

RELAZIONE GEOLOGICA

**A SUPPORTO DEL PROGETTO PER IL RIPRISTINO DI UN TRATTO
DELLA STRADA PROVINCIALE SP2 “DELLA CERRETA” COMPRESO
TRA L’ABITATO DI NUGOLA NUOVA E LA STRADA PROVINCIALE
SP 555 “DELLE COLLINE”, NEL COMUNE DI COLLESALVETTI (LI)**

COMMITTENTE:

Provincia di Livorno

Servizio Investimenti e PNRR

Responsabile Ing. Simone Lubrano



NOVEMBRE 2023

INDICE

1 RELAZIONE GEOLOGICA

- 1a Premessa
- 1b Inquadramento geomorfologico
- 1c Geologia generale dell'area
- 1d Idrologia, idrogeologia

2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

- 2a Indagini a disposizione
- 2b Amplificazione sismica locale

3 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

- 3a Modello stratigrafico di dettaglio e caratterizzazione geotecnica
- 3b Verifica della suscettibilità alla liquefazione

4 - PERICOLOSITA' E FATTIBILITA' GEOLOGICO TECNICA

- 4a - Valutazione delle Pericolosità
 - 4a.1 - Pericolosità Geomorfologica
 - 4a.2 - Pericolosità Sismica
 - 4a.3 - Pericolosità Idraulica
- 4b - Fattibilità Geologico - Tecnica
 - 4b.1 - Fattibilità Geomorfologica
 - 4b.2 - Fattibilità Sismica
 - 4b.3 - Fattibilità Idraulica

5 CONCLUSIONI

INDICE TAVOLE ED ALLEGATI

Tav. 1 - Carta di inquadramento topografico (scala 1:10.000)

Tav. 2 - Carta Geomorfologica del P.S. vigente (scala 1:5.000)

Tav. 3 - Carta Geologica del P.S. vigente (scala 1:5.000)

Tav. 4 - Carta idrogeologica del P.S. vigente (1:5.000)

Tav. 5 - Carta della Pericolosità Geomorfologica del P.S. vigente e Carta della Pericolosità Geomorfologica del P.S. Adottato (scala 1:5.000)

Tav. 6 - Carta del PGRA Distretto Appennino Settentrionale e Carta della Pericolosità Idraulica del P.S. Adottato (scala 1:5.000)

Tav. 7 - Carta della Pericolosità Sismica del P.S. vigente e Carta della Pericolosità Sismica del P.S. Adottato (scala 1:5.000)

Allegato 1 - Elaborati delle prove penetrometriche statiche

Allegato 2 - Relazione Tecnica indagine sismica MASW

1 - RELAZIONE GEOLOGICA

1a - Premessa

Il presente documento è stato redatto quale relazione geologica a supporto del progetto per il rifacimento di un tratto della Strada Provinciale S.P.2 “Della Cerreta” compreso tra le chilometriche 1+700 e 2+700 ed in corrispondenza della chilometrica 3+700 in prossimità dell’intersezione con la Strada Provinciale S.P. 555 “Delle Colline”, nel Comune di Collesalveti - si veda **Tav. 1**.

L’intervento in progetto si rende necessario in seguito a fenomeni di erosione della scarpata del rilevato stradale sul lato ovest.

In Particolare l’intervento prevede il rifacimento del lato ovest del rilevato stradale con la posa in opera di massi ciclopici a sostegno e contenimento della scarpata che collega la quota del manto stradale al piano campagna circostante. Sul lato est del rilevato, non interessato da dissesti, si prevede comunque la realizzazione di interventi locali di bioingegneria, finalizzati all’implemento delle condizioni di stabilità della scarpata.

La parte sommitale dell’intero rilevato, al di sotto del manto stradale, è previsto sia interessato dalla posa in opera di un nuovo orizzonte in stabilizzato debitamente rullato funzionale ad uniformare le qualità portanti dell’ammasso sottostante, come detto, solamente in parte di nuova realizzazione.

Per la presa visione dei dettagli costruttivi si rimanda alla consultazione degli Elaborati Progettuali ai quali la presente si allega.

1b - Inquadramento geomorfologico

Dal punto di vista morfologico l’area di studio si ubica sul bordo meridionale della spianata riferibile agli episodi alluvionali legati alla dinamica fluviale dell’Arno e dei suoi affluenti, ed alle opere di colmatazione di origine antropica; più precisamente ci troviamo in corrispondenza della zona di transizione tra il dominio della “Pianura di Pisa” ed il complesso delle formazioni terrazzate pleistoceniche originatesi in seguito alle variazioni eustatiche del livello del mare, delle quali si rinvencono sporadici “lembi” in corrispondenza delle porzioni di territorio morfologicamente più elevate.

In particolare, l’area in studio ricade alla base dei rilievi collinari che dall’abitato di Nugola degradano in direzione nord verso la frazione di Mortaiolo.

Dalla consultazione della Carta Geomorfologica del Piano Strutturale (stralcio in **Tav. 2**), la porzione di territorio nell'ambito della quale ricade l'area in studio non presenta elementi morfologici degni di nota entro un intorno significativo.

Precisiamo che i dissesti rilevati sul tratto stradale in oggetto sono conseguenti ad eventi meteorici di estrema intensità che hanno interessato diversi Comuni nella Provincia di Livorno, avvenuti nella notte compresa tra il 2 ed il 3 novembre u.s. che hanno provocato, nel caso specifico, fenomeni di erosione concentrata in corrispondenza delle banchine/scarpate stradali, in particolare sul lato orientale del tratto stradale in oggetto, con conseguenti cedimenti sia del manto che del rilevato stradale.

1c - Geologia generale dell'area

La geologia della zona è evidenziata nello stralcio della Carta Geologica del Piano Strutturale vigente riportato in **Tav. 3**.

La zona in studio è caratterizzata dall'affioramento, nell'estrema porzione meridionale, di un lembo residuale della formazione delle "*Sabbie e limi di Vicarello - q11*" del Pleistocene Superiore che rappresentano sedimenti di origine continentale (eolica) costituita da alternanze di limi/limi argillosi con orizzonti di sabbie molto fini. La restante porzione, fino all'intersezione con la S.P. 555 "*Delle Colline*", è altresì caratterizzata dall'affioramento di litologie riconducibili alla formazione delle "*Alluvioni - a*" di età Olocenica, costituita principalmente da sedimenti limo argillosi di potenza modesta, al massimo di alcune decine di metri.

1d - Idrologia, idrogeologia

Per quanto concerne l'*aspetto idrologico*, a breve distanza dal limite settentrionale del tratto stradale oggetto di studio si rileva la confluenza del Fosso La Tanna nel Torrente Tora; tali corsi d'acqua rappresentano gli assi drenanti principali di un significativo intorno raccogliendo tutte le pertinenze idriche minori derivanti anche dalle fossette campestri che si rilevano al contorno dell'area d'interesse.

Dal punto di vista *idrogeologico*, dalla consultazione della Carta Idrogeologica del Piano Strutturale (si veda **Tav. 4**), si evince che la formazione affiorante è caratterizzata da un grado di *permeabilità primaria bassa (PpB)*, in relazione alla natura prevalentemente limo argillosa dei depositi in affioramento; si può asserire che è presente una modesta

circolazione idrica sotterranea che ha sede nelle formazioni alluvionali e palustri, i cui contributi provengono principalmente da fenomeni di interscambio con il reticolo idrico superficiale ed ingressione di acqua marina, mentre nelle formazioni più limose e argillose, relativamente meno permeabili, la presenza di acqua di saturazione è da attribuire a fenomeni di imbibizione e capillarità.

In fase di esecuzione delle prove penetrometriche, corrispondenti a condizioni di medio-alta ricarica del sistema (17 novembre 2023), non è stata rilevata circolazione idrica sotterranea fino alla massima profondità investigata (10,00 m dal p.c.).

Considerando la natura dell'intervento previsto, non sono da prevedersi possibili interazioni con la circolazione idrica sotterranea.

2 - INDAGINI GEOGNOSTICHE

2a - Indagini a disposizione

L'intervento in progetto, consistente nel ripristino di un tratto stradale conseguente dissesti innescati da eventi meteorici estremi, non presenta caratteristiche costruttive alle quali può essere associato un volume lordo quantificabile; pertanto, si ritiene l'intervento riconducibile al punto 8 del Paragrafo 3 dell'Allegato 1 al D.P.G.R. 1/R/2022 *"Per le opere non inquadrabili nelle opere a volume, per le quali sono previste classi d'indagine, si dovrà tener conto della significatività in merito all'interazione terreno-struttura ai fini del dimensionamento strutturale. Nei soli casi in cui tale significatività sia considerata modesta, possono essere sufficienti l'utilizzo di indagini esistenti nello stesso contesto geologico"*.

Data comunque l'assenza di dati diretti nel contesto della ristretta area in studio, per la caratterizzazione geologico-geotecnica e sismica dei terreni in data 17 novembre 2023 è stata condotta una specifica campagna geognostica articolata in:

- n.1 prova penetrometrica dinamica superpesante (DPSH1) i cui elaborati sono consultabili in **Allegato 1**;
- n.3 prove penetrometriche statiche (CPT2- CPT3- CPT3) i cui elaborati sono consultabili in **Allegato 1**.
- n. 1 indagine sismica MASW la cui relazione tecnica è consultabile in **Allegato 2**.

L'ubicazione delle indagini nell'ambito del lotto d'intervento è visibile nelle seguenti **Immagini 1 e 2**.

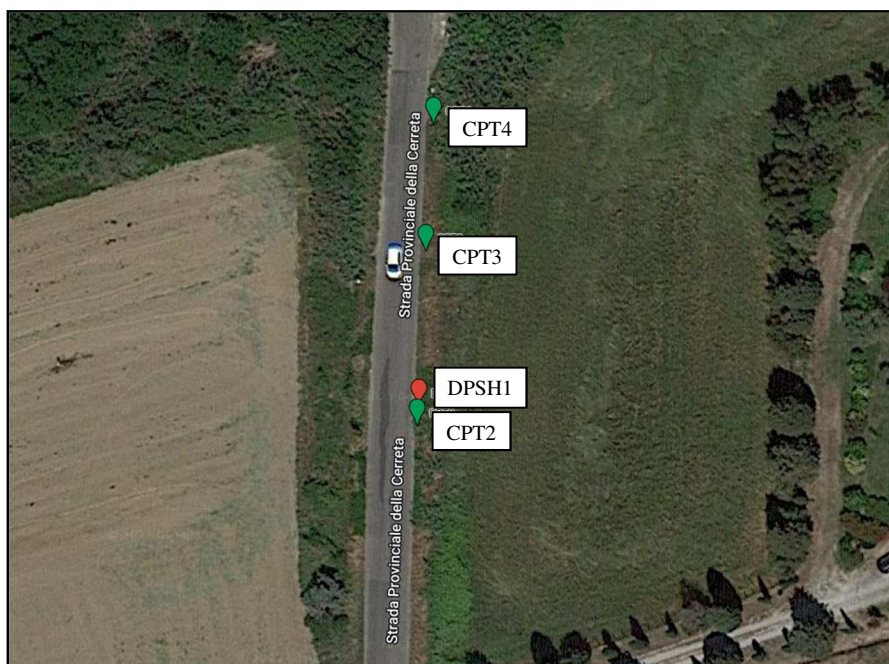


Immagine 1: Ubicazione prove penetrometriche



Immagine 2: Ubicazione indagine sismica MASW

2b - Amplificazione sismica locale

Il sistema di classificazione attualmente in vigore, secondo le “Norme Tecniche per le Costruzioni” (2018), prevede la suddivisione in diverse categorie di sottosuolo sulla base della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, definita dall’espressione:

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

dove:

h_i = spessore dell’i-esimo strato;

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio dell’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.

Nel caso di situazioni 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.

Le categorie di sottosuolo sono di seguito riportate:

Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo di 3 m;

Categoria B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 e 800 m/sec;

Categoria C: Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine 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 e 360 m/sec;

Categoria D: Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine 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/sec;

Categoria E: Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per l'attribuzione della categoria di sottosuolo, si considerano gli esiti dell'indagine sismica MASW specificatamente eseguita, descritta nella precedente sezione.

Da tale indagine, il cui report tecnico è consultabile in **Allegato 1**, risulta che il substrato con $V_s > 800$ m/sec è ubicato ad una profondità superiore a 30 metri dal piano campagna ed il corrispondente valore delle V_{seq} ($\equiv V_{s,30}$) pari a **260 m/sec**, permette di attribuire ai terreni oggetto di studio la **Categoria C**.

3 - CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

3a - Modello stratigrafico di dettaglio e caratterizzazione geotecnica

La caratterizzazione geologico-tecnica dell'area in studio si è avvalsa dei risultati della campagna geognostica eseguita che, come anticipato nella *Sezione 2a*, si è articolata in n.4 prove penetrometriche eseguite sul lato orientale del tratto stradale oggetto di studio, delle quali n.1 eseguita in assetto dinamico superpesante (DPSH) e n.3 in assetto statico (CPT). Pur riconoscendo che per la natura degli orizzonti rilevati, di natura sostanzialmente limo-argillosa con grado di consistenza crescente con la profondità, risultano maggiormente significativi i risultati rilevati dalle prove CPT piuttosto che dalla DPSH in quanto meno influenzati dall'attrito laterale esercitato sulle aste, si rileva una buona corrispondenza tra le caratteristiche di resistenza rilevate dalle prove nel loro complesso.

Da rilevare che la prova CPT 4, eseguita nella porzione settentrionale del tratto stradale oggetto di studio, ha restituito valori di resistenza e natura dei terreni riferiti al primo orizzonte leggermente differenti rispetto alle altre prove eseguite. Tale evidenza si ritiene sia connessa al fatto che, per la presenza in quel tratto di sottoservizi non presenti nella parte meridionale della stessa banchina stradale, la CPT 4 è stata realizzata in posizione più distante dal manto stradale rispetto alle altre, quindi nella parte del rilevato nel quale non è presente il sottofondo in stabilizzato.

Per quanto sopra, di seguito vengono forniti n.2 modelli geologico-geotecnici, dei quali n.1 da ritenersi di riferimento per la porzione del tratto stradale oggetto di studio in corrispondenza della quale sono state eseguite le n.3 prove DPSH1, CPT2 e CPT3 e n.1 da considerare di riferimento per la porzione settentrionale del tratto stradale oggetto di studio in corrispondenza del quale è stata eseguita la prova CPT4.

Modello geologico-tecnico prove DPSH1, CPT2 e CPT3

Da p.c. a - 0,80/1,00 m da p.c.: coltre superficiale sabbiosa con inclusi di origine antropica (sottofondo stradale) – *Orizzonte Zero*:

$$\gamma = 1400 - 1500 \text{ kg/m}^3 \quad \phi' = 28 - 30^\circ \quad c_u = 1,00 - 2,00 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_d = 88 - 102 \text{ kg/cm}^2;$$

da - 0,80/1,00 m a - 4,20/4,40 m da p.c.: limi argillosi poco consistenti – *Orizzonte 1*:

$$\gamma = 1700 - 1800 \text{ kg/m}^3 \quad \phi' = 26 - 27^\circ \quad c_u = 0,55 - 0,70 \text{ kg/cm}^2$$

$$E_d = 27 - 28 \text{ kg/cm}^2;$$

da - 4,20/4,40 m a - 8,40/9,00 m da p.c.: limi argillosi/argille limose mediamente consistenti – *Orizzonte 2*:

$$\gamma = 1800 - 1900 \text{ kg/m}^3 \quad \phi' = 27^\circ \quad c_u = 1,30 - 1,40 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ed = 42 - 44 \text{ kg/cm}^2;$$

oltre - 8,40/9,00 m da p.c.: argille sabbiose e sabbie argillose consistenti – *Orizzonte 3*:

$$\gamma = 1900 - 2000 \text{ kg/m}^3 \quad \phi' = 32^\circ \quad c_u = 3,50 - 4,60 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ed = 125 - 130 \text{ kg/cm}^2.$$

Modello geologico-tecnico prova CPT4

Da p.c. a - 1,80 m da p.c.: coltre superficiale limo argillosa priva di consistenza – *Orizzonte Zero*:

$$\gamma = 1400 - 1500 \text{ kg/m}^3 \quad \phi' = 21 - 26^\circ \quad c_u = 0,28 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ed = 13 \text{ kg/cm}^2;$$

da - 1,80 m a - 5,80 m da p.c.: limi argillosi poco consistenti – *Orizzonte 1*:

$$\gamma = 1700 - 1800 \text{ kg/m}^3 \quad \phi' = 26 - 27^\circ \quad c_u = 0,55 - 0,70 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ed = 27 - 28 \text{ kg/cm}^2;$$

da - 5,80 m a - 8,20 m da p.c.: limi argillosi/argille limose mediamente consistenti – *Orizzonte 2*:

$$\gamma = 1800 - 1900 \text{ kg/m}^3 \quad \phi' = 27 - 28^\circ \quad c_u = 1,30 - 1,40 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ed = 42 - 44 \text{ kg/cm}^2;$$

oltre - 8,20 m da p.c.: argille sabbiose e sabbie argillose consistenti – *Orizzonte 3*:

$$\gamma = 1900 - 2000 \text{ kg/m}^3 \quad \phi' = 32^\circ \quad c_u = 3,50 - 4,60 \text{ kg/cm}^2$$

$$Ed = 125 - 130 \text{ kg/cm}^2.$$

4 - PERICOLOSITA' E FATTIBILITA' GEOLOGICO-TECNICA

4a - Valutazione delle Pericolosità

4a.1 - Pericolosità geomorfologica

Dal punto di vista della *pericolosità geomorfologica*, secondo la cartografia di corredo al Piano Strutturale vigente consultabile in stralcio in **Tav. 5**, l'area in studio ricade quasi interamente in **classe G.1 "Bassa"** che *"Comprende le aree di pianura e collinari in cui i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture e clivometriche ($\leq 15\%$) non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di movimenti gravitativi"*.

Esclusivamente l'ultimo tratto settentrionale in corrispondenza dell'intersezione con la S.P. 555 "Delle Colline" che ricade in **classe G.2a "Medio-bassa"** che, nel caso specifico, *"Comprende le aree di pianura con sottosuolo eterogeneo e con caratteristiche geotecniche da medio-basse a scadenti [...]. Costituiscono aree con elementi geomorfologici, litologici, giaciture e clivometrici dalle cui valutazioni risulta una bassa propensione al dissesto gravitativo e statico."*, azionamenti sostanzialmente confermati anche nella Carta di Pericolosità Geologica del Piano Strutturale adottato con D.C.C. 25 del 15-02-2021 (stralcio in **Tav. 5**).

4a.2 - Pericolosità idraulica

Dalla consultazione della carta di pericolosità da alluvione fluviale del vigente Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Appennino Settentrionale (approvato con D.P.C.M. 27 ottobre 2016), di cui un estratto è visibile in **Tav. 6**, l'area in esame non è soggetta a particolari vincoli in quanto ricade classe P1 (bassa) ovvero al di fuori degli ambiti di pericolosità idraulica per i quali sono previsti condizionamenti per il progetto in esame.

Nella Carta di Pericolosità Idraulica del Piano Strutturale adottato con D.C.C. 25 del 15-02-2021 (**Tav. 6**) il tratto stradale oggetto d'intervento ricade al di fuori degli ambiti di pericolosità idraulica; da rilevare esclusivamente che la porzione di territorio adiacente alla banchina orientale rientra in classe P2 (media - alluvioni poco frequenti con Tempi di ritorno maggiori di 30 anni e/o minori/uguali di 200 anni).

4a.3 - Pericolosità sismica locale

Allo stato attuale il Comune di Collesalvetti è azzonato in zona **3** ai sensi del D.G.R.T. n.878 del 08/10/2012, classificazione approvata ufficialmente dal D.G.R.T. n. 421 del 26/05/2014.

Nella carta di Pericolosità Sismica del Piano Strutturale vigente, l'area in esame ricade al di fuori delle porzioni di territorio per le quali sono state definite specifiche condizioni di pericolosità sismica.

Nel contesto della Carta della Pericolosità Sismica del Piano Strutturale adottato con D.C.C. 25 del 15-02-2021, redatta ai sensi del vigente D.P.G.R. 5/R/2020 e consultabile in stralcio in **Tav. 7**, l'area in studio ricade in classe di **pericolosità sismica S.2 “Media”** che, nel caso specifico, identifica *“zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, non rientranti tra quelli previsti nelle classi di pericolosità sismica S.3.”*.

4b - Fattibilità geologico tecnica

4b.1 - Fattibilità geomorfologica

Per quanto concerne l'**aspetto geomorfologico**, precisiamo che nell'area di studio è stata specificatamente eseguita una campagna geognostica che ha permesso la definizione delle caratteristiche litostratigrafiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche sito specifiche.

Agli esiti della suddetta caratterizzazione, è stato possibile definire il modello geologico-geotecnico di dettaglio sulla base del quale i Tecnici Progettisti hanno provveduto alla progettazione di interventi tali da rispondere alla buona pratica costruttiva ed ai requisiti richiesti dalla normativa vigente in materia, per la consultazione delle quali si rimanda agli Elaborati Progettuali ai quali la presente si allega.

Si ritiene pertanto di poter attribuire al progetto oggetto di valutazione la condizioni di **Fattibilità geomorfologica F.G.2 “con normali vincoli”**.

4b.2 - Fattibilità idraulica

Dal **punto di vista idraulico**, analizzando la cartografia del PGRA e la cartografia del Piano Strutturale adottato (**Tav. 6**), l'area di stretto intervento ricade al di fuori degli ambiti di pericolosità idraulica per i quali sono previsti condizionamenti per lo specifico caso; a tal proposito, si ritiene di poter attribuire al progetto oggetto di valutazione condizioni di **Fattibilità idraulica F.G.2 “con normali vincoli”**.

4b.3 - Fattibilità sismica

Secondo quanto disposto dal D.G.R.T. 5/R/2020, nelle situazioni caratterizzate da *pericolosità sismica S2 "Media"*, condizione derivante dall'analisi della Carta di Pericolosità Sismica del Piano Strutturale adottato con D.C.C. 25 del 15-02-2021, non sono indicate particolari condizionamenti per la fase attuativa degli interventi edilizi.

Considerando inoltre che l'indagine sismica MASW specificatamente eseguita ha permesso di definire con buon grado di attendibilità le velocità dei vari litotipi che caratterizzano anche l'area in studio, portando ad attribuire ai terreni in studio la Categoria C, si ritiene di poter attribuire all'intervento in progetto condizioni di ***Fattibilità sismica F.S.2 "con normali vincoli"***.

5 - CONCLUSIONI

In base alle informazioni derivanti dai dati a disposizione per la valutazione degli aspetti geologici, idrogeologici, idraulici, sismici e di caratterizzazione geotecnica, si ritiene di poter affermare che il progetto per la ricostruzione del tratto stradale in oggetto risulti fattibile in ordine agli aspetti geomorfologici, idraulici e sismici, non riscontrando alcuna condizione inibente.

Si ritiene inoltre che le informazioni a disposizione derivanti dalle indagini eseguite abbiano permesso di definire con buona affidabilità il modello geologico-geotecnico e sismico sito specifico in relazione al tipo d'intervento previsto, in pieno rispetto dei dettami imposti dal vigente D.P.G.R. 1/R/2022.

Dott. Geol. Carlo Rafanelli
n.1309 Ord. Reg. Toscano



Carta di inquadramento topografico



Scala 1:10.000

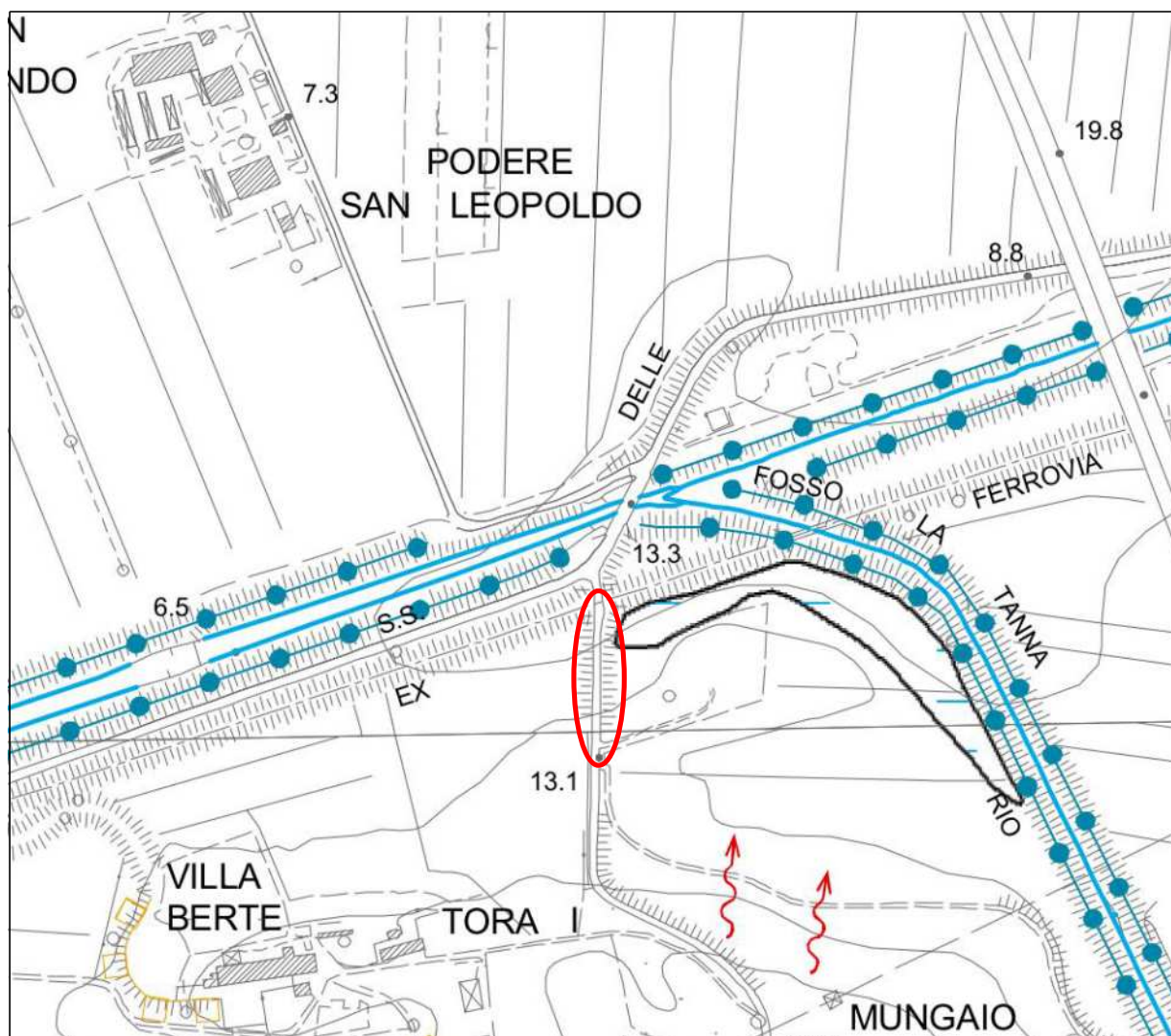
Legenda



Ubicazione dell'area di studio

Carta Geomorfologica

estratto della cartografia di Piano Strutturale



Scala 1:5.000

Legenda



Area in studio

Ciglio di scarpata di terrazzo

Idrografia superficiale

Zone soggette a ristagno prolungato (stagno, acquitrino, area umida)

Invaso artificiale

Lago scavato o chiaro

Corso d'acqua perenne

Argine

Processi fluviali e di dilavamento

Alveo con erosione laterale o sponda in erosione

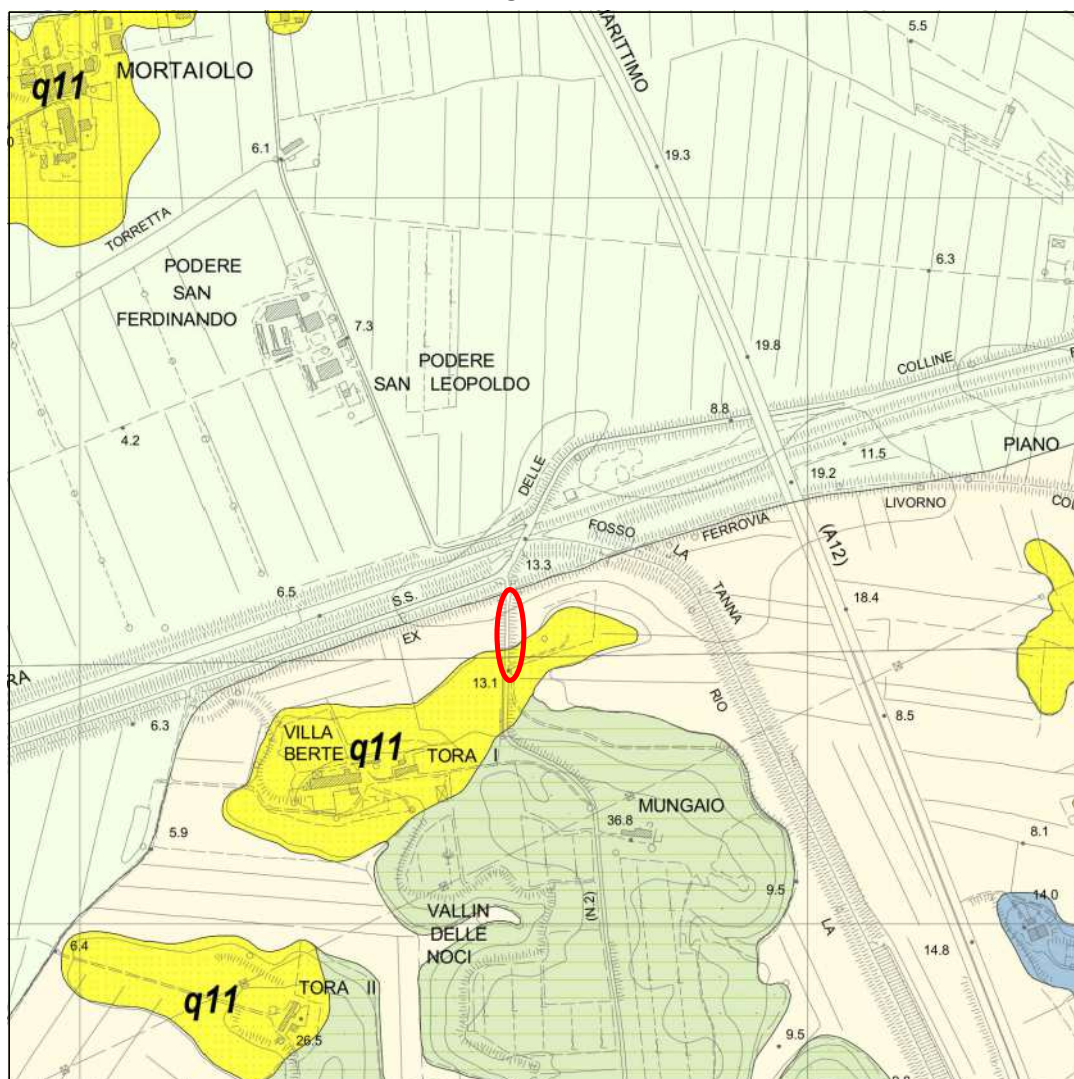
Ruscellamento concentrato

Alveo in approfondimento

Erosione per dilavamento diffuso/concentrato

Carta Geologica

estratto della cartografia di Piano Strutturale



Scala 1:10.000

Legenda

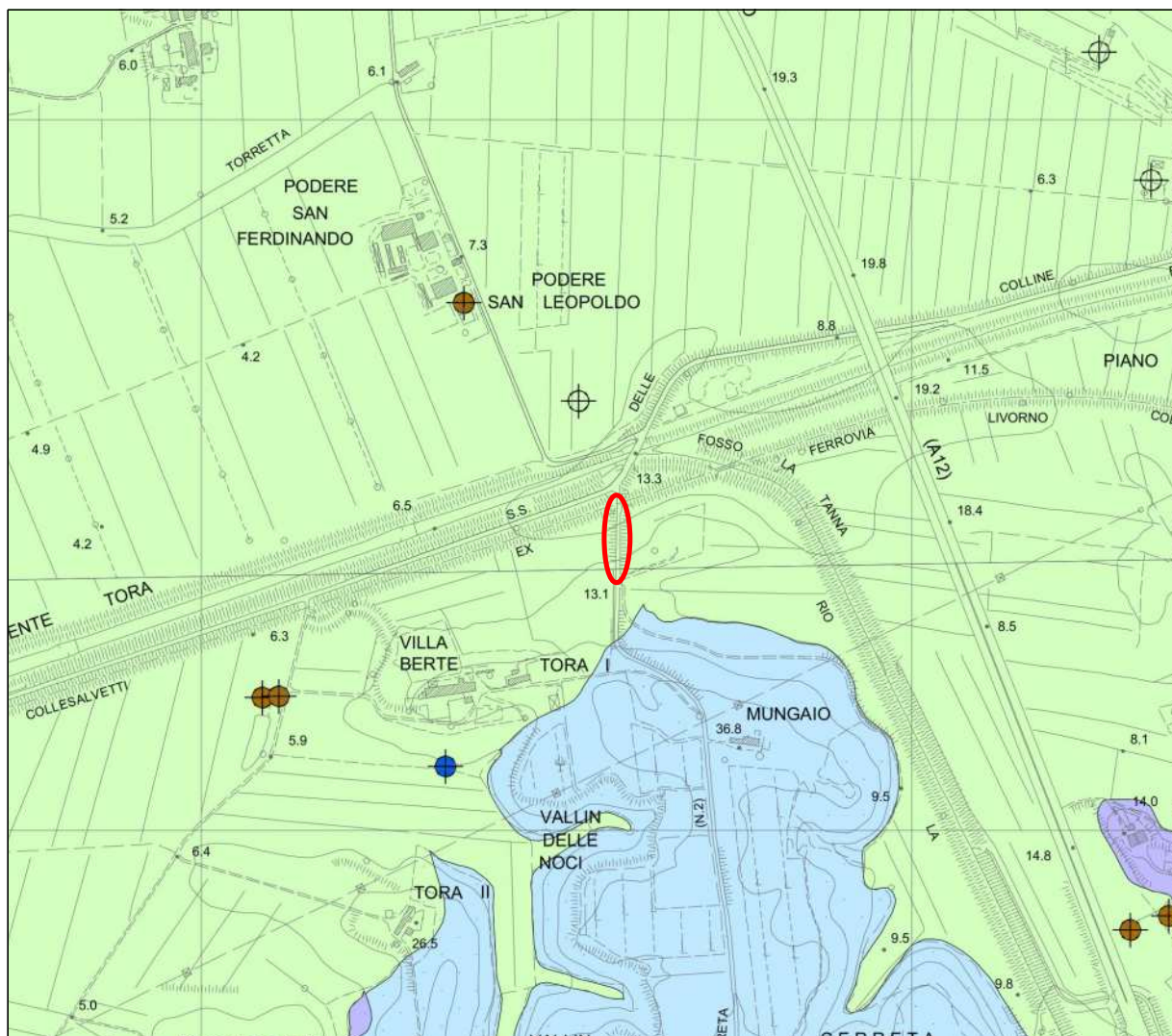
 Area in studio

COMPLESSO NEOAUTOCTONO

-  r - Coltri antropiche di riempimento/ riporto/ discarica (Attuale)
-  d - Detriti di frana e di versante (Olocene-Attuale)
-  t - Sedimenti palustri, alluvionali e di colmata (Olocene)
-  a - Alluvioni (Olocene - Attuale)
-  at - Alluvioni terrazzate (Pleistocene sup.)
-  q11 - Sabbie e limi di Vicarello (Pleistocene sup.)
-  q9 - Sabbie di Ardenza (Pleistocene sup.)
-  q8 - Conglomerati di S. Stefano (Pleistocene sup.)
-  q6 - Conglomerati, sabbie e limi di Casa Poggio ai Lecci (Pleistocene medio)
-  q3 - Sabbie di Nugola Vecchia (Pleistocene inf.)

Carta Idrogeologica

estratto della cartografia di Piano Strutturale



Scala 1:10.000

Legenda



Area in studio

CLASSE 1 - PERMEABILITA' PRIMARIA (per porosità) - Pp

	PpA - ALTA (p3, q3, p4)
	PpM - MEDIA (t**, q8, q6, q9)
	PpB - BASSA (t*, q2, q11, a, at)
	PpBs - MOLTO BASSA (p, m5, m6)

CLASSE 2 - PERMEABILITA' MISTA - Pm

	PmM - MEDIO-ALTA (m, m3, m4, m8)
	PmB - BASSA (c7, pc2)
	PmBs - MOLTO BASSA (c2, c5a, c6)

CLASSE 3 - PERMEABILITA' SECONDARIA (per fratturazione) - Ps

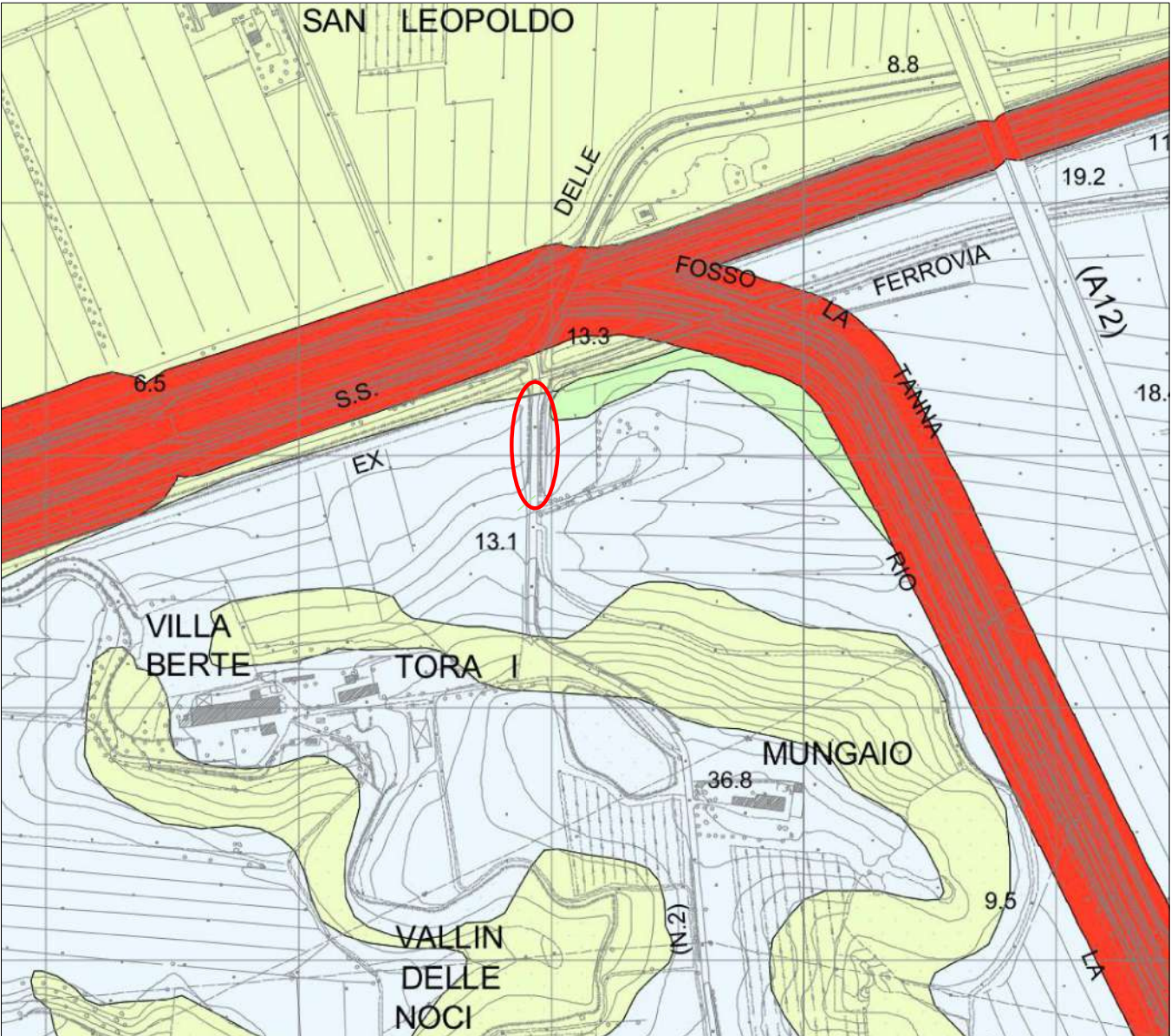
	PsM - MEDIA (G, E)
	PsB - BASSA (m7)

CLASSE 4 - PERMEABILITA' PRIMARIA IN AMMASSI DETRITICI - DPp

	DPpM - MEDIA (d, r)
	DPpB - BASSA / MOLTO BASSA (d)

Carta della Pericolosità Geomorfologica

Estratto della cartografia P.S. vigente



scala 1:5.000

Legenda

Area in studio

CLASSE 1 - PERICOLOSITA' BASSA (G1)



CLASSE 2- PERICOLOSITA' MEDIA (G2)

Sottoclasse 2a : Pericolosità medio-bassa



Sottoclasse 2a : Pericolosità medio-elevata



CLASSE 3 - PERICOLOSITA' ELEVATA (G3)

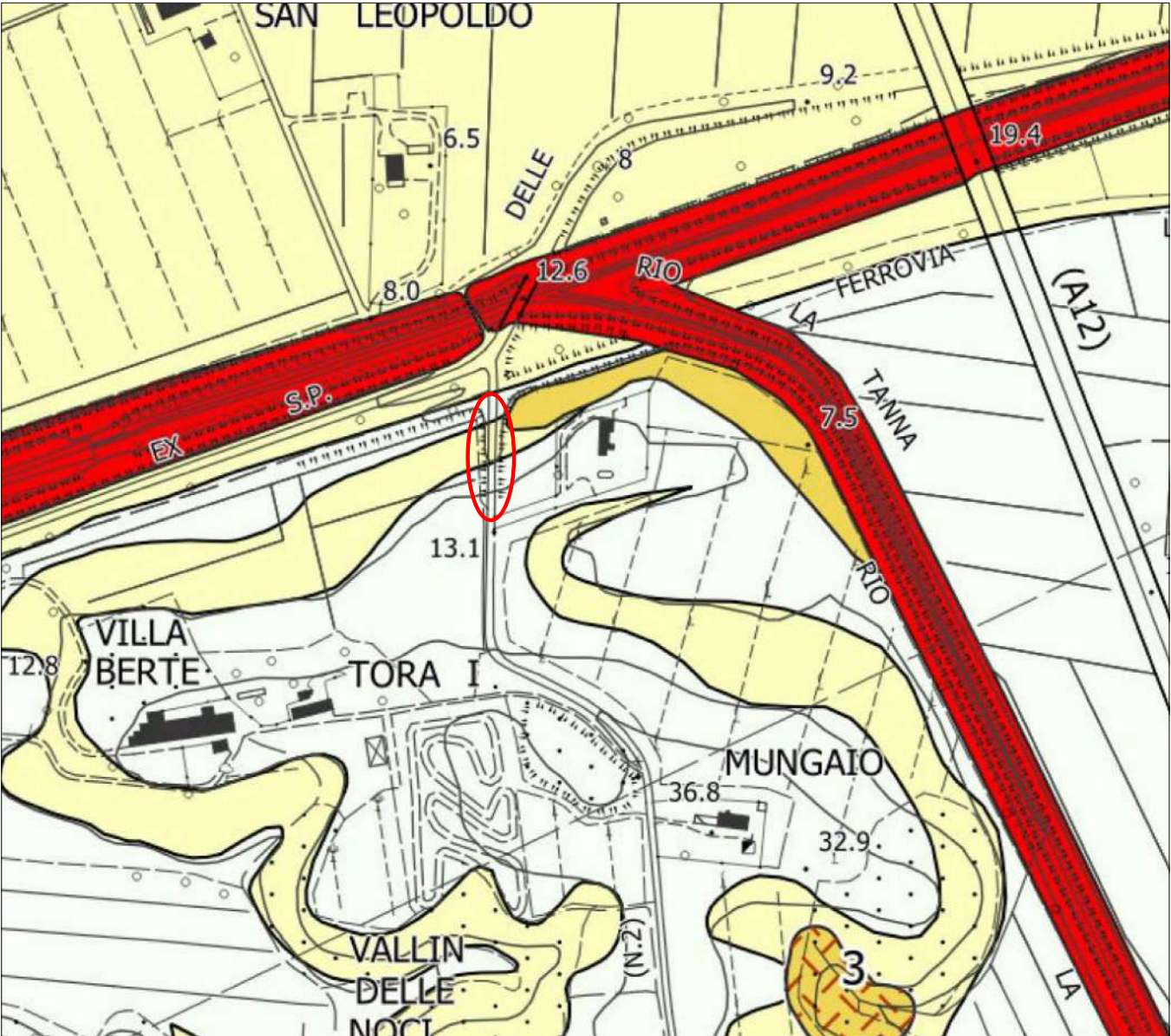


CLASSE 4 - PERICOLOSITA' ELEVATA (G4)



Carta della Pericolosità Geologica

Estratto della cartografia P.S. adottato



scala 1:5.000

Legenda

Area in studio

Pericolosità molto elevata (G.4) - PAI

Pericolosità molto elevata (G.4)

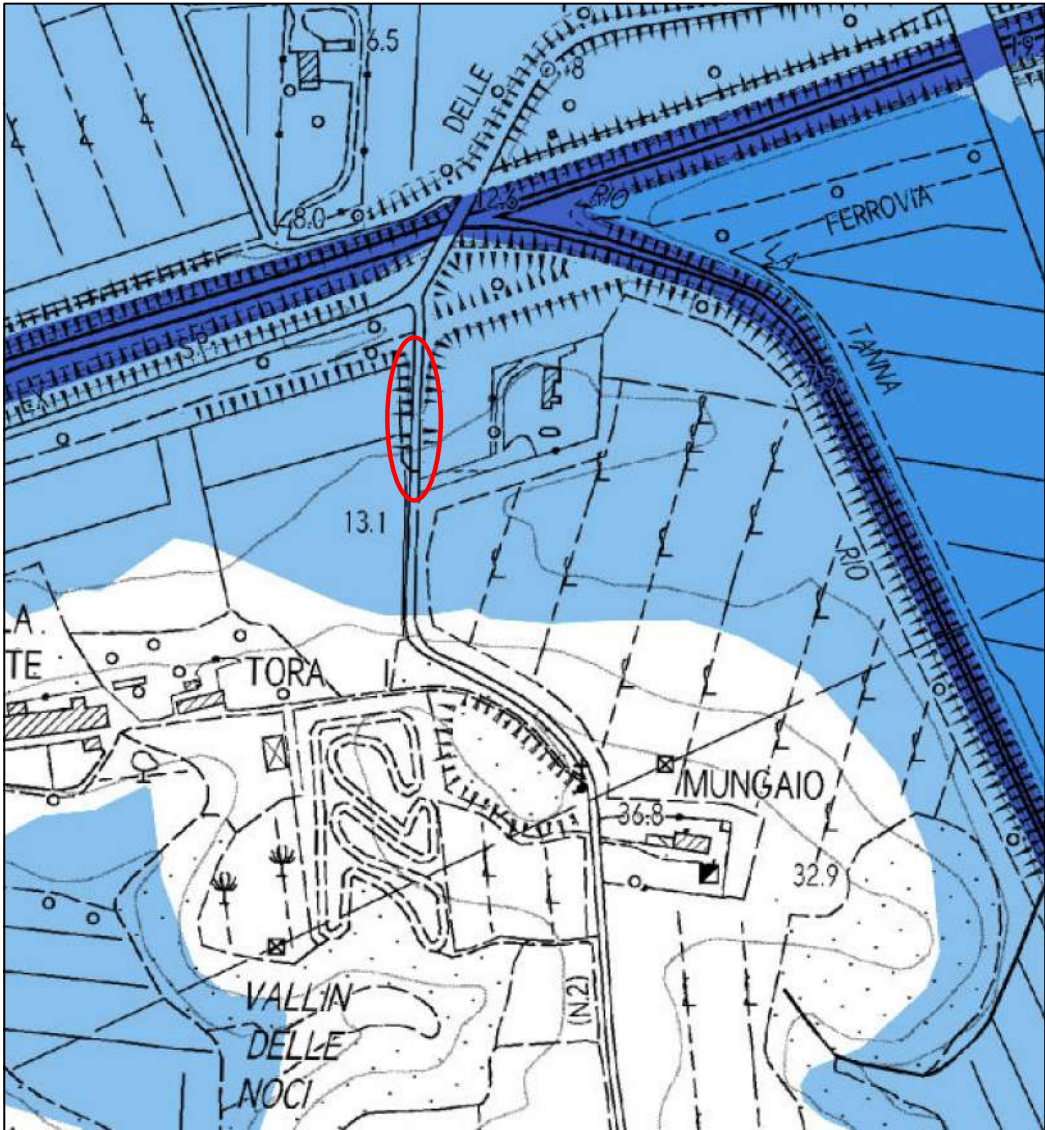
Pericolosità elevata (G.3) - PAI

Pericolosità elevata (G.3)

Pericolosità media (G.2) - PAI

Pericolosità bassa (G.1)

Carta del PGRA Distretto Appennino Settentrionale
approvato con D.P.C.M. 27 ottobre 2016



Scala 1:5.000

Legenda



Area in studio



P1 - Pericolosità bassa

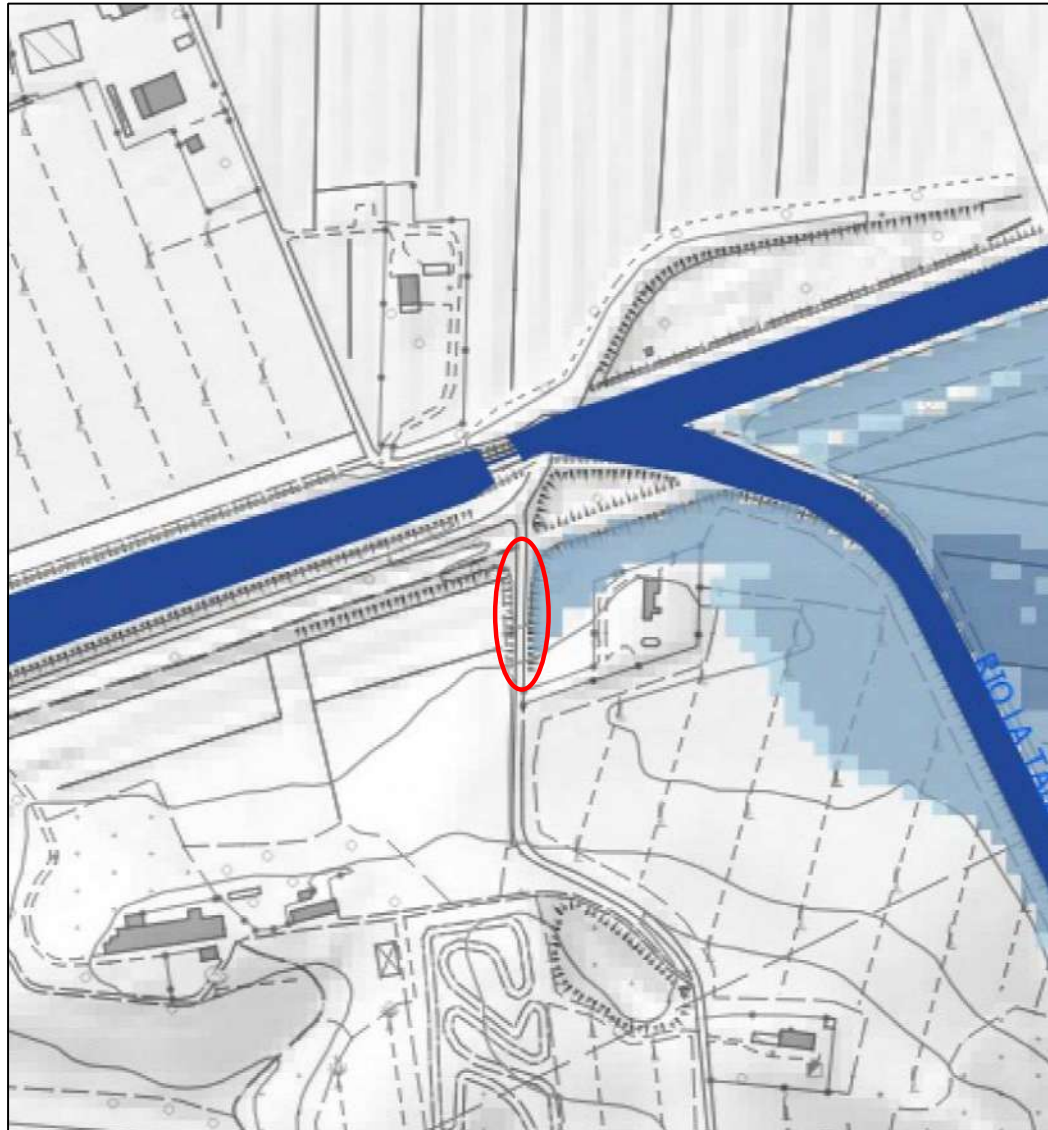


P2 - Pericolosità media



P3 - Pericolosità elevata

Carta della Pericolosità Idraulica
estratto della cartografia di piano strutturale adottato



Scala 1:5.000

Legenda

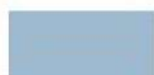


Area in studio

Pericolosità idraulica:



P1



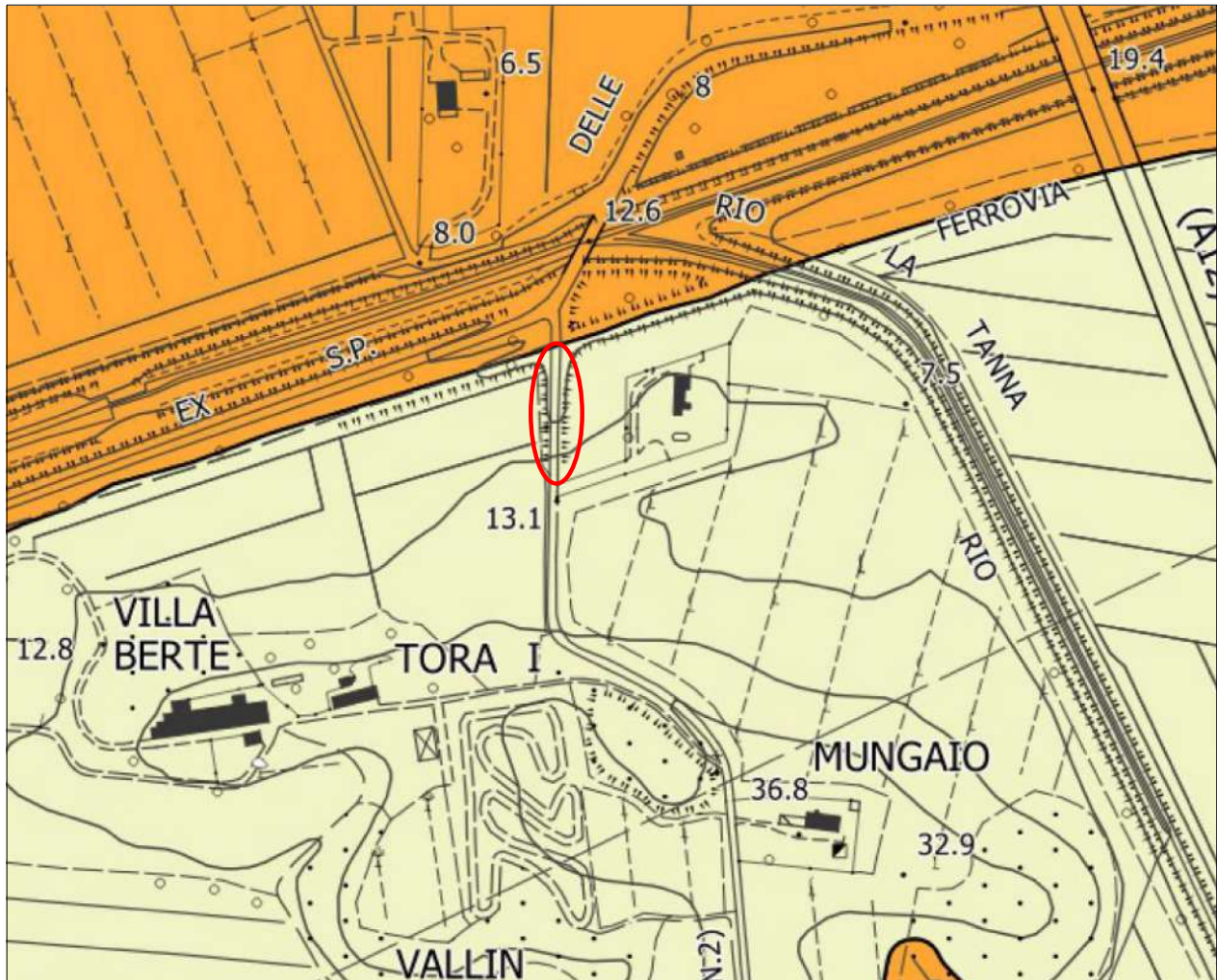
P2



P3

Carta della Pericolosità Sismica

Estratto della cartografia P.S. adottato



scala 1:5.000

Legenda

 Area in studio

Pericolosità sismica locale

-  Pericolosità media (S.2)
-  Pericolosità elevata (S.3)
-  Pericolosità molto elevata (S.4)

Allegato 1

Campagna di indagine

Prove penetrometriche statiche/dinamiche

CAMPAGNA DI INDAGINE

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE/DINAMICHE

Committente	Provincia di Livorno
Località	Strada provinciale della Cerreta – Guasticce (LI)
Data	17/11/2023
N° di prove	4
Rif. N°	89/23
Intervento	Somma urgenza rifacimento strada



UBICAZIONE INDAGINI E COORDINATE GEOGRAFICHE

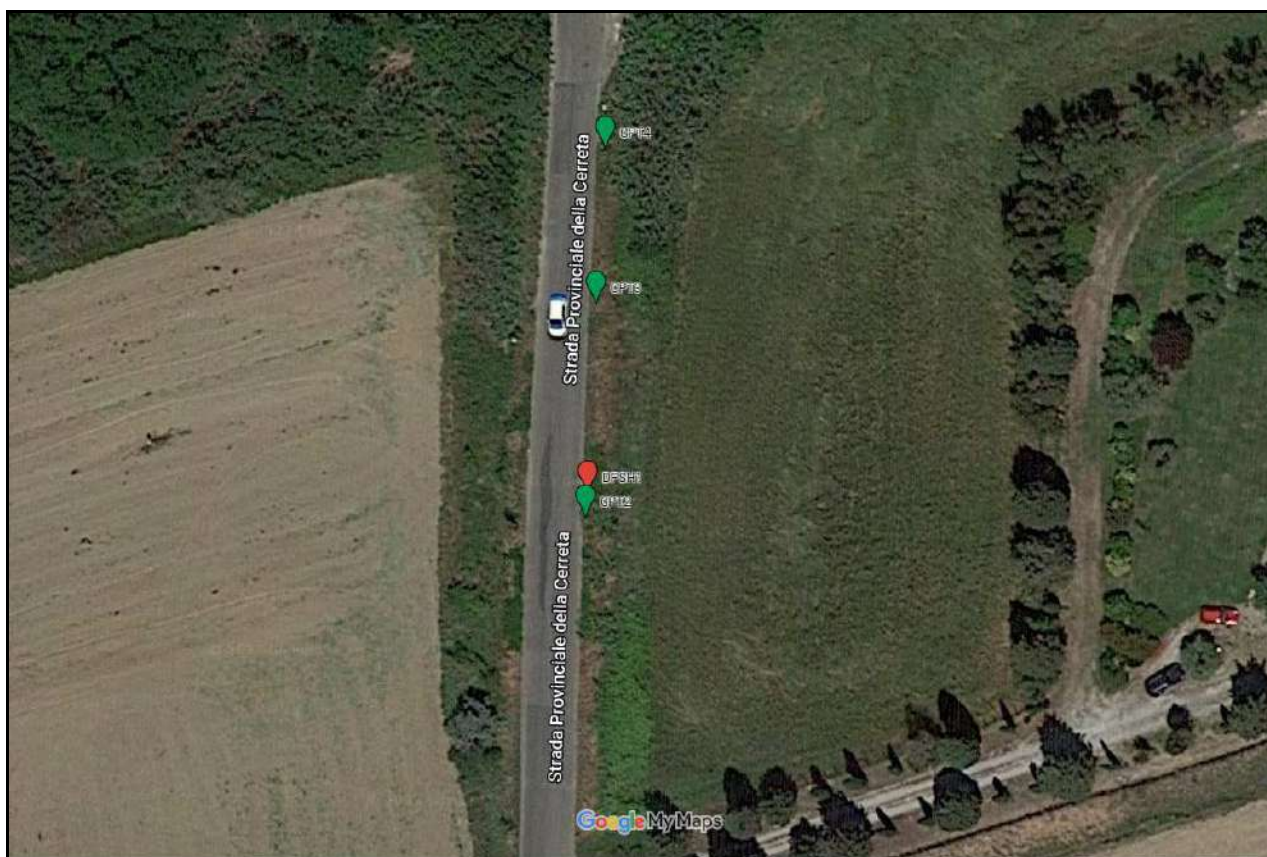


Immagine aerea Google Maps

	X (LONG)	Y (LAT)
DPSH1	10.4441611	43.5993191
CPT2	10.4441585	43.5992968
CPT3	10.4441719	43.5994949
CPT4	10.4441839	43.5996377

Coordinate geografiche

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH

Committente	Dott. Geol. Giorgio Bianchi
Località	Strada provinciale della Cerreta – Guasticce (LI)
Data	17/11/2023
N° di prove	1
Rif. N°	89/23
Intervento	Somma urgenza rifacimento strada

Strumentazione utilizzata	TG-63 200 EML. Pagani (DPSH-B)
----------------------------------	--------------------------------

CARATTERISTICHE TECNICHE	
Rif. Norme	ISSMFE (1988)
	EN ISO 22476-2-2003
Peso massa battente	63,5 Kg
Altezza caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	< 30 Kg
Diametro punta conica	50,5 mm
Area di base punta conica	20,43 cm ²
Angolo apertura punta	90°
Lunghezza aste	1,0 m
Peso aste/metro	6,0 Kg

Passo di avanzamento	0,2 m
Energia specifica per colpo (Q)	11,65 kg/cm ²
Coefficiente teorico di energia (βt)	1,489

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

Committente	Dott. Geol. Giorgio Bianchi
Località	Strada provinciale della Cerreta – Guasticce (LI)
Data	17/11/2023
N° di prove	3
Rif. N°	89/23
Intervento	Somma urgenza rifacimento strada

Strumentazione utilizzata TG-63 200 kN Pagani

CARATTERISTICHE TECNICHE

Rif. Norme	ASTM D 3441-86
Diametro punta conica meccanica	35,7 mm
Angolo apertura punta	60°
Area di base punta	10 cm ²
Superficie laterale manicotto "Begemann"	150 cm ²
Velocità di avanzamento costante	2 cm/sec
Costante di trasformazione	Ct = 10
Anello allargatore	sì
Sistema di acquisizione	manuale
Passo di avanzamento	0,2 m

Peso aste esterne	6,17 kg/m
Peso aste interne	1,38 kg/m

DPSH 1



Committente	Dott. Geol. Carlo Rafanelli	Profondità prova (m)	10 m
Località	Strada provinciale della Cerreta - Guasticce (LI)	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-1	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/11/2023	Note	

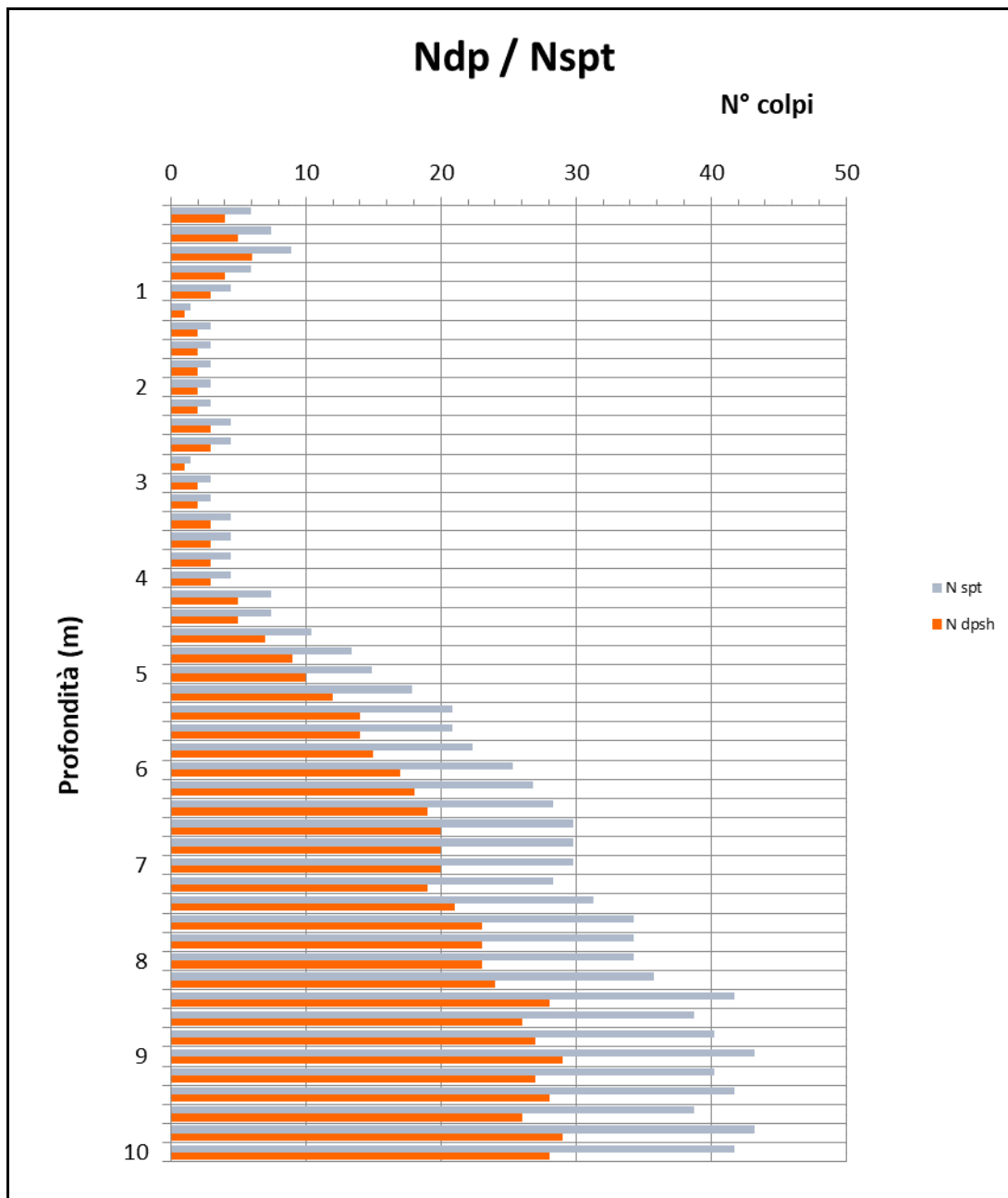
TABELLA RIASSUNTIVA

Profondità	N _{DP}	N _{SPT}	N ₁₍₆₀₎	Granulometria	Dr (%)	φ (°) medio	C _u (kPa)
0.2	4	6.0	10.6	cg	42.0	32.3	74.5
0.4	5	7.4	12.8	cg	46.3	33.4	93.1
0.6	6	8.9	15.0	cg	49.9	34.4	111.7
0.8	4	6.0	9.7	cg	40.3	31.7	74.5
1	3	4.5	7.1	cg	34.5	30.0	55.8
1.2	1	1.5	2.4	cg	19.8	25.5	18.6
1.4	2	3.0	4.5	cg	27.5	27.9	37.2
1.6	2	3.0	4.4	cg	27.2	27.8	37.2
1.8	2	3.0	4.3	cg	26.9	27.7	37.2
2	2	3.0	4.2	cg	26.6	27.6	37.2
2.2	2	3.0	4.2	cg	26.3	27.5	37.2
2.4	3	4.5	6.0	cg	31.7	29.1	55.8
2.6	3	4.5	5.9	cg	31.4	29.0	55.8
2.8	1	1.5	2.0	cg	18.2	24.9	18.6
3	2	3.0	3.8	cg	25.2	27.1	37.2
3.2	2	3.0	3.7	cg	25.0	27.1	37.2
3.4	3	4.5	5.4	cg	30.1	28.6	55.8
3.6	3	4.5	5.3	cg	29.8	28.5	55.8
3.8	3	4.5	5.2	cg	29.5	28.5	55.8
4	3	4.5	5.1	cg	29.2	28.4	55.8
4.2	5	7.4	8.2	cg	37.1	30.7	93.1
4.4	5	7.4	8.1	cg	36.7	30.6	93.1
4.6	7	10.4	11.0	cg	42.8	32.4	130.3
4.8	9	13.4	13.7	cg	47.8	33.8	167.5
5	10	14.9	14.9	cg	49.8	34.4	186.1
5.2	12	17.9	17.4	cg	53.8	35.6	223.4
5.4	14	20.8	19.8	cg	57.4	36.6	260.6
5.6	14	20.8	19.5	cg	56.9	36.5	260.6
5.8	15	22.3	20.4	cg	58.3	36.9	279.2
6	17	25.3	22.6	cg	61.4	37.7	316.4
6.2	18	26.8	23.5	cg	62.5	38.1	335.0
6.4	19	28.3	24.3	cg	63.6	38.4	353.6
6.6	20	29.8	25.1	cg	64.7	38.7	372.3
6.8	20	29.8	24.7	cg	64.1	38.6	372.3
7	20	29.8	24.3	cg	63.6	38.5	372.3
7.2	19	28.3	22.8	cg	61.6	38.0	353.6
7.4	21	31.3	24.7	cg	64.1	38.7	390.9
7.6	23	34.2	26.5	cg	66.4	39.4	428.1
7.8	23	34.2	26.1	cg	65.9	39.3	428.1
8	23	34.2	25.7	cg	65.4	39.2	428.1
8.2	24	35.7	26.3	cg	66.3	39.4	446.7
8.4	28	41.7	30.0	cg	70.7	40.8	521.2
8.6	26	38.7	27.6	cg	67.8	40.0	483.9

8.8	27	40.2	28.2	cg	68.6	40.2	502.5
9	29	43.2	29.7	cg	70.4	40.8	539.8
9.2	27	40.2	27.4	cg	67.6	40.0	502.5
9.4	28	41.7	28.0	cg	68.3	40.2	521.2
9.6	26	38.7	25.8	cg	65.5	39.4	483.9
9.8	29	43.2	28.2	cg	68.5	40.3	539.8
10	28	41.7	26.9	cg	67.0	39.9	521.2
Legenda	N _{DP}	n° colpi della prova DP			Dr%	(Skempton, 1989)	
	N _{SPT}	corrispondente n° di colpi SPT			φ(°)	valore medio dei 4 metodi proposti	
	N ₁₍₆₀₎	N _{SPT} corretto per falda e stato tensionale			Cu (kPa)	(Sanglerat, 1972)	
	Granulometria	"c"= coesivo ; "g"= granulare; "cg"= misto					

Committente	Dott. Geol. Carlo Rafanelli	Profondità prova (m)	10 m
Località	Strada provinciale della Cerreta - Guasticce (LI)	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-1	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/11/2023	Note	

Resistenza alla penetrazione [Ndp/Nspt] - Profondità [m]



Committente	Dott. Geol. Carlo Rafanelli	Profondità prova (m)	10 m
Località	Strada provinciale della Cerreta - Guasticce (LI)	Quota inizio	p.c.
Prova	DPSH-1	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/11/2023	Note	

PARAMETRI GEOTECNICI MEDI DEI VARI LIVELLI

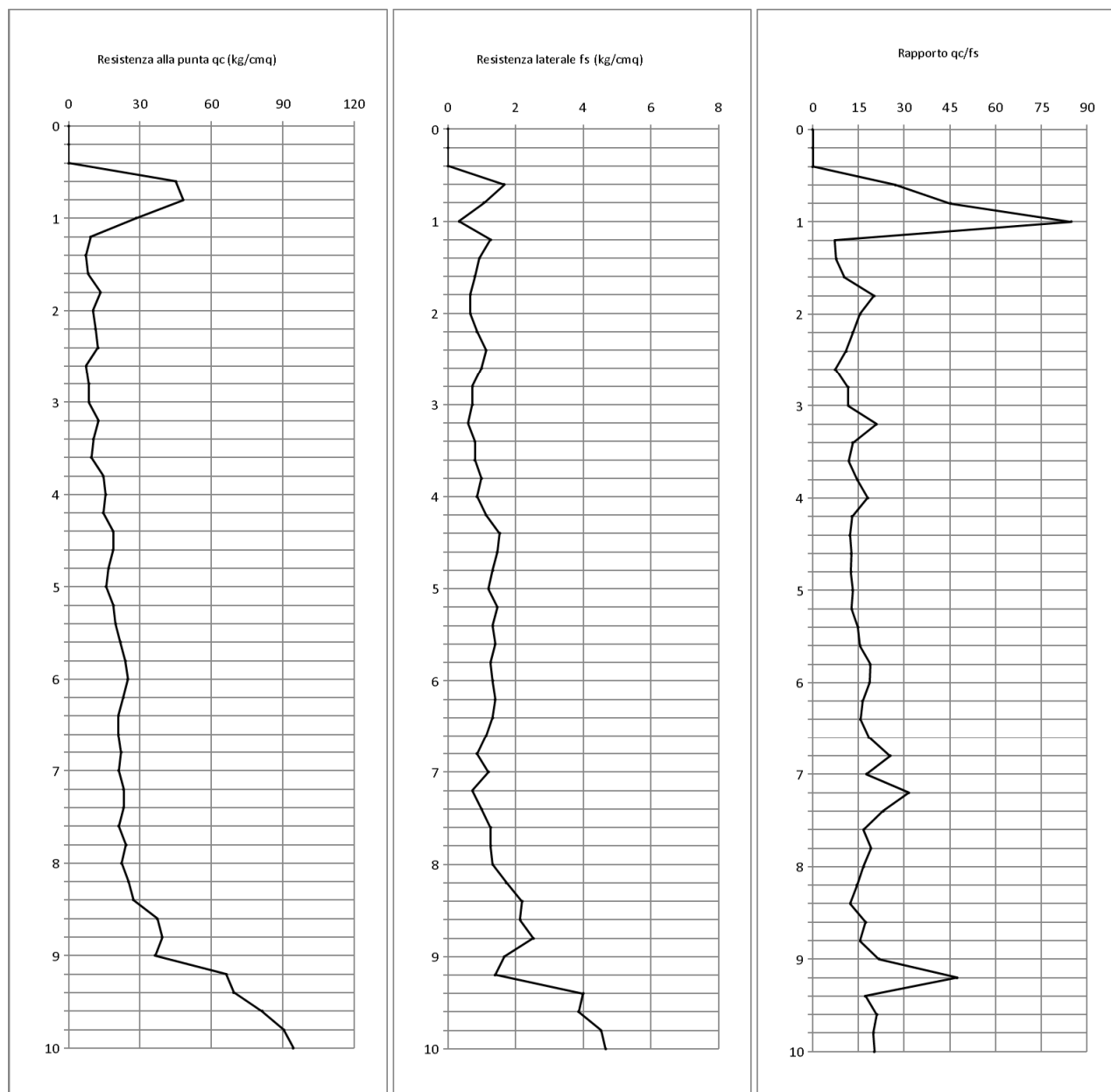
Strato	Intervallo	H strato	Litologia	Nspt *	γ'	Consistenza	Addensamento	Dr %		ϕ (°)				Cu (Kpa)	E coesivi (Mpa)	E granulari (Mpa)	M (Mpa)		OCR
								Terzaghi - Peck	Skempton	Wolff	Hatanaka & Uchida	Muromachi	valore medio	valore medio	Sh. & Fu (1982)	Komornik (1974)	incoerenti	coesivi	
																	Mayne e Frost (1988)	Schultze e Menzenbach (1961)	Mayne e Kemper (1988)
1	0.0 - 0.8	0.8	coltre superficiale sabbiosa con riporti	7.1	18.3	moderatamente consistente	poco addensato	35-65	44.8	30.5	33.6	29.3	31.4	100.5	18.7	28.3	10.0	6.9	5.2
2	0.8 - 4.4	3.6	limi argillosi poco consistenti	3.9	17.2	poco consistente	sciolto	15-35	28.9	28.4	28.8	26.9	27.1	55.3	10.3	15.6	6.1	4.2	0.5
3	4.4 - 9.0	4.6	limi argillosi e argille limose consistenti	28.4	20.8	molto consistente	moderatamente addensato	35-65	61.9	33.8	38.8	38.6	36.4	268.7	75.1	113.4	31.1	25.3	1.0
4	9.0 - 10.0	1.0	argille sabbiose e sabbie argillose molto consistenti	41.1	21.6	estremamente consistente	addensato	65-85	67.4	35.0	40.5	42.4	38.3	584.1	108.9	164.4	42.1	36.3	1.1
Legenda		H	spessore dello strato	Dr (%)	densità relativa media dello strato	Consistenza	Classifica AGI (1977)												
		Litologia	ipotizzata	ϕ (°)	angolo di attrito medio dello strato	Addensamento	Classifica AGI (1977)												
		N_{SPT}	valore di SPT corretto medio dello strato	C_u (kPa)	resistenza al taglio non drenata media dello strato	OCR	(Mayne & Kemper, 1988)												
		γ (kN/m³)	peso di volume medio dello strato	E(Mpa)	Modulo di Young medio dello strato	M(Mpa)	Modulo edometrico medio dello strato												

CPT2



Committente	Dott. Geol. Carlo Rafanelli						Profondità prova (m)	10.00			
Località	Strada provinciale della Cerreta - Guasticce (LI)						Quota iniziale	p.c.			
Prova	CPT-2						Profondità falda (m)	non rilevata			
Data	17/11/2023						Note				
TABELLA RIASSUNTIVA VALORI RESISTENZA E PARAMETRI PRINCIPALI											
							GRANULARI			COESIVI	
Profondità	q _c	f _s	q _c /f _s	FR (%) (f _s /q _c)	Granulometria	γ' (kN/m²)	φ'₁ (°)	φ'₂ (°)	M ₀	S _u media (KPa)	M ₀
0.2	-	-	-	-	cg	-	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	cg	-	-	-	-	-	-
0.6	45.1	1.7	27.1	3.7	cg	19.3	30.7	42.4	14.5	211.6	11.28
0.8	48.3	1.1	45.3	2.2	cg	19.5	31.7	41.4	15.3	226.3	12.07
1	28.3	0.3	84.8	1.2	cg	18.5	29.5	38.0	10.3	132.5	7.07
1.2	9.3	1.3	7.3	13.7	cg	16.6	24.4	32.3	5.5	43.5	3.25
1.4	7.3	0.9	7.8	12.8	cg	16.3	23.5	30.6	5.0	34.1	2.55
1.6	8.3	0.8	10.3	9.7	cg	16.5	24.5	30.5	5.3	38.8	2.90
1.8	13.4	0.7	20.1	5.0	cg	17.2	27.2	32.1	6.6	62.9	4.69
2	10.4	0.7	15.6	6.4	cg	16.8	26.2	30.6	5.8	48.8	3.64
2.2	11.4	0.9	13.2	7.6	cg	17.0	26.9	30.5	6.1	53.5	3.99
2.4	12.4	1.1	11.0	9.1	cg	17.1	27.5	30.5	6.3	58.2	4.34
2.6	7.4	1.0	7.4	13.5	cg	16.3	25.1	27.9	5.1	34.7	2.59
2.8	8.6	0.7	11.7	8.6	cg	16.5	26.0	28.2	5.3	40.1	2.99
3	8.6	0.7	11.7	8.6	cg	16.5	26.2	27.9	5.3	40.1	2.99
3.2	12.6	0.6	20.9	4.8	cg	17.1	28.2	29.3	6.3	58.8	4.39
3.4	10.6	0.8	13.2	7.6	cg	16.8	27.5	28.2	5.8	49.4	3.69
3.6	9.6	0.8	11.9	8.4	cg	16.7	27.2	27.5	5.6	44.8	3.34
3.8	14.7	1.0	14.7	6.8	cg	17.4	29.4	29.2	6.9	68.8	5.14
4	15.7	0.9	18.1	5.5	cg	17.5	29.9	29.2	7.1	73.5	5.49
4.2	14.7	1.1	13.0	7.7	cg	17.4	29.7	28.7	6.9	68.8	5.14
4.4	18.7	1.5	12.2	8.2	cg	17.8	31.0	29.6	7.9	87.6	6.54
4.6	18.7	1.5	12.7	7.8	cg	17.8	31.1	29.4	7.9	87.6	6.54
4.8	16.8	1.3	12.6	7.9	cg	17.6	30.7	28.7	7.4	78.8	5.89
5	15.8	1.2	13.2	7.6	cg	17.5	30.5	28.3	7.2	74.2	5.54
5.2	18.8	1.5	12.8	7.8	cg	17.8	31.4	28.8	7.9	88.2	6.59
5.4	19.8	1.3	14.9	6.7	cg	17.9	31.8	28.9	8.2	92.9	6.94
5.6	21.8	1.4	15.6	6.4	cg	18.0	32.4	29.2	8.7	102.3	5.46
5.8	24.0	1.3	18.9	5.3	cg	18.2	32.9	29.4	9.2	112.3	5.99
6	25.0	1.3	18.7	5.3	cg	18.3	33.2	29.4	9.4	117.0	6.24
6.2	23.0	1.4	16.4	6.1	cg	18.1	32.9	28.9	8.9	107.6	5.74
6.4	21.0	1.3	15.7	6.4	cg	18.0	32.5	28.4	8.4	98.2	5.24
6.6	21.0	1.1	18.5	5.4	cg	18.0	32.5	28.2	8.4	98.2	5.24
6.8	22.1	0.9	25.5	3.9	cg	18.1	32.9	28.3	8.7	103.6	5.53
7	21.1	1.2	17.6	5.7	cg	18.0	32.7	28.0	8.5	98.9	5.28
7.2	23.1	0.7	31.5	3.2	cg	18.1	33.2	28.3	9.0	108.3	5.78
7.4	23.1	1.0	23.1	4.3	cg	18.1	33.3	28.1	9.0	108.3	5.78
7.6	21.1	1.3	16.7	6.0	cg	18.0	32.9	27.6	8.5	98.9	5.28
7.8	24.2	1.3	19.1	5.2	cg	18.2	33.7	28.1	9.3	113.6	6.06
8	22.2	1.3	16.7	6.0	cg	18.1	33.3	27.6	8.8	104.2	5.56
8.2	25.2	1.7	14.6	6.9	cg	18.3	34.0	28.1	9.5	118.3	6.31
8.4	27.2	2.2	12.4	8.1	cg	18.4	34.4	28.3	10.0	127.6	6.81
8.6	37.2	2.1	17.5	5.7	cg	19.0	36.1	29.6	12.5	174.5	9.31
8.8	39.4	2.5	15.5	6.4	cg	19.1	36.4	29.7	13.0	184.5	9.85
9	36.4	1.7	21.8	4.6	cg	18.9	36.0	29.3	12.3	170.5	9.10
9.2	66.4	1.4	47.4	2.1	cg	20.1	39.1	31.8	19.8	311.1	16.60
9.4	69.4	4.0	17.3	5.8	cg	20.1	39.4	31.9	20.5	325.1	17.35
9.6	81.4	3.9	21.0	4.8	cg	20.4	40.2	32.5	23.5	381.4	20.35
9.8	90.5	4.5	20.0	5.0	cg	20.7	40.8	32.9	25.8	424.2	22.63
10	94.5	4.7	20.3	4.9	cg	20.7	41.1	33.0	26.8	442.9	23.63
Legenda	q _c	resistenza alla punta (kg/cm²)				γ'	http://www.dot.il.gov/bridges (2010)		Granulometria	"c"=coesivi; "g"=granulari; "cg"=misti	
	f _s	resistenza laterale (kg/cm²)				φ'₁	(Kulhawy & Mayne, 1990)		Su (Kpa)	(Sanglerat - AGI, 1972-1977, Bruschi)	
	q _c /f _s	"Rapporto Begemann"				φ'₂	(Durgunoglu & Mitchell, 1973-1975)		OCR	(Robertson, 2009)	
	FR %	"Friction Ratio" (f _s /q _c)				M ₀	Modulo edometrico (confinato) (Mpa)				

Committente	Dott. Geol. Carlo Rafanelli	Profondità prova (m)	10.00
Località	Strada provinciale della Cerreta - Guasticce (LI)	Quota iniziale	p.c.
Prova	CPT-2	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/11/2023	Note	
ANDAMENTO DEI PRINCIPALI PARAMETRI CON LA PROFONDITÀ			



Committente	Dott. Geol. Carlo Rafanelli	Profondità prova (m)	10.00
Località	Strada provinciale della Cerreta - Guasticce (LI)	Quota iniziale	p.c.
Prova	CPT-2	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/11/2023	Note	

PARAMETRI MEDI STRATI

								GRANULARI										COESIVI						
Strato	Intervallo		H	q _c	f _s	q _c /f _s	γ'	Dr (%)	ϕ(°)				E _y		M ₀	G ₀	OCR	Su (Kpa)				Eu	M ₀	G ₀
								valore medio	Durgu.- Mitch.	Kulhawy & Mayne	D&M R&C C&Y	valore medio	Schmert.	Webb	Mitch. - Gard.	valore medio	Robert.	Sangl. - AGI	Bruschi	Larss.	valore medio	Webb	Sangl.	Mayne - Rix
1	0.0	1.0	1.0	40.6	0.8	39.3	14.3	78.2	41.2	30.5	42.9	36.9	101.4	108.6	13.3	14.6	1.44	199.0	221.1	273.5	231.2	108.6	8.7	18.6
2	1.0	4.2	3.2	10.9	0.9	13.0	16.9	13.0	29.7	27.0	29.8	27.0	27.3	34.5	5.9	9.9	0.28	53.6	59.5	71.0	61.4	34.5	2.7	3.2
3	4.2	9.0	4.8	23.6	1.4	17.3	18.1	16.9	28.8	33.1	28.1	27.5	59.0	66.2	9.1	24.7	0.73	115.8	128.7	151.8	132.1	66.2	4.2	9.0
4	9.0	10.0	1.0	80.4	3.7	25.2	20.4	45.1	32.5	40.1	32.7	32.3	201.1	208.3	23.3	61.4	3.39	394.5	438.3	531.1	454.6	208.3	13.0	46.4

Legenda	H: Spessore dello strato considerato	q _c : resistenza alla punta (kg/cm ²)	f _s : resistenza laterale (kg/cm ²)	γ': peso di volume efficace (kN/m ³)	Dr: densità relativa (%)
	φ: angolo di resistenza al taglio (°) M ₀ : Modulo edometrico o confinato (Mpa)	E _y : Modulo di deformazione (Young) GRANULARI (Mpa) G ₀ : Modulo di taglio (Mpa)	Eu: Modulo di deformazione non drenato COESIVI (Mpa) N.B.: tutti i valori sono quelli medi dei vari strati. La pressione verticale attuale (ov) utilizzata nel calcolo delle formule è quella corrispondente al centro dello strato	OCR: grado di sovraconsolidazione (COESIVI)	Su: Resistenza al taglio non drenata (Kpa)

VALUTAZIONI STRATIGRAFICHE

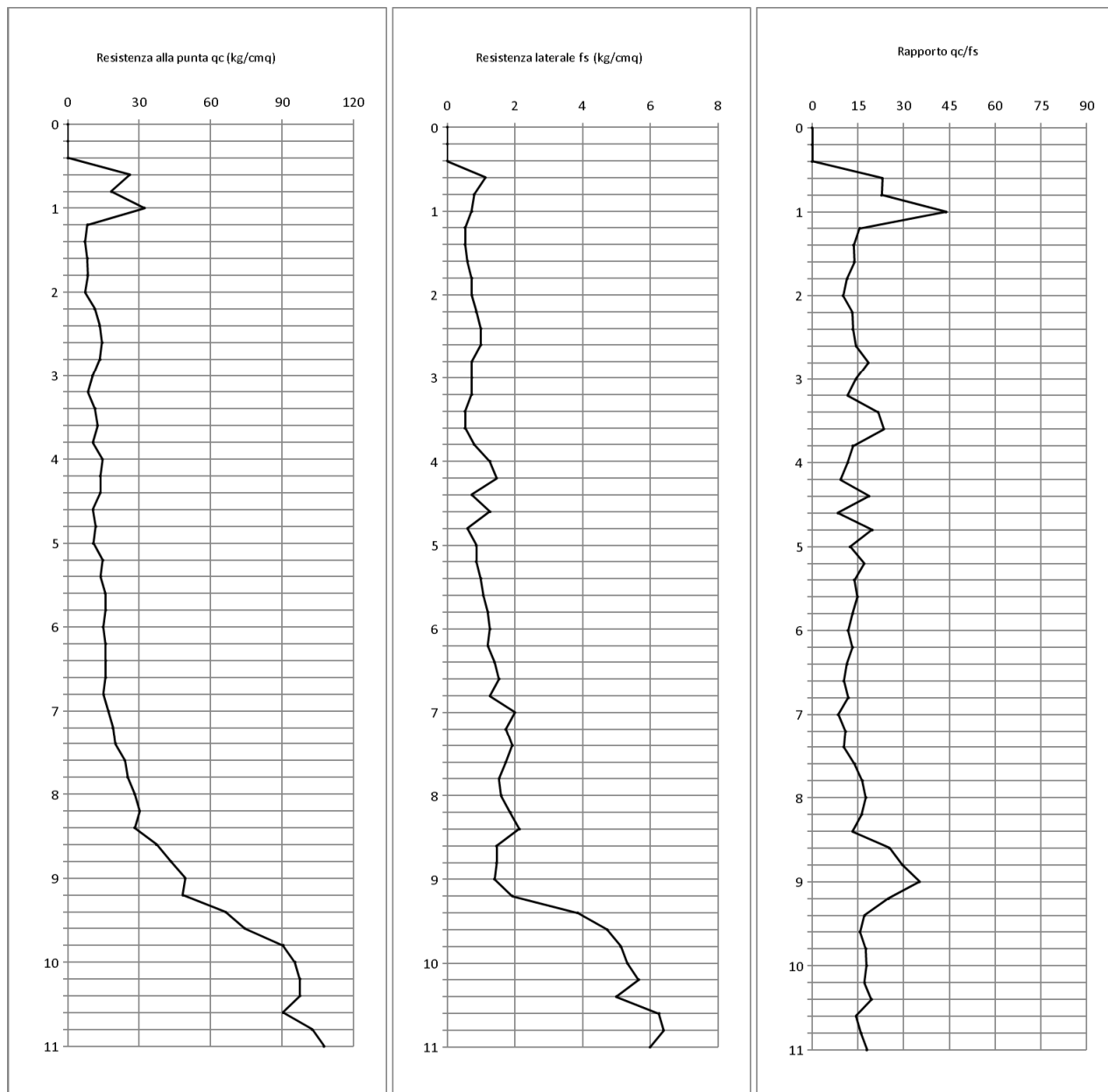
Strato	Intervallo (m)		Tipo	Litologia (Begemann)	q _c (Kg/cm ²)	Fr	Litologia ipotizzata
1	0.0	1.0	cg	Limo più o meno sabbioso	40.6	1.8	coltre superficiale sabbiosa con riporti
2	1.0	4.2	cg	Argilla organica	10.9	8.5	limi argillosi poco consistenti
3	4.2	9.0	cg	Argilla inorganica	23.6	6.1	limi argillosi e argille limose mediamente consistenti
4	9.0	10.0	cg	Limo	80.4	4.5	argille sabbiose e sabbie argillose consistenti

CPT3



Committente	Dott. Geol. Carlo Rafanelli					Profondità prova (m)	11.00				
Località	Strada provinciale della Cerreta - Guasticce (LI)					Quota iniziale	p.c.				
Prova	CPT-3					Profondità falda (m)	non rilevata				
Data	17/11/2023					Note					
TABELLA RIASSUNTIVA VALORI RESISTENZA E PARAMETRI PRINCIPALI											
							GRANULARI			COESIVI	
Profondità	q _c	f _s	q _c /f _s	FR (%) (f _s /q _c)	Granulometria	γ' (kN/m²)	ϕ'₁ (°)	ϕ'₂ (°)	M ₀	S _u media (KPa)	M ₀
0.2	-	-	-	-	cg	-	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	cg	-	-	-	-	-	-
0.6	26.1	1.1	23.1	4.3	cg	18.4	27.9	40.0	9.7	122.5	6.53
0.8	18.3	0.8	22.8	4.4	cg	17.7	26.8	37.1	7.8	85.7	6.40
1	32.3	0.7	44.0	2.3	cg	18.7	30.2	38.6	11.3	151.3	8.07
1.2	8.3	0.5	15.5	6.4	cg	16.5	23.8	31.8	5.3	38.8	2.90
1.4	7.3	0.5	13.6	7.3	cg	16.3	23.5	30.6	5.0	34.1	2.55
1.6	8.3	0.6	13.8	7.2	cg	16.5	24.5	30.5	5.3	38.8	2.90
1.8	8.4	0.7	11.5	8.7	cg	16.5	24.9	30.1	5.3	39.4	2.94
2	7.4	0.7	10.1	9.9	cg	16.3	24.5	29.1	5.1	34.7	2.59
2.2	11.4	0.9	13.2	7.6	cg	17.0	26.9	30.5	6.1	53.5	3.99
2.4	13.4	1.0	13.4	7.5	cg	17.2	27.9	30.8	6.6	62.9	4.69
2.6	14.4	1.0	14.4	6.9	cg	17.3	28.4	30.8	6.8	67.5	5.04
2.8	13.6	0.7	18.5	5.4	cg	17.2	28.3	30.2	6.6	63.5	4.74
3	10.6	0.7	14.4	6.9	cg	16.8	27.2	28.8	5.8	49.4	3.69
3.2	8.6	0.7	11.7	8.6	cg	16.5	26.3	27.6	5.3	40.1	2.99
3.4	11.6	0.5	21.7	4.6	cg	17.0	28.0	28.6	6.1	54.1	4.04
3.6	12.6	0.5	23.5	4.2	cg	17.1	28.5	28.7	6.3	58.8	4.39
3.8	10.7	0.8	13.4	7.5	cg	16.9	27.9	27.8	5.9	50.1	3.74
4	14.7	1.3	11.6	8.6	cg	17.4	29.6	28.9	6.9	68.8	5.14
4.2	13.7	1.5	9.3	10.7	cg	17.3	29.3	28.4	6.6	64.1	4.79
4.4	13.7	0.7	18.7	5.4	cg	17.3	29.4	28.2	6.6	64.1	4.79
4.6	10.7	1.3	8.4	11.8	cg	16.9	28.3	26.9	5.9	50.1	3.74
4.8	11.8	0.6	19.7	5.1	cg	17.0	28.9	27.2	6.2	55.4	4.14
5	10.8	0.9	12.5	8.0	cg	16.9	28.6	26.6	5.9	50.7	3.79
5.2	14.8	0.9	17.1	5.8	cg	17.4	30.2	27.8	6.9	69.5	5.19
5.4	13.8	1.0	13.8	7.2	cg	17.3	30.0	27.3	6.7	64.8	4.84
5.6	15.8	1.1	14.8	6.7	cg	17.5	30.7	27.7	7.2	74.2	5.54
5.8	16.0	1.2	13.3	7.5	cg	17.5	30.9	27.6	7.2	74.8	5.59
6	15.0	1.3	11.8	8.5	cg	17.4	30.6	27.2	6.9	70.1	5.24
6.2	16.0	1.2	13.3	7.5	cg	17.5	31.0	27.3	7.2	74.8	5.59
6.4	16.0	1.4	11.4	8.8	cg	17.5	31.1	27.2	7.2	74.8	5.59
6.6	16.0	1.5	10.4	9.6	cg	17.5	31.2	27.0	7.2	74.8	5.59
6.8	15.1	1.3	11.9	8.4	cg	17.4	31.0	26.7	7.0	70.8	5.29
7	17.1	2.0	8.6	11.7	cg	17.6	31.7	27.1	7.5	80.1	5.99
7.2	19.1	1.7	11.0	9.1	cg	17.8	32.3	27.4	8.0	89.5	6.69
7.4	20.1	1.9	10.4	9.6	cg	17.9	32.6	27.5	8.2	94.2	5.03
7.6	24.1	1.7	13.9	7.2	cg	18.2	33.6	28.2	9.2	112.9	6.03
7.8	25.2	1.5	16.5	6.1	cg	18.3	33.9	28.3	9.5	118.3	6.31
8	28.2	1.6	17.7	5.7	cg	18.5	34.5	28.7	10.3	132.3	7.06
8.2	30.2	1.9	16.2	6.2	cg	18.6	34.9	28.9	10.8	141.7	7.56
8.4	28.2	2.1	13.2	7.6	cg	18.5	34.6	28.5	10.3	132.3	7.06
8.6	37.2	1.5	25.4	3.9	cg	19.0	36.1	29.6	12.5	174.5	9.31
8.8	43.4	1.5	29.6	3.4	cg	19.3	36.9	30.1	14.0	203.3	10.85
9	49.4	1.4	35.3	2.8	cg	19.5	37.6	30.6	15.5	231.4	12.35
9.2	48.4	1.9	25.0	4.0	cg	19.5	37.5	30.4	15.3	226.7	12.10
9.4	66.4	3.9	17.2	5.8	cg	20.1	39.2	31.7	19.8	311.1	16.60
9.6	74.4	4.7	15.7	6.4	cg	20.3	39.8	32.1	21.8	348.6	18.60
9.8	90.5	5.1	17.6	5.7	cg	20.7	40.8	32.9	25.8	424.2	22.63
10	95.5	5.3	17.9	5.6	cg	20.8	41.1	33.0	27.1	447.6	23.88
10.2	97.5	5.7	17.2	5.8	cg	20.8	41.3	33.0	27.6	457.0	24.38
10.4	97.5	5.0	19.5	5.1	cg	20.8	41.3	32.9	27.6	457.0	24.38
10.6	90.5	6.3	14.4	6.9	cg	20.7	41.0	32.5	25.8	424.2	22.63
10.8	102.7	6.4	16.0	6.2	cg	20.9	41.7	33.0	28.9	481.1	25.66
11	107.7	6.0	17.9	5.6	cg	21.0	42.0	33.1	30.1	504.5	26.91
Legenda	q _c	resistenza alla punta (kg/cm²)			γ'	http://www.dot.il.gov/bridges (2010)		Granulometria		"c"=coesivi; "g"=granulari; "cg"=misti	
	f _s	resistenza laterale (kg/cm²)			ϕ'₁	(Kulhawy & Mayne, 1990)		Su (Kpa)		(Sanglerat - AGI, 1972-1977, Bruschi)	
	q _c /f _s	"Rapporto Begemann"			ϕ'₂	(Durgunoglu & Mitchell, 1973-1975)		OCR		(Robertson, 2009)	
	FR %	"Friction Ratio" (f _s /q _c)			M ₀	Modulo edometrico (confinato) (Mpa)					

Committente	Dott. Geol. Carlo Rafanelli	Profondità prova (m)	11.00
Località	Strada provinciale della Cerreta - Guasticce (LI)	Quota iniziale	p.c.
Prova	CPT-3	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/11/2023	Note	
ANDAMENTO DEI PRINCIPALI PARAMETRI CON LA PROFONDITÀ			



Committente	Dott. Geol. Carlo Rafanelli	Profondità prova (m)	11.00
Località	Strada provinciale della Cerreta - Guasticce (LI)	Quota iniziale	p.c.
Prova	CPT-3	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/11/2023	Note	

PARAMETRI MEDI STRATI

								GRANULARI										COESIVI						
Strato	Intervallo		H	q _c	f _s	q _c /f _s	γ'	Dr (%)	φ(°)				E _y		M ₀	G ₀	OCR	Su (Kpa)				Eu	M ₀	G ₀
								valore medio	Durgu.- Mitch.	Kulhawy & Mayne	D&M R&C C&Y	valore medio	Schmert.	Webb	Mitch. - Gard.	valore medio	Robert.	Sangl. - AGI	Bruschi	Larss.	valore medio	Webb	Sangl.	Mayne - Rix
1	0.0	1.0	1.0	25.6	0.7	22.5	13.7	60.6	39.3	28.1	41.2	34.9	63.9	71.1	9.6	9.5	0.81	125.4	139.3	172.1	145.6	71.1	6.2	10.0
2	1.0	7.0	6.0	12.6	1.0	13.8	17.1	9.0	28.2	28.8	27.5	26.0	31.4	38.6	6.3	14.0	0.33	61.7	68.5	80.4	70.2	38.6	2.8	3.9
3	7.0	8.4	1.4	25.0	1.8	14.1	18.3	15.7	28.3	33.8	27.4	27.3	62.6	69.8	9.5	27.9	0.79	122.8	136.4	159.9	139.7	69.8	4.4	9.8
4	8.4	11.0	2.6	77.0	4.2	20.7	20.2	43.0	32.2	40.0	32.3	31.9	192.5	199.7	22.5	60.5	3.21	377.7	419.6	507.5	434.9	199.7	12.5	43.8

Legenda	H: Spessore dello strato considerato	q _c : resistenza alla punta (kg/cm ²)	f _s : resistenza laterale (kg/cm ²)	Y': peso di volume efficace (kN/mc)	Dr: densità relativa (%)
	φ: angolo di resistenza al taglio (°) M ₀ : Modulo edometrico o confinato (Mpa)	E _y : Modulo di deformazione (Young) GRANULARI (Mpa) G ₀ : Modulo di taglio (Mpa)	Eu: Modulo di deformazione non drenato COESIVI (Mpa) N.B.: tutti i valori sono quelli medi dei vari strati. La pressione verticale attuale (ov) utilizzata nel calcolo delle formule è quella corrispondente al centro dello strato	OCR: grado di sovraconsolidazione (COESIVI)	Su: Resistenza al taglio non drenata (Kpa)

VALUTAZIONI STRATIGRAFICHE

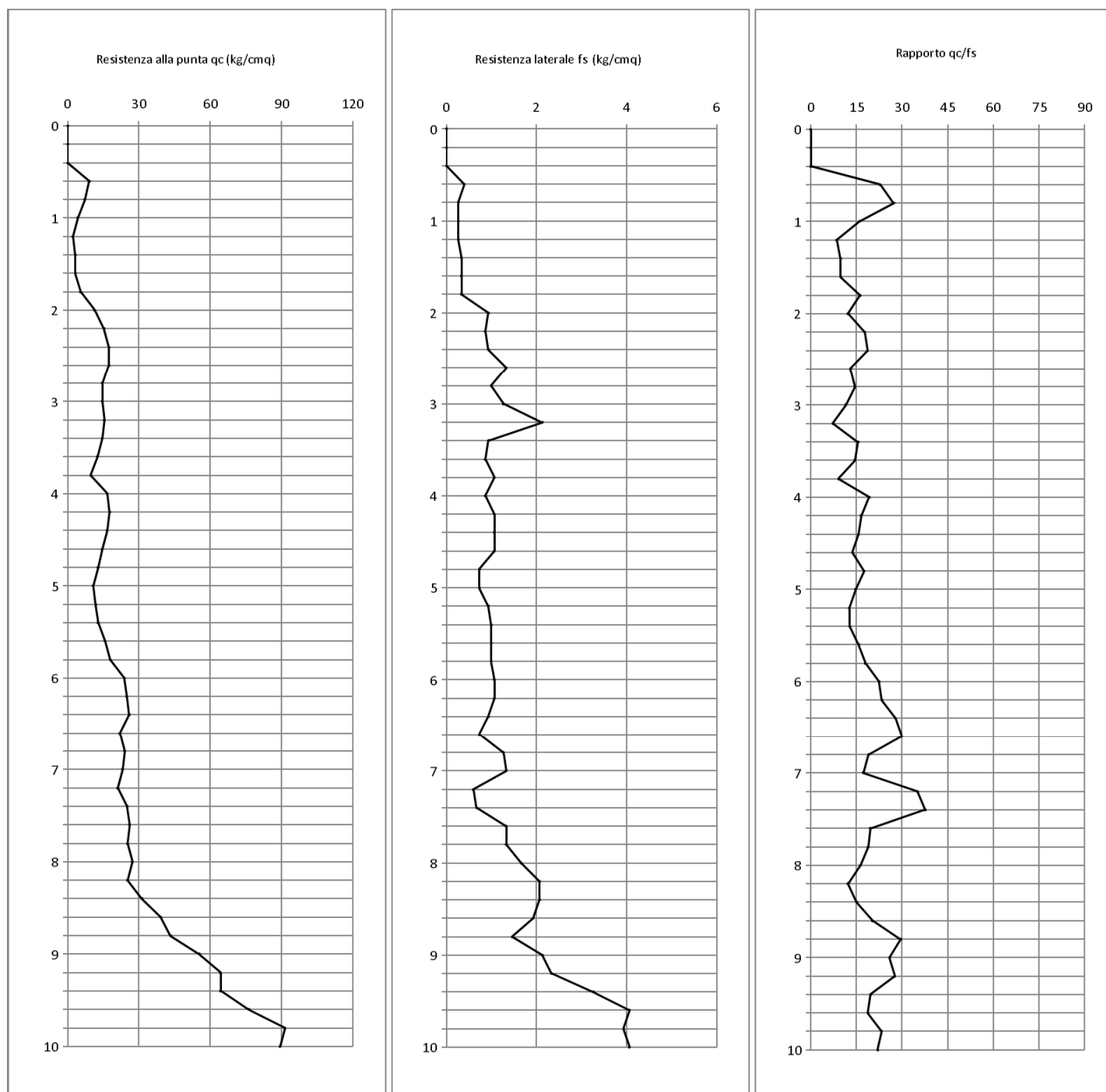
Strato	Intervallo (m)		Tipo	Litologia (Begemann)	q _c (Kg/cm ²)	Fr	Litologia ipotizzata
1	0.0	1.0	cg	Limo	25.6	2.7	coltre superficiale sabbiosa con riporti
2	1.0	7.0	cg	Argilla organica	12.6	7.7	limi argillosi poco consistenti
3	7.0	8.4	cg	Argilla organica	25.0	7.3	limi argillosi e argille limose mediamente consistenti
4	8.4	11.0	cg	Argilla inorganica	77.0	5.2	argille sabbiose e sabbie argillose consistenti

CPT4



Committente	Dott. Geol. Carlo Rafanelli					Profondità prova (m)	10.00				
Località	Strada provinciale della Cerreta - Guasticce (LI)					Quota iniziale	p.c.				
Prova	CPT-4					Profondità falda (m)	non rilevata				
Data	17/11/2023					Note					
TABELLA RIASSUNTIVA VALORI RESISTENZA E PARAMETRI PRINCIPALI											
							GRANULARI			COESIVI	
Profondità	q _c	f _s	q _c /f _s	FR (%) (f _s /q _c)	Granulometria	Y' (kN/m²)	φ'₁ (°)	φ'₂ (°)	M₀	S _u media (KPa)	M₀
0.2	-	-	-	-	cg	-	-	-	-	-	-
0.4	-	-	-	-	cg	-	-	-	-	-	-
0.6	9.1	0.4	22.8	4.4	cg	16.6	22.7	35.4	5.5	42.8	3.20
0.8	7.3	0.3	27.3	3.7	cg	16.3	22.2	33.1	5.0	34.1	2.55
1	4.3	0.3	16.0	6.2	cg	15.5	20.1	29.8	4.3	20.0	1.50
1.2	2.3	0.3	8.5	11.7	cg	14.6	17.4	26.2	3.8	10.7	0.80
1.4	3.3	0.3	9.8	10.2	cg	15.1	19.6	27.1	4.0	15.3	1.15
1.6	3.3	0.3	9.8	10.2	cg	15.1	19.9	26.5	4.0	15.3	1.15
1.8	5.4	0.3	16.2	6.2	cg	15.8	22.7	28.2	4.6	25.4	1.89
2	11.4	0.9	12.2	8.2	cg	17.0	26.6	31.0	6.1	53.5	3.99
2.2	15.4	0.9	17.8	5.6	cg	17.5	28.4	31.8	7.1	72.2	5.39
2.4	17.4	0.9	18.7	5.4	cg	17.7	29.2	32.0	7.6	81.6	6.09
2.6	17.4	1.3	13.1	7.7	cg	17.7	29.4	31.6	7.6	81.6	6.09
2.8	14.6	1.0	14.6	6.9	cg	17.4	28.7	30.5	6.8	68.2	5.09
3	14.6	1.3	11.5	8.7	cg	17.4	28.8	30.2	6.8	68.2	5.09
3.2	15.6	2.1	7.3	13.7	cg	17.5	29.3	30.2	7.1	72.9	5.44
3.4	14.6	0.9	15.6	6.4	cg	17.4	29.1	29.6	6.8	68.2	5.09
3.6	12.6	0.9	14.5	6.9	cg	17.1	28.5	28.7	6.3	58.8	4.39
3.8	9.7	1.1	9.1	11.0	cg	16.7	27.4	27.3	5.6	45.4	3.39
4	16.7	0.9	19.3	5.2	cg	17.6	30.2	29.5	7.4	78.2	5.84
4.2	17.7	1.1	16.6	6.0	cg	17.7	30.6	29.5	7.6	82.9	6.19
4.4	16.7	1.1	15.6	6.4	cg	17.6	30.4	29.1	7.4	78.2	5.84
4.6	14.7	1.1	13.8	7.3	cg	17.4	29.9	28.3	6.9	68.8	5.14
4.8	12.8	0.7	17.5	5.7	cg	17.2	29.3	27.5	6.4	60.1	4.49
5	10.8	0.7	14.8	6.8	cg	16.9	28.6	26.6	5.9	50.7	3.79
5.2	11.8	0.9	12.7	7.9	cg	17.0	29.1	26.8	6.2	55.4	4.14
5.4	12.8	1.0	12.8	7.8	cg	17.2	29.6	27.0	6.4	60.1	4.49
5.6	15.8	1.0	15.8	6.3	cg	17.5	30.7	27.7	7.2	74.2	5.54
5.8	18.0	1.0	18.0	5.6	cg	17.7	31.5	28.1	7.7	84.2	6.29
6	24.0	1.1	22.5	4.5	cg	18.2	33.0	29.3	9.2	112.3	5.99
6.2	25.0	1.1	23.4	4.3	cg	18.3	33.3	29.3	9.4	117.0	6.24
6.4	26.0	0.9	27.8	3.6	cg	18.3	33.5	29.3	9.7	121.7	6.49
6.6	22.0	0.7	30.0	3.3	cg	18.1	32.8	28.4	8.7	102.9	5.49
6.8	24.1	1.3	19.0	5.3	cg	18.2	33.3	28.7	9.2	112.9	6.03
7	23.1	1.3	17.3	5.8	cg	18.1	33.2	28.4	9.0	108.3	5.78
7.2	21.1	0.6	35.2	2.8	cg	18.0	32.8	27.9	8.5	98.9	5.28
7.4	25.1	0.7	37.7	2.7	cg	18.3	33.7	28.5	9.5	117.6	6.28
7.6	26.1	1.3	19.6	5.1	cg	18.4	34.0	28.6	9.7	122.3	6.53
7.8	25.2	1.3	18.9	5.3	cg	18.3	33.9	28.3	9.5	118.3	6.31
8	27.2	1.7	16.3	6.1	cg	18.4	34.3	28.5	10.0	127.6	6.81
8.2	25.2	2.1	12.2	8.2	cg	18.3	34.0	28.1	9.5	118.3	6.31
8.4	31.2	2.1	15.1	6.6	cg	18.7	35.1	28.9	11.0	146.4	7.81
8.6	39.2	1.9	20.3	4.9	cg	19.1	36.3	29.8	13.0	183.9	9.81
8.8	43.4	1.5	29.6	3.4	cg	19.3	36.9	30.1	14.0	203.3	10.85
9	55.4	2.1	26.0	3.9	cg	19.7	38.1	31.1	17.0	259.5	13.85
9.2	64.4	2.3	27.6	3.6	cg	20.0	39.0	31.6	19.3	301.7	16.10
9.4	64.4	3.3	19.7	5.1	cg	20.0	39.0	31.6	19.3	301.7	16.10
9.6	76.4	4.1	18.8	5.3	cg	20.3	39.9	32.2	22.3	357.9	19.10
9.8	91.5	3.9	23.3	4.3	cg	20.7	40.9	32.9	26.1	428.9	22.88
10	89.5	4.1	22.0	4.5	cg	20.6	40.8	32.7	25.6	419.5	22.38
Legenda	q _c	resistenza alla punta (kg/cm²)		Y'	http://www.dot.il.gov/bridges (2010)			Granulometria	"c"=coesivi; "g"=granulari; "cg"=misti		
	f _s	resistenza laterale (kg/cm²)		φ'₁	(Kulhawy & Mayne, 1990)			Su (Kpa)	(Sanglerat - AGI, 1972-1977, Bruschi)		
	q _c /f _s	"Rapporto Begemann"		φ'₂	(Durgunoglu & Mitchell, 1973-1975)			OCR	(Robertson, 2009)		
	FR %	"Friction Ratio" (f _s /q _c)		M₀	Modulo edometrico (confinato) (Mpa)						

Committente	Dott. Geol. Carlo Rafanelli	Profondità prova (m)	10.00
Località	Strada provinciale della Cerreta - Guasticce (LI)	Quota iniziale	p.c.
Prova	CPT-4	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/11/2023	Note	
ANDAMENTO DEI PRINCIPALI PARAMETRI CON LA PROFONDITÀ			



Committente	Dott. Geol. Carlo Rafanelli	Profondità prova (m)	10.00
Località	Strada provinciale della Cerreta - Guasticce (LI)	Quota iniziale	p.c.
Prova	CPT-4	Profondità falda (m)	non rilevata
Data	17/11/2023	Note	

PARAMETRI MEDI STRATI

								GRANULARI										COESIVI						
Strato	Intervallo		H	q _c	f _s	q _c /f _s	γ'	Dr (%)	ϕ(°)				E _y		M ₀	G ₀	OCR	Su (Kpa)				Eu	M ₀	G ₀
								valore medio	Durgu.- Mitch.	Kulhawy & Mayne	D&M R&C C&Y	valore medio	Schmert.	Webb	Mitch. - Gard.	valore medio	Robert.	Sangl. - AGI	Bruschi	Larss.	valore medio	Webb	Sangl.	Mayne - Rix
1	0.0	1.8	1.8	5.0	0.3	13.8	13.6	7.9	30.2	21.0	30.8	26.0	12.5	19.6	4.4	4.1	0.10	24.5	27.2	32.6	28.1	19.6	1.3	1.1
2	1.8	5.8	4.0	14.5	1.0	14.6	17.3	14.1	29.3	29.3	29.0	27.1	36.4	43.5	6.8	14.1	0.40	71.4	79.3	94.1	81.6	43.5	3.4	4.7
3	5.8	8.2	2.4	24.5	1.2	23.3	18.2	16.8	28.7	33.5	27.9	27.5	61.3	68.4	9.3	26.1	0.77	120.2	133.5	157.2	137.0	68.4	4.3	9.5
4	8.2	10.0	1.8	61.7	2.8	22.5	19.8	37.5	31.5	38.7	31.5	31.1	154.3	161.5	18.6	50.5	2.43	302.7	336.2	405.3	348.1	161.5	10.3	32.6

Legenda	H: Spessore dello strato considerato	q _c : resistenza alla punta (kg/cm ²)	f _s : resistenza laterale (kg/cm ²)	Y': peso di volume efficace (kN/mc)	Dr: densità relativa (%)
	φ: angolo di resistenza al taglio (°) M ₀ : Modulo edometrico o confinato (Mpa)	E _y : Modulo di deformazione (Young) GRANULARI (Mpa) G ₀ : Modulo di taglio (Mpa)	Eu: Modulo di deformazione non drenato COESIVI (Mpa) N.B.: tutti i valori sono quelli medi dei vari strati. La pressione verticale attuale (ov) utilizzata nel calcolo delle formule è quella corrispondente al centro dello strato	OCR: grado di sovraconsolidazione (COESIVI)	Su: Resistenza al taglio non drenata (Kpa)

VALUTAZIONI STRATIGRAFICHE

Strato	Intervallo (m)		Tipo	Litologia (Begemann)	q _c (Kg/cm ²)	Fr	Litologia ipotizzata
1	0.0	1.8	cg	Argilla organica	5.0	6.6	coltre superficiale limoso argilloso priva di consistenza
2	1.8	5.8	cg	Argilla organica	14.5	7.3	limi argillosi poco consistenti
3	5.8	8.2	cg	Limo	24.5	4.7	limi argillosi e argille limose mediamente consistenti
4	8.2	10.0	cg	Limo	61.7	4.6	argille sabbiose e sabbie argillose consistenti

Allegato 2

Indagine simica Masw

Comune di Collesalvetti (LI)



DATA EMISSIONE: 17/11/2023

COMMITTENTE:	Dott. Geol. Carlo Rafanelli
OGGETTO:	Indagine sismica Masw
LOCALITÀ:	Strada Provinciale della Cerreta, Collesalvetti (LI)
N. ARCH.: 390/23	nome file: rapporto_390-23.doc

Geol. Alessandro Ronconi
Viale Ugo Bassi 44
50137 Firenze
Tel/Fax: 055 5535631 / 055 77473295
Cell. 3493622330
e-mail: alessandro.ronconi@gmail.com



□

INDICE

PREMESSA	3
METODOLOGIA UTILIZZATA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	3
INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI E CALCOLO DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	5

ALLEGATI

ALLEGATO 1 - UBICAZIONE DELL'AREA E PIANO DI POSIZIONE

ALLEGATO 2 - ELABORAZIONE DATI

PREMESSA

La presente relazione tecnica riporta i risultati relativi ad una indagine geofisica consistente in una prova con tecnica MASW eseguita in data 17/11/2023 in Strada Provinciale della Cerreta in loca. Guasticce nel Comune di Collesalveti (LI). Lo scopo dell'indagine è stato quello di definire la categoria di sottosuolo mediante uno stendimento sismico con tecnica *Masw* (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) secondo la disposizione riportata nella tavola allegata.

METODOLOGIA UTILIZZATA E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

Le registrazioni sono state eseguite utilizzando un sismografo Pasi 16S-U a 24 canali con 24 bit di risoluzione. Il sistema di acquisizione in particolare presenta le seguenti caratteristiche tecniche:

<i>Risoluzione</i>	24 bit con algoritmo proprietario
<i>Sampling time</i>	da 125 μ s a 2 ms su 24 canali
<i>Lunghezza registrazione</i>	da 32 ms a 65536 ms
<i>Filtri</i>	digitali: in post-acquisizione (50-60 Notch, 250LP) antialiasing: attivi, LPF, 8° ordine Butterworth; attenuazione -48dB/oct (-160dB/dec); $f_0=5/8f_{nyq}$; accuratezza $\pm 1\%$ freq. di taglio
<i>Enhancement (stacking)</i>	con/senza preview totale/parziale
<i>Delay</i>	0-8000ms (step di 1ms)

Per quel che riguarda i sensori, per le indagini sismiche sono stati utilizzati geofoni verticali, del tipo elettromagnetico a bobina mobile con frequenza caratteristica di 4.5 Hz, 70 % di smorzamento. Il cavo di connessione tra geofoni e sismografo è uno standard NK-27-21C.

Generalmente come sorgente di energia sismica, nel caso di rilievi a piccola profondità si fa uso di una mazza da 10 kg che nel nostro caso ha consentito di ottenere risultati ottimali.

Indagini sismiche MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo MASW (introdotto da Park et al., 1999) è una tecnica di indagine non invasiva che consente di determinare il profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo attraverso la misura delle onde di superficie registrate da un array di geofoni disposti in superficie secondo una data geometria. Le onde superficiali sono generate dall'interferenza tra le onde di volume che impattano la superficie libera del terreno dando origine

alle onde di Rayleigh e alle onde di Love accomunate dalla caratteristica che la loro ampiezza diminuisce esponenzialmente con la profondità.

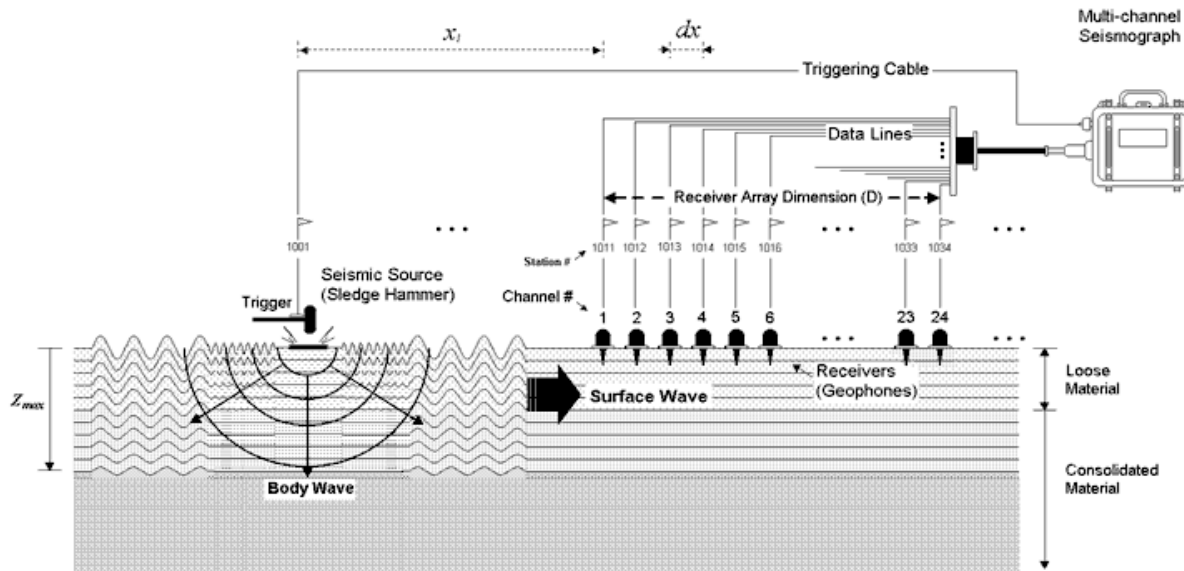


Fig. 1 - Modello schematico del sistema di acquisizione (KGS).

Le velocità di propagazione delle onde superficiali cambiano in funzione della relativa lunghezza d'onda e della frequenza; l'andamento delle velocità di fase in funzione della frequenza è detta curva di dispersione la quale fornisce informazioni sul profilo di velocità nel sottosuolo.

Alla base del metodo MASW si assume l'esistenza di un semispazio stratificato secondo strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione all'applicabilità del metodo potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative (maggiori di 20°) sia della topografia che delle discontinuità litostratigrafiche.

La metodologia consiste in tre fasi:

- calcolo della curva di dispersione sperimentale;
- *picking* della curva di dispersione;
- individuazione del profilo di velocità di Vs attraverso il processo di inversione.



INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI E CALCOLO DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Dall'analisi e dall'elaborazione dei dati acquisiti viene messa in evidenza la presenza di litologie associabili a depositi con un aumento graduale delle velocità sismiche.

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 (3.2.2 NTC 2018):

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

con:

h : spessore dell' i -esimo strato;

$V_{S,i}$: velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

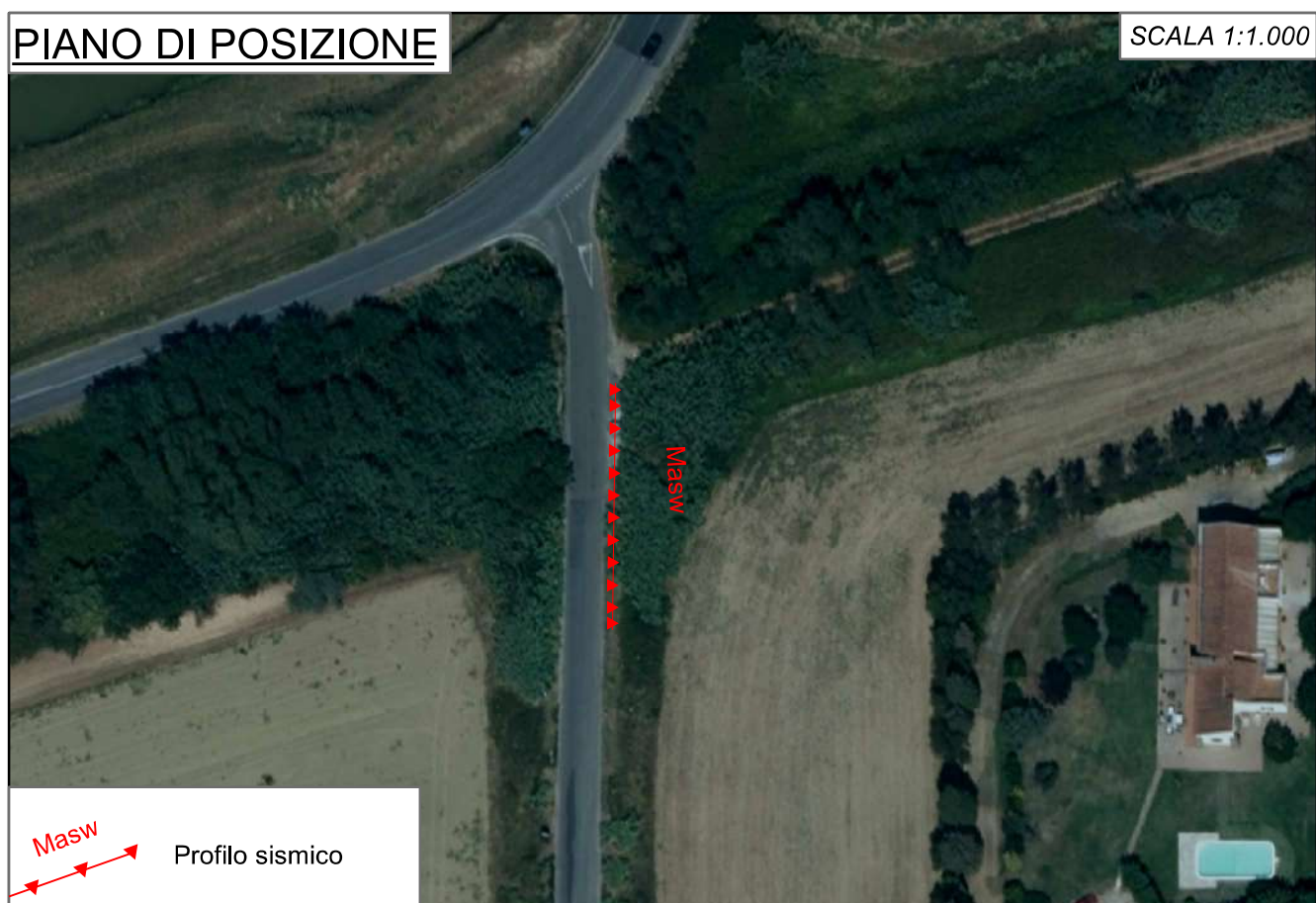
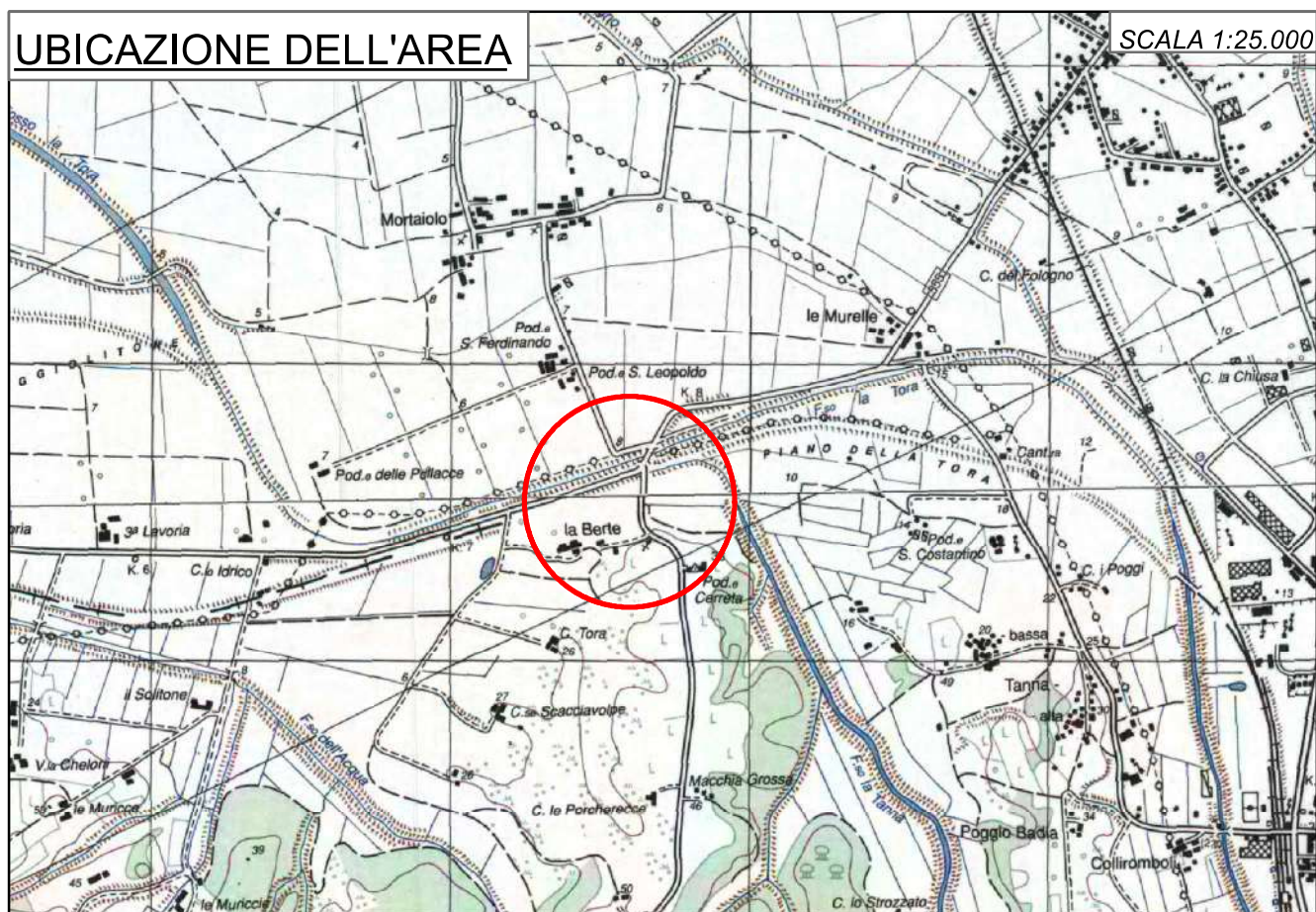
N : numero di strati;

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.

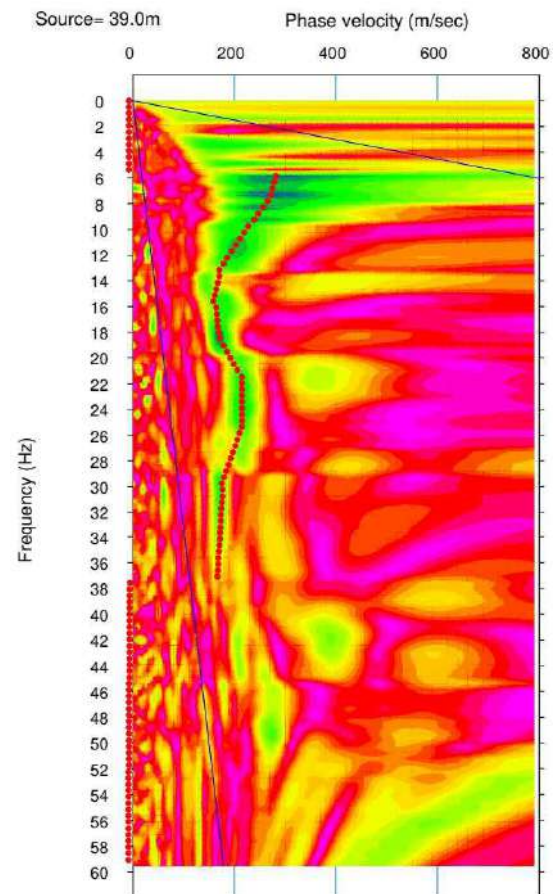
Il sito in esame non presenta un substrato simico entro 30 m di profondità, pertanto si ha $V_{S,eq} = 260$ m/s; il sito di progetto ricade in categoria di sottosuolo C, ovvero *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato 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.*

Firenze, 17 novembre 2023

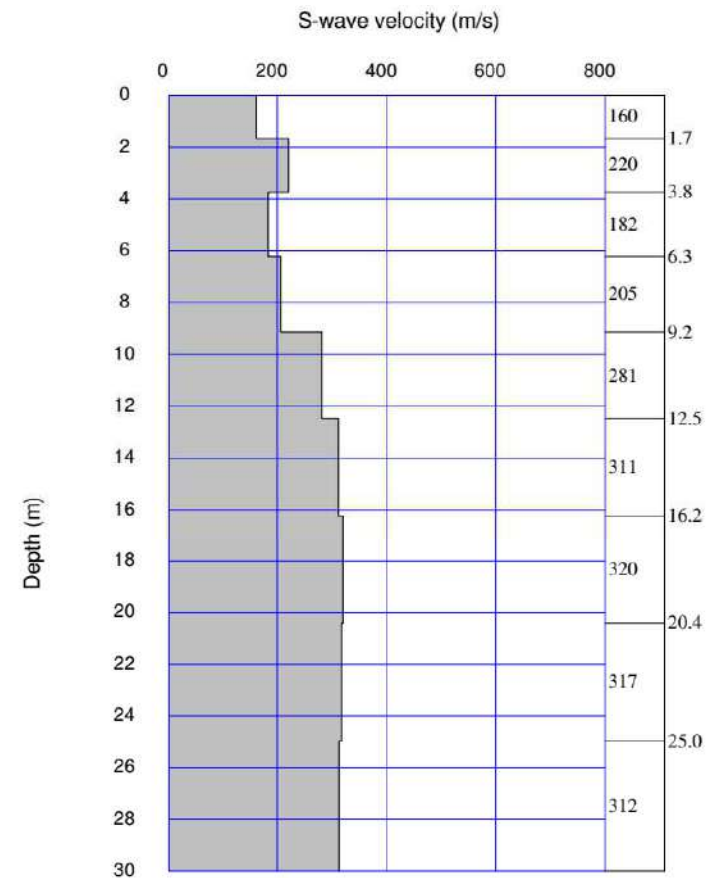
ALLEGATO 1 - UBICAZIONE DELL'AREA E PIANO DI POSIZIONE



SPETTRO DI VELOCITÀ DI FASE E CURVA DI DISPERSIONE



MODELLO DI Vs



$V_{s,eq} = 260 \text{ m/s}$