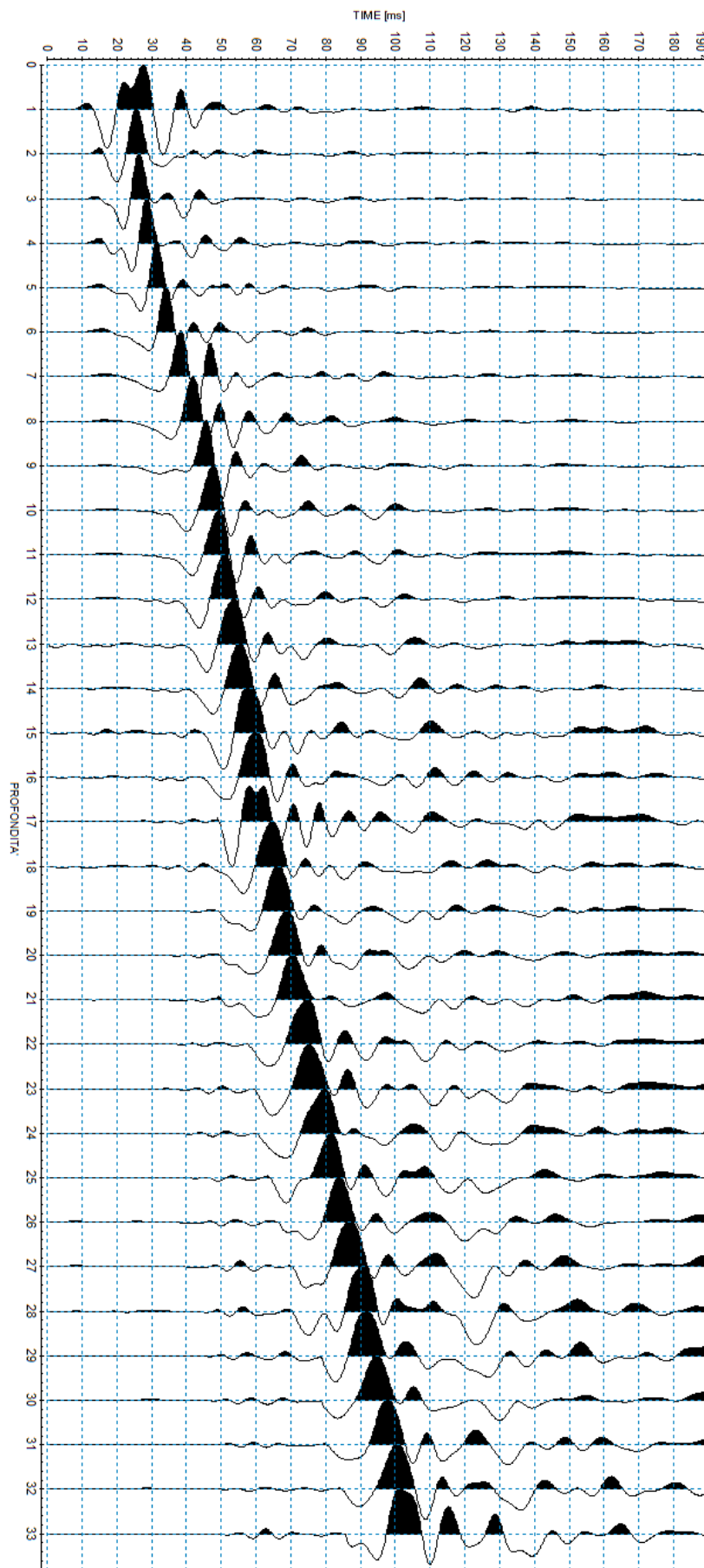
Le velocità dei vari strati, tenuto conto della stratigrafia del sondaggio S1 eseguito nello stesso contesto di indagini, sono state quindi determinate con la funzione di regressione lineare relativa a ciascuno degli intervalli rettilinei del diagramma tempi di arrivo-profondità  $b$  (“dromocrone”): le velocità sono state inoltre plottate in apposito diagramma in funzione della profondità (“velocità di intervallo”), a fianco delle quali è anche riportata la colonna stratigrafica del sondaggio per una immediata visualizzazione della rispondenza tra le variazioni di velocità  $V_p$  e  $V_s$  e le variazioni stratigrafiche. Sono stati infine determinati i rapporti  $V_p/V_s$  ed i conseguenti valori dei parametri dinamici: coefficiente di Poisson  $\nu$ , Modulo di taglio  $G$ , Modulo di Young  $E$ .



*Vista d'insieme del cantiere della DH. A sx il prospettore Geometrics Smartseis S24; in secondo piano il dispositivo di energizzazione delle onde di taglio (traversina sovraccaricata dal peso del penetrometro).*



Sondaggio S1: Onde P (tempi obliqui – registrazioni)



Sondaggio S1: Onde Sh (tempi obliqui – registrazioni)

### 3. Risultati delle prove in foro - Sondaggio S1 – Via delle Tagliate - S. Anna

#### Geometria del sistema di acquisizione:

distanza foro - sorgente onde SH: m 3.1

distanza foro - sorgente onde P: m 3.1

#### Tempi obliqui (registrazioni) e tempi corretti in funzione della profondità

ONDE LONGITUDINALI VP				ONDE TRASVERSALI VS			
Regist. n°	Profondità P (m)	Tempi letti sulle tracce geofono tempo arrivo (msec)	Tempi corretti in funzione di z geofono tempo arrivo corretto (msec)	Regist. n°	Profondità P (m)	Tempi letti sulle tracce geofono tempo arrivo (msec)	Tempi corretti in funzione di z geofono tempo arrivo corretto (msec)
	0.01		0.00		0.01		0.00
43	1.00	5.90	1.81	11	1.00	13.06	4.01
44	2.00	6.53	3.54	12	2.00	15.51	8.41
45	3.00	6.86	4.77	13	3.00	17.14	11.92
46	4.00	7.67	6.07	14	4.00	19.59	15.49
47	5.00	8.16	6.94	15	5.00	21.22	18.04
48	6.00	8.98	7.98	16	6.00	23.67	21.03
49	7.00	9.14	8.36	17	7.00	25.41	23.24
50	8.00	9.63	8.98	18	8.00	28.59	26.66
51	9.00	10.12	9.57	19	9.00	30.71	29.03
52	10.00	10.61	10.14	20	10.00	33.18	31.69
53	11.00	11.43	11.00	21	11.00	36.33	34.96
54	12.00	11.76	11.38	22	12.00	37.96	36.75
55	13.00	12.41	12.07	23	13.00	39.59	38.51
56	14.00	12.41	12.11	24	14.00	41.63	40.65
57	15.00	12.57	12.31	25	15.00	44.47	43.55
58	16.00	13.06	12.82	26	16.00	45.18	44.35
59	17.00	13.71	13.49	27	17.00	48.00	47.22
60	18.00	14.53	14.32	28	18.00	50.61	49.88
61	19.00	15.18	14.99	29	19.00	52.65	51.97
62	20.00	15.18	15.00	30	20.00	54.69	54.05
63	21.00	15.67	15.51	31	21.00	56.73	56.13
64	22.00	15.92	15.77	32	22.00	58.78	58.20
65	23.00	16.65	16.50	33	23.00	61.88	61.33
66	24.00	17.14	17.00	34	24.00	63.55	63.03
67	25.00	16.82	16.69	35	25.00	66.22	65.72
68	26.00	17.63	17.51	36	26.00	69.18	68.69
69	27.00	18.61	18.49	37	27.00	71.65	71.18
70	28.00	18.94	18.82	38	28.00	74.12	73.67
71	29.00	19.59	19.48	39	29.00	77.14	76.71
72	30.00	20.41	20.30	40	30.00	79.06	78.64
73	31.00	21.06	20.96	41	31.00	81.18	80.77
74	32.00	21.55	21.45	42	32.00	84.35	83.96
75	33.00	22.37	22.27	43	33.00	86.47	86.09

#### Velocità e parametri dinamici derivati

Profondità m	Velocità calcolate			Parametri dinamici derivati			
	Vp	Vs	Vp/Vs	Rapporto Poisson	Peso di volume $\gamma^*$ (kg/dm <sup>3</sup> )	Modulo di taglio G (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulo di Young E (kg/cm <sup>2</sup> )
0-2	565	238	2.38	0.39	1.69	972	2708
2-8	1170	349	3.35	0.45	1.86	2308	6699
8-17	2133	451	4.72	0.48	1.98	4117	12158
17-34	1872	406	4.62	0.48	1.93	3235	9544

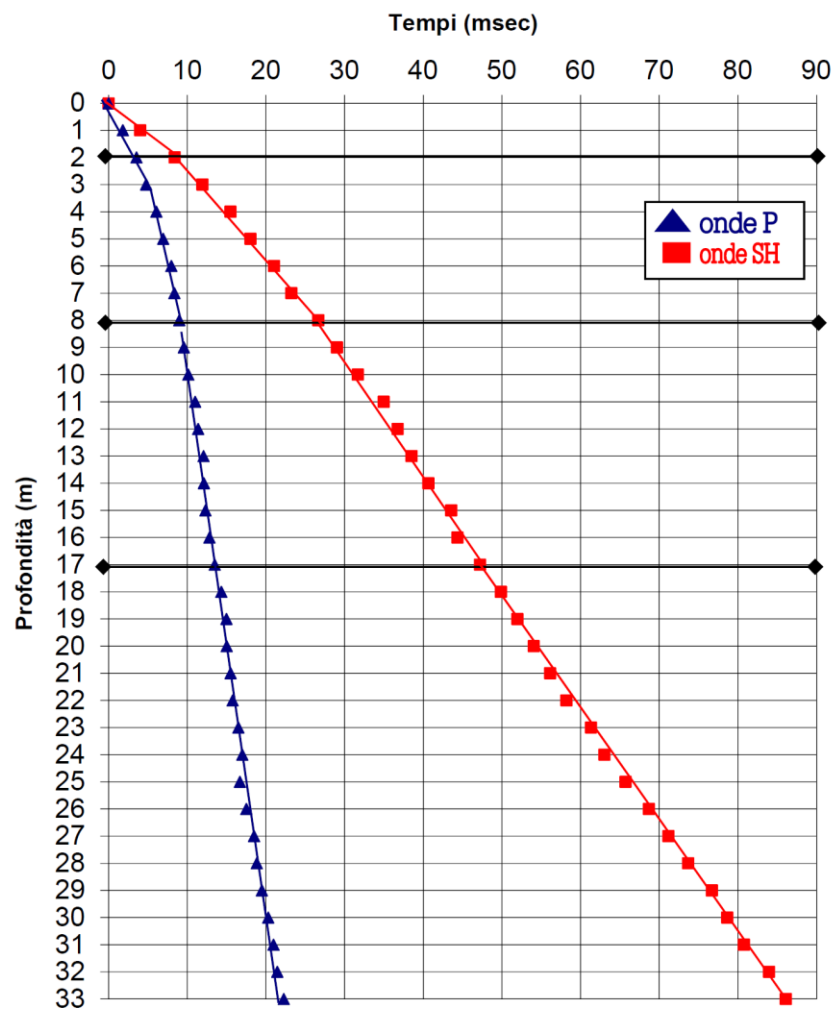
\* valori stimati secondo Keceli :  $\gamma = (4,3 \cdot Vs^{0,25}) / 10 \text{ kg/dm}^3$

Comune: Lucca - LU

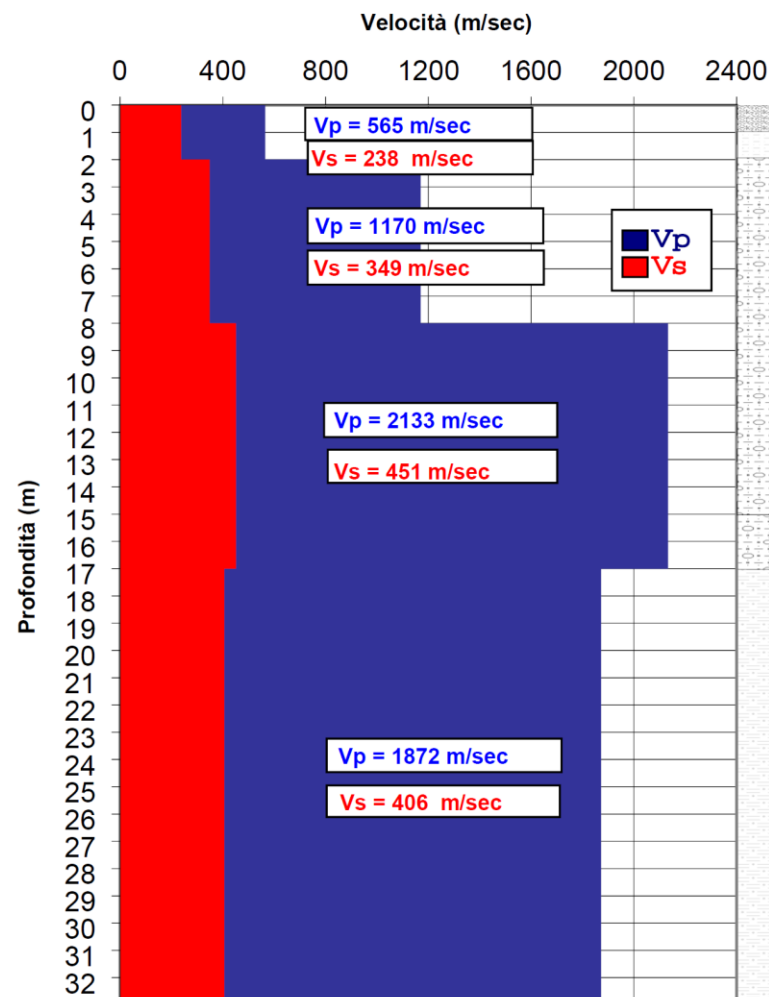
Località: via delle Tagliate

Sondaggio S1

Data: 20/06/22



**Dromocrone**



**Velocità intervallari**

Complessivamente si osserva una buona corrispondenza tra stratigrafia e velocità rilevate, con la consueta inversione di velocità al passaggio tra le ghiaie ed i sottostanti depositi argillosi che caratterizza tutta la piana lucchese.

\*\*\*\*\*

Lucca, 24/06/22

Collaboratore:  
Dr. Donato Merola



**GEOPROVE S.A.S.**  
Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Pietro Barsanti

**GEOPROVE S.a.S.**  
Il Socio Accomandatario  
e Direttore Tecnico  
Dr. Geol. Pietro Barsanti  
(n° 193 Albo dei Geologi della Toscana)

ALLEGATO 2

Tabulati spettri di RSL normalizzati ai sensi dell'Ord. 55/2018

Spettro SLD normalizzato Ord. 55/2018

T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)		
0	0.0686	0.6581	0.0861	1.0326	0.0549	1.4071	0.0403	1.7816	0.0318	2.4656	0.0172	3.2307	0.01	3.9958	0.0065	4.7609	0.0046
0.1023	0.1847	0.6659	0.0851	1.0404	0.0545	1.4149	0.0401	1.7894	0.0317	2.4816	0.017	3.2467	0.0099	4.0118	0.0065	4.7768	0.0046
0.307	0.1847	0.6737	0.0842	1.0482	0.0541	1.4227	0.0398	1.7972	0.0315	2.4975	0.0168	3.2626	0.0098	4.0277	0.0064	4.7928	0.0046
0.307	0.1847	0.6815	0.0832	1.056	0.0537	1.4305	0.0396	1.805	0.0314	2.5135	0.0165	3.2785	0.0097	4.0436	0.0064	4.8087	0.0045
0.3148	0.1801	0.6893	0.0822	1.0638	0.0533	1.4383	0.0394	1.8128	0.0313	2.5294	0.0163	3.2945	0.0096	4.0596	0.0063	4.8247	0.0045
0.3226	0.1757	0.6971	0.0813	1.0716	0.0529	1.4461	0.0392	1.8206	0.0311	2.5453	0.0161	3.3104	0.0095	4.0755	0.0063	4.8406	0.0045
0.3304	0.1716	0.7049	0.0804	1.0794	0.0525	1.4539	0.039	1.8284	0.031	2.5613	0.0159	3.3264	0.0094	4.0915	0.0062	4.8565	0.0044
0.3382	0.1676	0.7127	0.0795	1.0872	0.0521	1.4617	0.0388	1.8362	0.0309	2.5772	0.0157	3.3423	0.0094	4.1074	0.0062	4.8725	0.0044
0.346	0.1638	0.7205	0.0787	1.095	0.0518	1.4695	0.0386	1.844	0.0307	2.5932	0.0155	3.3582	0.0093	4.1233	0.0061	4.8884	0.0044
0.3538	0.1602	0.7283	0.0778	1.1028	0.0514	1.4773	0.0384	1.844	0.0307	2.6091	0.0154	3.3742	0.0092	4.1393	0.0061	4.9044	0.0043
0.3616	0.1568	0.7361	0.077	1.1106	0.051	1.4851	0.0382	1.8599	0.0302	2.625	0.0152	3.3901	0.0091	4.1552	0.0061	4.9203	0.0043
0.3694	0.1535	0.7439	0.0762	1.1184	0.0507	1.4929	0.038	1.8759	0.0297	2.641	0.015	3.4061	0.009	4.1712	0.006	4.9362	0.0043
0.3772	0.1503	0.7517	0.0754	1.1262	0.0503	1.5007	0.0378	1.8918	0.0292	2.6569	0.0148	3.422	0.0089	4.1871	0.006	4.9522	0.0043
0.385	0.1472	0.7595	0.0746	1.134	0.05	1.5085	0.0376	1.9078	0.0287	2.6728	0.0146	3.4379	0.0088	4.203	0.0059	4.9681	0.0042
0.3928	0.1443	0.7673	0.0739	1.1418	0.0497	1.5163	0.0374	1.9237	0.0283	2.6888	0.0145	3.4539	0.0088	4.219	0.0059	4.9841	0.0042
0.4006	0.1415	0.7751	0.0731	1.1496	0.0493	1.5241	0.0372	1.9396	0.0278	2.7047	0.0143	3.4698	0.0087	4.2349	0.0058	5	0.0042
0.4084	0.1388	0.7829	0.0724	1.1574	0.049	1.5319	0.037	1.9556	0.0273	2.7207	0.0141	3.4858	0.0086	4.2508	0.0058		
0.4162	0.1362	0.7907	0.0717	1.1652	0.0487	1.5397	0.0368	1.9715	0.0269	2.7366	0.014	3.5017	0.0085	4.2668	0.0057		
0.424	0.1337	0.7985	0.071	1.173	0.0483	1.5475	0.0366	1.9875	0.0265	2.7525	0.0138	3.5176	0.0084	4.2827	0.0057		
0.4318	0.1313	0.8063	0.0703	1.1808	0.048	1.5553	0.0365	2.0034	0.026	2.7685	0.0136	3.5336	0.0084	4.2987	0.0057		
0.4396	0.129	0.8141	0.0696	1.1886	0.0477	1.5631	0.0363	2.0193	0.0256	2.7844	0.0135	3.5495	0.0083	4.3146	0.0056		
0.4474	0.1267	0.8219	0.069	1.1964	0.0474	1.5709	0.0361	2.0353	0.0252	2.8004	0.0133	3.5655	0.0082	4.3305	0.0056		
0.4552	0.1245	0.8297	0.0683	1.2042	0.0471	1.5787	0.0359	2.0512	0.0248	2.8163	0.0132	3.5814	0.0082	4.3465	0.0055		
0.463	0.1224	0.8375	0.0677	1.212	0.0468	1.5865	0.0357	2.0672	0.0245	2.8322	0.013	3.5973	0.0081	4.3624	0.0055		
0.4708	0.1204	0.8453	0.0671	1.2198	0.0465	1.5943	0.0356	2.0831	0.0241	2.8482	0.0129	3.6133	0.008	4.3784	0.0055		
0.4786	0.1184	0.8531	0.0665	1.2276	0.0462	1.6021	0.0354	2.099	0.0237	2.8641	0.0127	3.6292	0.0079	4.3943	0.0054		
0.4864	0.1165	0.8609	0.0659	1.2354	0.0459	1.6099	0.0352	2.115	0.0234	2.8801	0.0126	3.6452	0.0079	4.4102	0.0054		
0.4943	0.1147	0.8687	0.0653	1.2432	0.0456	1.6177	0.035	2.1309	0.023	2.896	0.0125	3.6611	0.0078	4.4262	0.0053		
0.5021	0.1129	0.8766	0.0647	1.251	0.0453	1.6255	0.0349	2.1468	0.0227	2.9119	0.0123	3.677	0.0077	4.4421	0.0053		
0.5099	0.1112	0.8844	0.0641	1.2588	0.045	1.6333	0.0347	2.1628	0.0223	2.9279	0.0122	3.693	0.0077	4.4581	0.0053		
0.5177	0.1095	0.8922	0.0635	1.2667	0.0448	1.6411	0.0345	2.1787	0.022	2.9438	0.0121	3.7089	0.0076	4.474	0.0052		
0.5255	0.1079	0.9	0.063	1.2745	0.0445	1.6489	0.0344	2.1947	0.0217	2.9598	0.0119	3.7248	0.0075	4.4899	0.0052		
0.5333	0.1063	0.9078	0.0625	1.2823	0.0442	1.6568	0.0342	2.2106	0.0214	2.9757	0.0118	3.7408	0.0075	4.5059	0.0051		
0.5411	0.1048	0.9156	0.0619	1.2901	0.0439	1.6646	0.0341	2.2265	0.0211	2.9916	0.0117	3.7567	0.0074	4.5218	0.0051		
0.5489	0.1033	0.9234	0.0614	1.2979	0.0437	1.6724	0.0339	2.2425	0.0208	3.0076	0.0116	3.7727	0.0073	4.5378	0.0051		
0.5567	0.1018	0.9312	0.0609	1.3057	0.0434	1.6802	0.0337	2.2584	0.0205	3.0235	0.0114	3.7886	0.0073	4.5537	0.005		
0.5645	0.1004	0.939	0.0604	1.3135	0.0432	1.688	0.0336	2.2744	0.0202	3.0395	0.0113	3.8045	0.0072	4.5696	0.005		
0.5723	0.0991	0.9468	0.0599	1.3213	0.0429	1.6958	0.0334	2.2903	0.0199	3.0554	0.0112	3.8205	0.0072	4.5856	0.005		
0.5801	0.0977	0.9546	0.0594	1.3291	0.0427	1.7036	0.0333	2.3062	0.0197	3.0713	0.0111	3.8364	0.0071	4.6015	0.0049		
0.5879	0.0964	0.9624	0.0589	1.3369	0.0424	1.7114	0.0331	2.3222	0.0194	3.0873	0.011	3.8524	0.007	4.6175	0.0049		
0.5957	0.0952	0.9702	0.0584	1.3447	0.0422	1.7192	0.033	2.3381	0.0191	3.1032	0.0109	3.8683	0.007	4.6334	0.0049		
0.6035	0.0939	0.978	0.058	1.3525	0.0419	1.727	0.0328	2.3541	0.0189	3.1192	0.0107	3.8842	0.0069	4.6493	0.0048		
0.6113	0.0927	0.9858	0.0575	1.3603	0.0417	1.7348	0.0327	2.37	0.0186	3.1351	0.0106	3.9002	0.0069	4.6653	0.0048		
0.6191	0.0916	0.9936	0.0571	1.3681	0.0414	1.7426	0.0325	2.3859	0.0184	3.151	0.0105	3.9161	0.0068	4.6812	0.0048		
0.6269	0.0904	1.0014	0.0566	1.3759	0.0412	1.7504	0.0324	2.4019	0.0181	3.167	0.0104	3.9321	0.0068	4.6972	0.0047		
0.6347	0.0893	1.0092	0.0562	1.3837	0.041	1.7582	0.0322	2.4178	0.0179	3.1829	0.0103	3.948	0.0067	4.7131	0.0047		
0.6425	0.0882	1.017	0.0557	1.3915	0.0407	1.766	0.0321	2.4338	0.0176	3.1988	0.0102	3.9639	0.0067	4.729	0.0047		
0.6503	0.0872	1.0248	0.0553	1.3993	0.0405	1.7738	0.032	2.4497	0.0174	3.2148	0.0101	3.9799	0.0066	4.745	0.0046		

## Spettro NORMALIZZATO Ord. 55/2018

T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)
0	0.0576	0.648	0.0735	1.0118	0.0471	1.3756	0.0346	1.7394	0.0274	2.4303	0.0145	3.2061	0.0083	3.9818	0.0054	4.7576	0.0038
0.1023	0.1552	0.6556	0.0727	1.0194	0.0467	1.3832	0.0344	1.7469	0.0273	2.4465	0.0143	3.2222	0.0083	3.998	0.0054	4.7737	0.0038
0.307	0.1552	0.6632	0.0718	1.027	0.0464	1.390754	0.033648	1.7545	0.0272	2.4626	0.0141	3.2384	0.0082	4.0141	0.0053	4.7899	0.0037
0.307	0.1552	0.6708	0.071	1.0346	0.0461	1.398332	0.033396	1.7621	0.027	2.4788	0.014	3.2545	0.0081	4.0303	0.0053	4.8061	0.0037
0.3146	0.1515	0.6784	0.0702	1.0421	0.0457	1.4059	0.0339	1.7697	0.0269	2.4949	0.0138	3.2707	0.008	4.0465	0.0052	4.8222	0.0037
0.3222	0.1479	0.6859	0.0695	1.0497	0.0454	1.4135	0.0337	1.7773	0.0268	2.5111	0.0136	3.2869	0.0079	4.0626	0.0052	4.8384	0.0037
0.3297	0.1445	0.6935	0.0687	1.0573	0.0451	1.4211	0.0335	1.7848	0.0267	2.5273	0.0134	3.303	0.0079	4.0788	0.0052	4.8545	0.0036
0.3373	0.1412	0.7011	0.068	1.0649	0.0447	1.4286	0.0333	1.7924	0.0266	2.5434	0.0133	3.3192	0.0078	4.0949	0.0051	4.8707	0.0036
0.3449	0.1381	0.7087	0.0672	1.0724	0.0444	1.4362	0.0332	1.8	0.0265	2.5596	0.0131	3.3354	0.0077	4.1111	0.0051	4.8869	0.0036
0.3525	0.1352	0.7163	0.0665	1.08	0.0441	1.4438	0.033	1.8	0.0265	2.5758	0.0129	3.3515	0.0076	4.1273	0.005	4.903	0.0036
0.3601	0.1323	0.7238	0.0658	1.0876	0.0438	1.4514	0.0328	1.8162	0.026	2.5919	0.0128	3.3677	0.0076	4.1434	0.005	4.9192	0.0035
0.3676	0.1296	0.7314	0.0651	1.0952	0.0435	1.459	0.0327	1.8323	0.0255	2.6081	0.0126	3.3838	0.0075	4.1596	0.005	4.9354	0.0035
0.3752	0.127	0.739	0.0645	1.1028	0.0432	1.4665	0.0325	1.8485	0.0251	2.6242	0.0125	3.4	0.0074	4.1758	0.0049	4.9515	0.0035
0.3828	0.1245	0.7466	0.0638	1.1103	0.0429	1.4741	0.0323	1.8646	0.0247	2.6404	0.0123	3.4162	0.0073	4.1919	0.0049	4.9677	0.0035
0.3904	0.1221	0.7541	0.0632	1.1179	0.0426	1.4817	0.0322	1.8808	0.0242	2.6566	0.0122	3.4323	0.0073	4.2081	0.0048	4.9838	0.0035
0.3979	0.1197	0.7617	0.0625	1.1255	0.0423	1.4893	0.032	1.897	0.0238	2.6727	0.012	3.4485	0.0072	4.2242	0.0048	5	0.0034
0.4055	0.1175	0.7693	0.0619	1.1331	0.042	1.4969	0.0318	1.9131	0.0234	2.6889	0.0119	3.4646	0.0071	4.2404	0.0048		
0.4131	0.1153	0.7769	0.0613	1.1407	0.0418	1.5044	0.0317	1.9293	0.023	2.7051	0.0117	3.4808	0.0071	4.2566	0.0047		
0.4207	0.1133	0.7845	0.0607	1.1482	0.0415	1.512	0.0315	1.9455	0.0227	2.7212	0.0116	3.497	0.007	4.2727	0.0047		
0.4283	0.1113	0.792	0.0602	1.1558	0.0412	1.5196	0.0314	1.9616	0.0223	2.7374	0.0114	3.5131	0.0069	4.2889	0.0047		
0.4358	0.1093	0.7996	0.0596	1.1634	0.041	1.5272	0.0312	1.9778	0.0219	2.7535	0.0113	3.5293	0.0069	4.3051	0.0046		
0.4434	0.1074	0.8072	0.059	1.171	0.0407	1.5347	0.031	1.9939	0.0216	2.7697	0.0112	3.5455	0.0068	4.3212	0.0046		
0.451	0.1056	0.8148	0.0585	1.1785	0.0404	1.5423	0.0309	2.0101	0.0212	2.7859	0.0111	3.5616	0.0068	4.3374	0.0046		
0.4586	0.1039	0.8224	0.0579	1.1861	0.0402	1.5499	0.0307	2.0263	0.0209	2.802	0.0109	3.5778	0.0067	4.3535	0.0045		
0.4662	0.1022	0.8299	0.0574	1.1937	0.0399	1.5575	0.0306	2.0424	0.0206	2.8182	0.0108	3.5939	0.0066	4.3697	0.0045		
0.4737	0.1006	0.8375	0.0569	1.2013	0.0397	1.5651	0.0304	2.0586	0.0202	2.8343	0.0107	3.6101	0.0066	4.3859	0.0045		
0.4813	0.099	0.8451	0.0564	1.2089	0.0394	1.5726	0.0303	2.0747	0.0199	2.8505	0.0106	3.6263	0.0065	4.402	0.0044		
0.4889	0.0975	0.8527	0.0559	1.2164	0.0392	1.5802	0.0302	2.0909	0.0196	2.8667	0.0104	3.6424	0.0065	4.4182	0.0044		
0.4965	0.096	0.8602	0.0554	1.224	0.0389	1.5878	0.03	2.1071	0.0193	2.8828	0.0103	3.6586	0.0064	4.4343	0.0044		
0.504	0.0945	0.8678	0.0549	1.2316	0.0387	1.5954	0.0299	2.1232	0.019	2.899	0.0102	3.6747	0.0064	4.4505	0.0043		
0.5116	0.0931	0.8754	0.0544	1.2392	0.0384	1.603	0.0297	2.1394	0.0187	2.9152	0.0101	3.6909	0.0063	4.4667	0.0043		
0.5192	0.0918	0.883	0.054	1.2468	0.0382	1.6105	0.0296	2.1556	0.0185	2.9313	0.01	3.7071	0.0062	4.4828	0.0043		
0.5268	0.0904	0.8906	0.0535	1.2543	0.038	1.6181	0.0294	2.1717	0.0182	2.9475	0.0099	3.7232	0.0062	4.499	0.0042		
0.5344	0.0892	0.8981	0.053	1.2619	0.0378	1.6257	0.0293	2.1879	0.0179	2.9636	0.0098	3.7394	0.0061	4.5152	0.0042		
0.5419	0.0879	0.9057	0.0526	1.2695	0.0375	1.6333	0.0292	2.204	0.0177	2.9798	0.0097	3.7556	0.0061	4.5313	0.0042		
0.5495	0.0867	0.9133	0.0522	1.2771	0.0373	1.6408	0.029	2.2202	0.0174	2.996	0.0096	3.7717	0.006	4.5475	0.0041		
0.5571	0.0855	0.9209	0.0517	1.2847	0.0371	1.6484	0.0289	2.2364	0.0171	3.0121	0.0095	3.7879	0.006	4.5636	0.0041		
0.5647	0.0844	0.9285	0.0513	1.2922	0.0369	1.656	0.0288	2.2525	0.0169	3.0283	0.0094	3.804	0.0059	4.5798	0.0041		
0.5723	0.0833	0.936	0.0509	1.2998	0.0367	1.6636	0.0286	2.2687	0.0167	3.0444	0.0093	3.8202	0.0059	4.596	0.0041		
0.5798	0.0822	0.9436	0.0505	1.3074	0.0364	1.6712	0.0285	2.2848	0.0164	3.0606	0.0092	3.8364	0.0058	4.6121	0.004		
0.5874	0.0811	0.9512	0.0501	1.315	0.0362	1.6787	0.0284	2.301	0.0162	3.0768	0.0091	3.8525	0.0058	4.6283	0.004		
0.595	0.0801	0.9588	0.0497	1.3225	0.036	1.6863	0.0283	2.3172	0.016	3.0929	0.009	3.8687	0.0057	4.6444	0.004		
0.6026	0.0791	0.9663	0.0493	1.3301	0.0358	1.6939	0.0281	2.3333	0.0158	3.1091	0.0089	3.8848	0.0057	4.6606	0.0039		
0.6102	0.0781	0.9739	0.0489	1.3377	0.0356	1.7015	0.028	2.3495	0.0155	3.1253	0.0088	3.901	0.0056	4.6768	0.0039		
0.6177	0.0771	0.9815	0.0485	1.3453	0.0354	1.7091	0.0279	2.3657	0.0153	3.1414	0.0087	3.9172	0.0056	4.6929	0.0039		
0.6253	0.0762	0.9891	0.0482	1.3529	0.0352	1.7166	0.0278	2.3818	0.0151	3.1576	0.0086	3.9333	0.0055	4.7091	0.0039		
0.6329	0.0753	0.9967	0.0478	1.3604	0.035	1.7242	0.0276	2.398	0.0149	3.1737	0.0085	3.9495	0.0055	4.7253	0.0038		
0.6405	0.0744	1.0042	0.0474	1.368	0.0348	1.7318	0.0275	2.4141	0.0147	3.1899	0.0084	3.9657	0.0055	4.7414	0.0038		

## Spettro SLV normalizzato Ord. 55/2018

T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)	T (sec)	a (g)
0	0.1981	0.9297	0.2608	1.3283	0.1825	1.7269	0.1404	2.1256	0.1141	2.7451	0.0705	3.4258	0.0453	4.1065	0.0315	4.7873	0.0232
0.1853	0.4361	0.938	0.2585	1.3366	0.1814	1.7352	0.1397	2.1339	0.1136	2.7593	0.0698	3.44	0.0449	4.1207	0.0313	4.8015	0.0231
0.556	0.4361	0.9463	0.2562	1.3449	0.1803	1.7435	0.1391	2.1422	0.1132	2.7735	0.0691	3.4542	0.0445	4.1349	0.0311	4.8156	0.0229
0.556	0.4361	0.9546	0.254	1.3532	0.1792	1.7518	0.1384	2.1505	0.1128	2.7876	0.0684	3.4684	0.0442	4.1491	0.0309	4.8298	0.0228
0.5643	0.4297	0.9629	0.2518	1.3615	0.1781	1.7602	0.1378	2.1588	0.1123	2.8018	0.0677	3.4825	0.0438	4.1633	0.0307	4.844	0.0227
0.5726	0.4235	0.9712	0.2497	1.3698	0.177	1.7685	0.1371	2.1671	0.1119	2.816	0.067	3.4967	0.0435	4.1775	0.0305	4.8582	0.0225
0.5809	0.4174	0.9795	0.2475	1.3781	0.1759	1.7768	0.1365	2.1754	0.1115	2.8302	0.0664	3.5109	0.0431	4.1916	0.0303	4.8724	0.0224
0.5892	0.4115	0.9878	0.2455	1.3864	0.1749	1.7851	0.1358	2.1837	0.111	2.8444	0.0657	3.5251	0.0428	4.2058	0.03	4.8865	0.0223
0.5975	0.4058	0.9961	0.2434	1.3947	0.1738	1.7934	0.1352	2.192	0.1106	2.8585	0.065	3.5393	0.0424	4.22	0.0298	4.9007	0.0221
0.6058	0.4003	1.0044	0.2414	1.403	0.1728	1.8017	0.1346	2.192	0.1106	2.8727	0.0644	3.5535	0.0421	4.2342	0.0296	4.9149	0.022
0.6141	0.3948	1.0127	0.2394	1.4113	0.1718	1.81	0.134	2.2062	0.1092	2.8869	0.0638	3.5676	0.0418	4.2484	0.0294	4.9291	0.0219
0.6224	0.3896	1.021	0.2375	1.4197	0.1708	1.8183	0.1334	2.2204	0.1078	2.9011	0.0631	3.5818	0.0414	4.2625	0.0293	4.9433	0.0218
0.6307	0.3844	1.0293	0.2356	1.428	0.1698	1.8266	0.1327	2.2345	0.1064	2.9153	0.0625	3.596	0.0411	4.2767	0.0291	4.9575	0.0216
0.639	0.3794	1.0376	0.2337	1.4363	0.1688	1.8349	0.1321	2.2487	0.1051	2.9295	0.0619	3.6102	0.0408	4.2909	0.0289	4.9716	0.0215
0.6473	0.3746	1.0459	0.2318	1.4446	0.1678	1.8432	0.1315	2.2629	0.1038	2.9436	0.0613	3.6244	0.0405	4.3051	0.0287	4.9858	0.0214
0.6556	0.3698	1.0542	0.23	1.4529	0.1669	1.8515	0.131	2.2771	0.1025	2.9578	0.0608	3.6385	0.0401	4.3193	0.0285	5	0.0213
0.6639	0.3652	1.0625	0.2282	1.4612	0.1659	1.8598	0.1304	2.2913	0.1012	2.972	0.0602	3.6527	0.0398	4.3335	0.0283		
0.6722	0.3607	1.0709	0.2264	1.4695	0.165	1.8681	0.1298	2.3055	0.1	2.9862	0.0596	3.6669	0.0395	4.3476	0.0281		
0.6805	0.3563	1.0792	0.2247	1.4778	0.1641	1.8764	0.1292	2.3196	0.0988	3.0004	0.059	3.6811	0.0392	4.3618	0.0279		
0.6888	0.352	1.0875	0.223	1.4861	0.1632	1.8847	0.1286	2.3338	0.0976	3.0145	0.0585	3.6953	0.0389	4.376	0.0278		
0.6971	0.3478	1.0958	0.2213	1.4944	0.1623	1.893	0.1281	2.348	0.0964	3.0287	0.0579	3.7095	0.0386	4.3902	0.0276		
0.7054	0.3437	1.1041	0.2196	1.5027	0.1614	1.9013	0.1275	2.3622	0.0953	3.0429	0.0574	3.7236	0.0383	4.4044	0.0274		
0.7137	0.3397	1.1124	0.218	1.511	0.1605	1.9096	0.127	2.3764	0.0941	3.0571	0.0569	3.7378	0.038	4.4185	0.0272		
0.7221	0.3358	1.1207	0.2164	1.5193	0.1596	1.9179	0.1264	2.3905	0.093	3.0713	0.0563	3.752	0.0378	4.4327	0.027		
0.7304	0.332	1.129	0.2148	1.5276	0.1587	1.9262	0.1259	2.4047	0.0919	3.0855	0.0558	3.7662	0.0375	4.4469	0.0269		
0.7387	0.3283	1.1373	0.2132	1.5359	0.1579	1.9346	0.1253	2.4189	0.0908	3.0996	0.0553	3.7804	0.0372	4.4611	0.0267		
0.747	0.3246	1.1456	0.2117	1.5442	0.157	1.9429	0.1248	2.4331	0.0898	3.1138	0.0548	3.7945	0.0369	4.4753	0.0265		
0.7553	0.321	1.1539	0.2101	1.5525	0.1562	1.9512	0.1243	2.4473	0.0887	3.128	0.0543	3.8087	0.0366	4.4895	0.0264		
0.7636	0.3175	1.1622	0.2086	1.5608	0.1553	1.9595	0.1237	2.4615	0.0877	3.1422	0.0538	3.8229	0.0364	4.5036	0.0262		
0.7719	0.3141	1.1705	0.2071	1.5691	0.1545	1.9678	0.1232	2.4756	0.0867	3.1564	0.0533	3.8371	0.0361	4.5178	0.026		
0.7802	0.3108	1.1788	0.2057	1.5774	0.1537	1.9761	0.1227	2.4898	0.0857	3.1705	0.0529	3.8513	0.0358	4.532	0.0259		
0.7885	0.3075	1.1871	0.2042	1.5857	0.1529	1.9844	0.1222	2.504	0.0848	3.1847	0.0524	3.8655	0.0356	4.5462	0.0257		
0.7968	0.3043	1.1954	0.2028	1.5941	0.1521	1.9927	0.1217	2.5182	0.0838	3.1989	0.0519	3.8796	0.0353	4.5604	0.0256		
0.8051	0.3012	1.2037	0.2014	1.6024	0.1513	2.001	0.1212	2.5324	0.0829	3.2131	0.0515	3.8938	0.0351	4.5745	0.0254		
0.8134	0.2981	1.212	0.2001	1.6107	0.1505	2.0093	0.1207	2.5465	0.082	3.2273	0.051	3.908	0.0348	4.5887	0.0252		
0.8217	0.2951	1.2203	0.1987	1.619	0.1498	2.0176	0.1202	2.5607	0.0811	3.2415	0.0506	3.9222	0.0345	4.6029	0.0251		
0.83	0.2921	1.2286	0.1973	1.6273	0.149	2.0259	0.1197	2.5749	0.0802	3.2556	0.0501	3.9364	0.0343	4.6171	0.0249		
0.8383	0.2892	1.2369	0.196	1.6356	0.1482	2.0342	0.1192	2.5891	0.0793	3.2698	0.0497	3.9505	0.0341	4.6313	0.0248		
0.8466	0.2864	1.2453	0.1947	1.6439	0.1475	2.0425	0.1187	2.6033	0.0784	3.284	0.0493	3.9647	0.0338	4.6455	0.0246		
0.8549	0.2836	1.2536	0.1934	1.6522	0.1468	2.0508	0.1182	2.6175	0.0776	3.2982	0.0489	3.9789	0.0336	4.6596	0.0245		
0.8632	0.2809	1.2619	0.1922	1.6605	0.146	2.0591	0.1178	2.6316	0.0767	3.3124	0.0484	3.9931	0.0333	4.6738	0.0243		
0.8715	0.2782	1.2702	0.1909	1.6688	0.1453	2.0674	0.1173	2.6458	0.0759	3.3265	0.048	4.0073	0.0331	4.688	0.0242		
0.8798	0.2756	1.2785	0.1897	1.6771	0.1446	2.0757	0.1168	2.66	0.0751	3.3407	0.0476	4.0215	0.0329	4.7022	0.024		
0.8881	0.273	1.2868	0.1884	1.6854	0.1439	2.084	0.1163	2.6742	0.0743	3.3549	0.0472	4.0356	0.0326	4.7164	0.0239		
0.8965	0.2705	1.2951	0.1872	1.6937	0.1432	2.0923	0.1159	2.6884	0.0735	3.3691	0.0468	4.0498	0.0324	4.7305	0.0238		
0.9048	0.268	1.3034	0.186	1.702	0.1425	2.1006	0.1154	2.7025	0.0728	3.3833	0.0464	4.064	0.0322	4.7447	0.0236		
0.9131	0.2656	1.3117	0.1849	1.7103	0.1418	2.109	0.115	2.7167	0.072	3.3975	0.046	4.0782	0.032	4.7589	0.0235		
0.9214	0.2632	1.32	0.1837	1.7186	0.1411	2.1173	0.1145	2.7309	0.0713	3.4116	0.0457	4.0924	0.0317	4.7731	0.0233		

ALLEGATO 3  
Verifica Liquefazione

## DATI GENERALI

Data 26/07/2022  
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

### FALDA

Profondità falda idrica 1.5 m

### DATI SISMICI

Accelerazione Bedrock 0.13

Fattore amplificazione 2.38

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) 6.14

Distanza epicentro 10 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.195

### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	1	19.5	20.5	0	0	0	0	238
2		1	2.2	18.5	19.5	0	0	0	0	249
3		2.2	17	20	21	0	0	0	0	451

### Eurocodice 8 VS

Strato Nr.	Frazione limosa (%)	Frazione argillosa (%)	Indice di plasticità (%)	Tipo Suolo	Validità
1-	0	0	$\leq 10$	C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360	Valido
2-	0	0	$\leq 10$	C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360	Valido
3-	0	0	$\leq 10$	C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360	Valido

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
1	1.70	32.650	30.689	334.545	220.000	0.987	0.324	0.040	8.14	NL	0.054
2	1.90	36.550	32.627	329.461	220.000	0.985	0.313	0.042	7.48	NL	0.070
3	2.10	40.450	34.566	324.741	220.000	0.984	0.304	0.044	6.94	NL	0.089
4	2.30	44.500	36.655	579.621	220.000	0.982	1.001	0.045	22.07	NL	0.002
5	2.50	48.700	38.893	571.094	220.000	0.981	0.972	0.047	20.77	NL	0.003
6	2.70	52.900	41.132	563.160	220.000	0.979	0.945	0.048	19.65	NL	0.004
7	2.90	57.100	43.371	555.747	220.000	0.978	0.920	0.049	18.69	NL	0.004
8	3.10	61.300	45.609	548.799	220.000	0.976	0.897	0.050	17.85	NL	0.005
9	3.30	65.500	47.848	542.264	220.000	0.975	0.875	0.051	17.11	NL	0.005
10	3.50	69.700	50.087	536.100	220.000	0.973	0.855	0.052	16.44	NL	0.006
11	3.70	73.900	52.325	530.272	220.000	0.972	0.837	0.053	15.85	NL	0.007
12	3.90	78.100	54.564	524.747	220.000	0.970	0.819	0.053	15.31	NL	0.008
13	4.10	82.300	56.803	519.499	220.000	0.969	0.803	0.054	14.82	NL	0.008
14	4.30	86.500	59.041	514.502	220.000	0.967	0.787	0.055	14.37	NL	0.009
15	4.50	90.700	61.280	509.738	220.000	0.966	0.772	0.055	13.96	NL	0.010
16	4.70	94.900	63.519	505.186	220.000	0.964	0.758	0.056	13.58	NL	0.011
17	4.90	99.100	65.757	500.830	220.000	0.963	0.745	0.056	13.23	NL	0.012
18	5.10	103.300	67.996	496.656	220.000	0.961	0.733	0.057	12.90	NL	0.013
19	5.30	107.500	70.235	492.650	220.000	0.959	0.721	0.057	12.60	NL	0.014
20	5.50	111.700	72.473	488.801	220.000	0.958	0.709	0.058	12.31	NL	0.015

21	5.70	115.90 0	74.712	485.09 7	220.00 0	0.956	0.698	0.058	12.05	NL	0.016
22	5.90	120.10 0	76.951	481.53 0	220.00 0	0.955	0.688	0.058	11.80	NL	0.017
23	6.10	124.30 0	79.189	478.09 0	220.00 0	0.953	0.678	0.059	11.56	NL	0.018
24	6.30	128.50 0	81.428	474.77 0	220.00 0	0.952	0.669	0.059	11.34	NL	0.019
25	6.50	132.70 0	83.667	471.56 2	220.00 0	0.950	0.659	0.059	11.12	NL	0.021
26	6.70	136.90 0	85.905	468.45 9	220.00 0	0.949	0.651	0.060	10.92	NL	0.022
27	6.90	141.10 0	88.144	465.45 6	220.00 0	0.947	0.642	0.060	10.73	NL	0.023
28	7.10	145.30 0	90.383	462.54 6	220.00 0	0.946	0.634	0.060	10.55	NL	0.024
29	7.30	149.50 0	92.621	459.72 6	220.00 0	0.944	0.626	0.060	10.38	NL	0.026
30	7.50	153.70 0	94.860	456.98 9	220.00 0	0.943	0.619	0.061	10.22	NL	0.027
31	7.70	157.90 0	97.099	454.33 2	220.00 0	0.941	0.611	0.061	10.06	NL	0.028
32	7.90	162.10 0	99.337	451.75 0	220.00 0	0.940	0.604	0.061	9.91	NL	0.030
33	8.10	166.30 0	101.57 6	449.24 0	220.00 0	0.938	0.597	0.061	9.76	NL	0.031
34	8.30	170.50 0	103.81 5	446.79 9	220.00 0	0.937	0.591	0.061	9.63	NL	0.032
35	8.50	174.70 0	106.05 3	444.42 2	220.00 0	0.935	0.584	0.062	9.49	NL	0.034
36	8.70	178.90 0	108.29 2	442.10 7	220.00 0	0.933	0.578	0.062	9.37	NL	0.035
37	8.90	183.10 0	110.53 1	439.85 1	220.00 0	0.932	0.572	0.062	9.24	NL	0.037
38	9.10	187.30 0	112.77 0	437.65 2	220.00 0	0.930	0.566	0.062	9.12	NL	0.038
39	9.30	191.50 0	115.00 8	435.50 6	220.00 0	0.926	0.561	0.062	9.01	NL	0.040
40	9.50	195.70 0	117.24 7	433.41 2	220.00 0	0.920	0.555	0.062	8.90	NL	0.041
41	9.70	199.90 0	119.48 6	431.36 8	220.00 0	0.915	0.550	0.063	8.79	NL	0.043
42	9.90	204.10 0	121.72 4	429.37 1	220.00 0	0.910	0.545	0.063	8.69	NL	0.044
43	10.10	208.30 0	123.96 3	427.41 9	220.00 0	0.904	0.540	0.063	8.59	NL	0.046
44	10.30	212.50 0	126.20 2	425.51 1	220.00 0	0.899	0.535	0.063	8.50	NL	0.048

45	10.50	216.70 0	128.44 0	423.64 4	220.00 0	0.894	0.530	0.063	8.40	NL	0.049
46	10.70	220.90 0	130.67 9	421.81 8	220.00 0	0.888	0.525	0.063	8.31	NL	0.051
47	10.90	225.10 0	132.91 8	420.03 1	220.00 0	0.883	0.521	0.063	8.23	NL	0.053
48	11.10	229.30 0	135.15 6	418.28 1	220.00 0	0.878	0.516	0.063	8.14	NL	0.054
49	11.30	233.50 0	137.39 5	416.56 6	220.00 0	0.872	0.512	0.064	8.06	NL	0.056
50	11.50	237.70 0	139.63 4	414.88 6	220.00 0	0.867	0.508	0.064	7.98	NL	0.058
51	11.70	241.90 0	141.87 2	413.24 0	220.00 0	0.862	0.504	0.064	7.90	NL	0.060
52	11.90	246.10 0	144.11 1	411.62 6	220.00 0	0.856	0.500	0.064	7.83	NL	0.061
53	12.10	250.30 0	146.35 0	410.04 2	220.00 0	0.851	0.496	0.064	7.75	NL	0.063
54	12.30	254.50 0	148.58 8	408.48 9	220.00 0	0.846	0.492	0.064	7.68	NL	0.065
55	12.50	258.70 0	150.82 7	406.96 5	220.00 0	0.840	0.488	0.064	7.61	NL	0.067
56	12.70	262.90 0	153.06 6	405.46 9	220.00 0	0.835	0.484	0.064	7.54	NL	0.069
57	12.90	267.10 0	155.30 4	403.99 9	220.00 0	0.830	0.481	0.064	7.48	NL	0.071
58	13.10	271.30 0	157.54 3	402.55 7	220.00 0	0.824	0.477	0.064	7.41	NL	0.073
59	13.30	275.50 0	159.78 2	401.13 9	220.00 0	0.819	0.474	0.064	7.35	NL	0.074
60	13.50	279.70 0	162.02 0	399.74 6	220.00 0	0.814	0.470	0.065	7.29	NL	0.076
61	13.70	283.90 0	164.25 9	398.37 7	220.00 0	0.808	0.467	0.065	7.23	NL	0.078
62	13.90	288.10 0	166.49 8	397.03 1	220.00 0	0.803	0.464	0.065	7.17	NL	0.080
63	14.10	292.30 0	168.73 6	395.70 8	220.00 0	0.798	0.461	0.065	7.11	NL	0.082
64	14.30	296.50 0	170.97 5	394.40 6	220.00 0	0.792	0.457	0.065	7.06	NL	0.084
65	14.50	300.70 0	173.21 4	393.12 5	220.00 0	0.787	0.454	0.065	7.00	NL	0.087
66	14.70	304.90 0	175.45 2	391.86 5	220.00 0	0.782	0.451	0.065	6.95	NL	0.089
67	14.90	309.10 0	177.69 1	390.62 5	220.00 0	0.776	0.448	0.065	6.90	NL	0.091
68	15.10	313.30 0	179.93 0	389.40 4	220.00 0	0.771	0.446	0.065	6.85	NL	0.093

69	15.30	317.50 0	182.16 8	388.20 3	220.00 0	0.765	0.443	0.065	6.80	NL	0.095
70	15.50	321.70 0	184.40 7	387.01 9	220.00 0	0.760	0.440	0.065	6.75	NL	0.097
71	15.70	325.90 0	186.64 6	385.85 3	220.00 0	0.755	0.437	0.065	6.70	NL	0.099
72	15.90	330.10 0	188.88 4	384.70 5	220.00 0	0.749	0.434	0.065	6.65	NL	0.101
73	16.10	334.30 0	191.12 3	383.57 3	220.00 0	0.744	0.432	0.065	6.60	NL	0.104
74	16.30	338.50 0	193.36 2	382.45 8	220.00 0	0.739	0.429	0.065	6.56	NL	0.106
75	16.50	342.70 0	195.60 0	381.35 9	220.00 0	0.733	0.427	0.065	6.52	NL	0.108
76	16.70	346.90 0	197.83 9	380.27 6	220.00 0	0.728	0.424	0.066	6.47	NL	0.110
77	16.90	351.10 0	200.07 8	379.20 8	220.00 0	0.723	0.422	0.066	6.43	NL	0.113

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

NL – Non Liquefacibile

Colonna stratigrafica

Vs (m/s)

Fattore di sicurezza Fs

