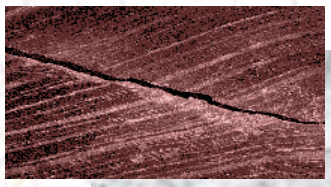
GEOLOGO Carlo Malgarotto
European geologist n.1337 - Dottore di Ricerca
Via A. Benedicenti, 14 – 19123 La Spezia
Tel. 348/3559368 - e-mail: geo@carlomalgarotto.it
Cod.Fis. MLGCRL64S08L736F p.IVA 01014800112



Comune di Bolano

Provincia della Spezia

Relazione Geologica

Relativa a: Costruzione capannone in ambito del distretto di Trasformazione – D.T.R.04 "subdistretto sub 1.a".

Committente: Lerici s.r.l.

Località: Via Giuseppe Verdi

Rif. N°: 26/23 Data: 08 novembre 2023

Il Tecnico: Geol. Carlo Malgarotto

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte di questo documento può essere divulgata a terzi, per scopi diversi da quelli originali senza il permesso del Geologo Dott. Carlo Malgarotto

1. PREMESSA

La presente relazione, riporta i risultati di un'indagine geologica eseguita in Via Giuseppe Verdi, Loc. Ceparana, nel Comune di Bolano (Sp), su incarico di Lerici s.r.l., sul terreno è in progetto la costruzione di un capannone nel Piano Urbanistico Operativo "subdistretto sub 1.1" nell'ambito del Distretto di Trasformazione DTR04.

In considerazione dell'incidenza sul terreno delle opere in oggetto e delle condizioni generali della zona, le metodologie di indagine adottate hanno previsto, nell'ordine:

- ricognizione preliminare necessaria per prendere visione dello stato dei luoghi e raccogliere tutta la documentazione occorrente con ricerca bibliografica ed esame dei relativi studi geologici;
- esecuzione di un rilevamento geologico, esecuzione di una campagna geognostica, comprensiva delle indagini eseguite nell'ambito del PUO, consistente in n.1 stesa sismica a rifrazione in onde p e onde s, n.1 misura sismica MASW, n.2 misure sismiche passive HVSR, n.1 sondaggio a carotaggio continuo con prelievo campioni e analisi di laboratorio, n.1 misura sismica Down-Hole e n.6 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH;
- rielaborazione di quanto emerso dal rilevamento e redazione della presente relazione tecnica.

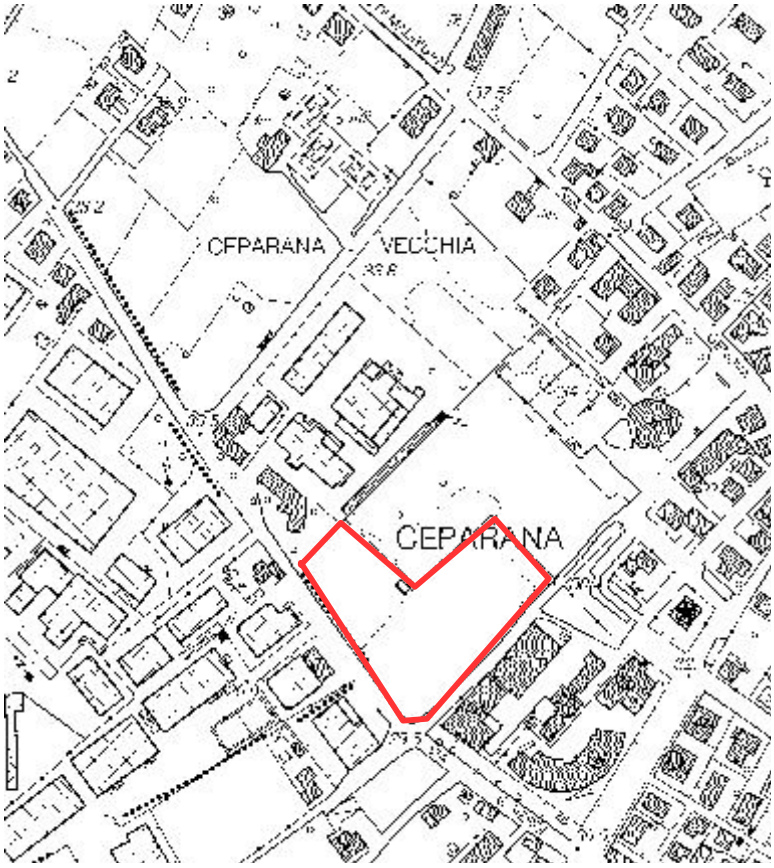
Le indagini sono state condotte in conformità a quanto previsto dalle normative vigenti. Alla presente relazione è allegata (nel testo) la seguente documentazione cartografica:

- Allegato a) planimetria geologica ed ubicazione delle indagini;
- Allegato b) sezioni geologiche;
- Allegato c) risultati del calcolo di Risposta Sismica Locale;
- Allegato d) risultati delle indagini geognostiche.

2. UBICAZIONE DELL'AREA

L'area interessata dall'indagine è situata nei pressi di Via Giuseppe Verdi in Loc. Ceparana, nel Comune di Bolano, all'area si accede dalla viabilità ordinaria. L'ubicazione è riportata negli allegati cartografici.

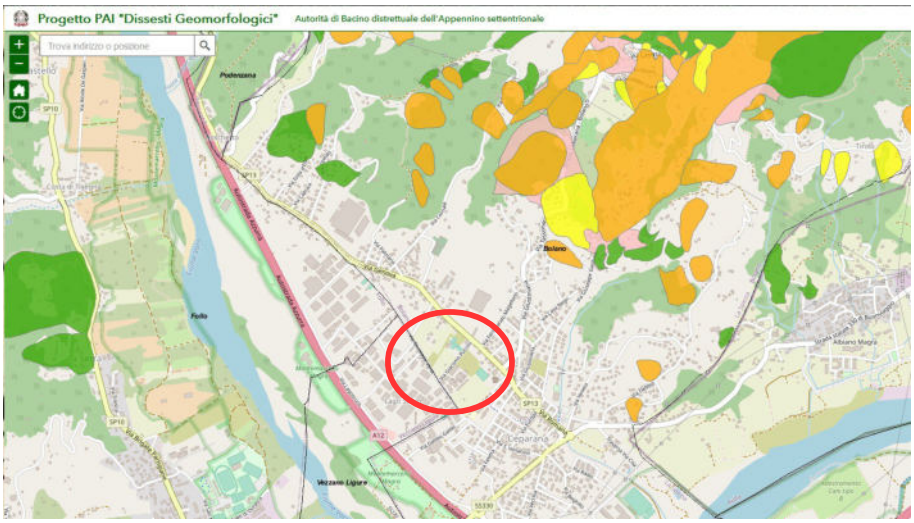
Estratto da CTR



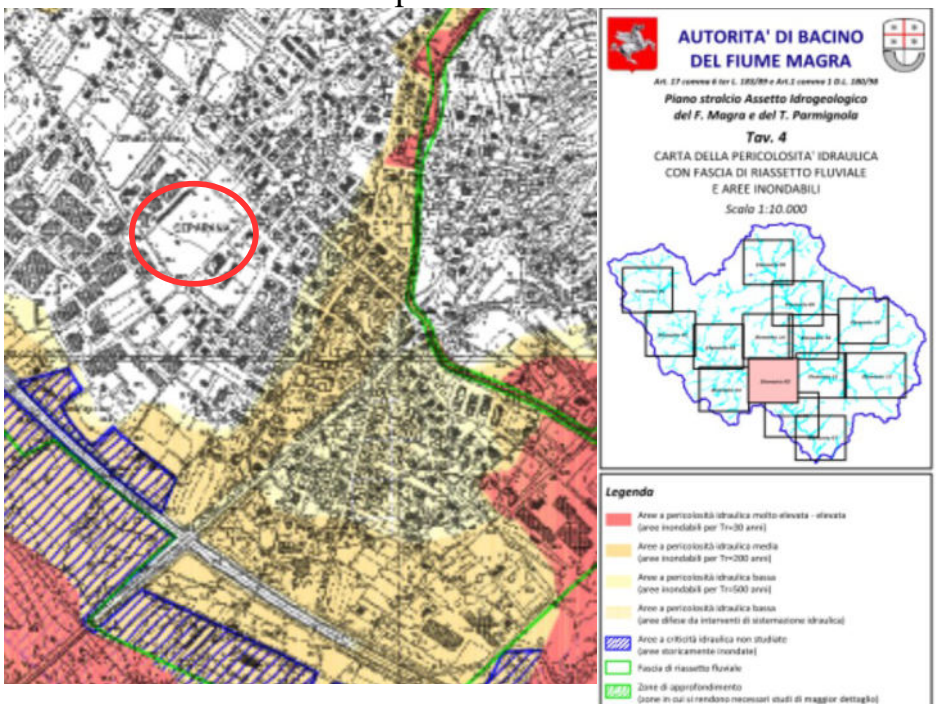
area in esame

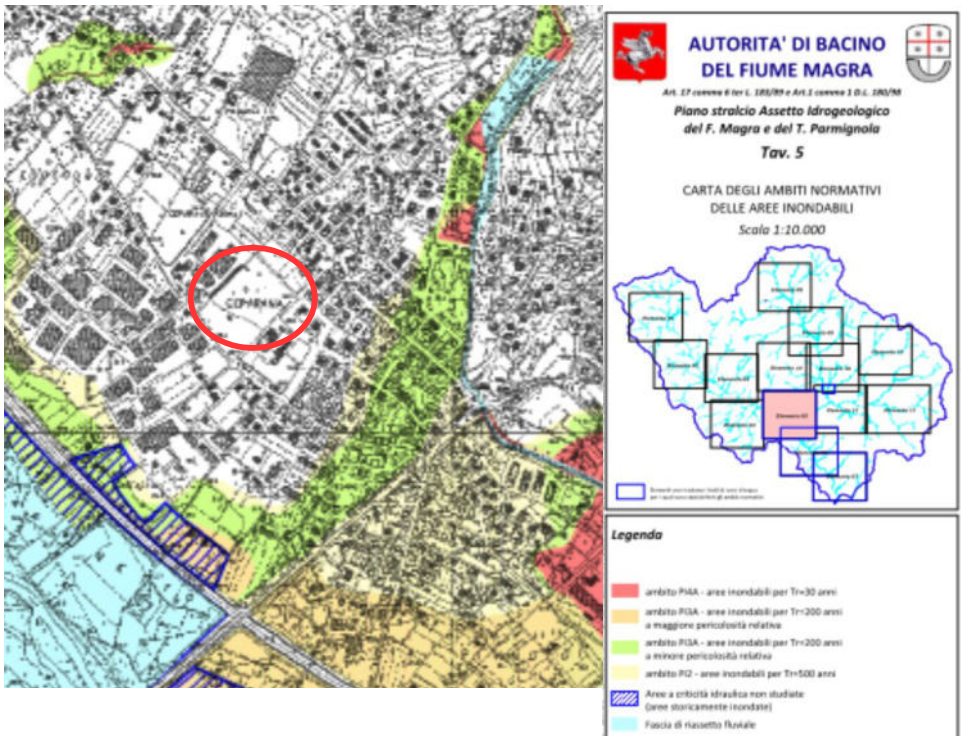
3. ZONIZZAZIONE GEOLOGICA E SUSCETTIVITÀ D'USO DEL TERRITORIO

L'area ricade nel Piano di Bacino relativo all'ex Autorità di Bacino del Fiume Magra, ora Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale. L'area non ricade in alcuna zona classificata a pericolosità geomorfologica, anche nel più recente progetto PAI "Dissesti Geomorfologici".



L'area non ricade in zona a pericolosità idraulica o in ambiti normativi.

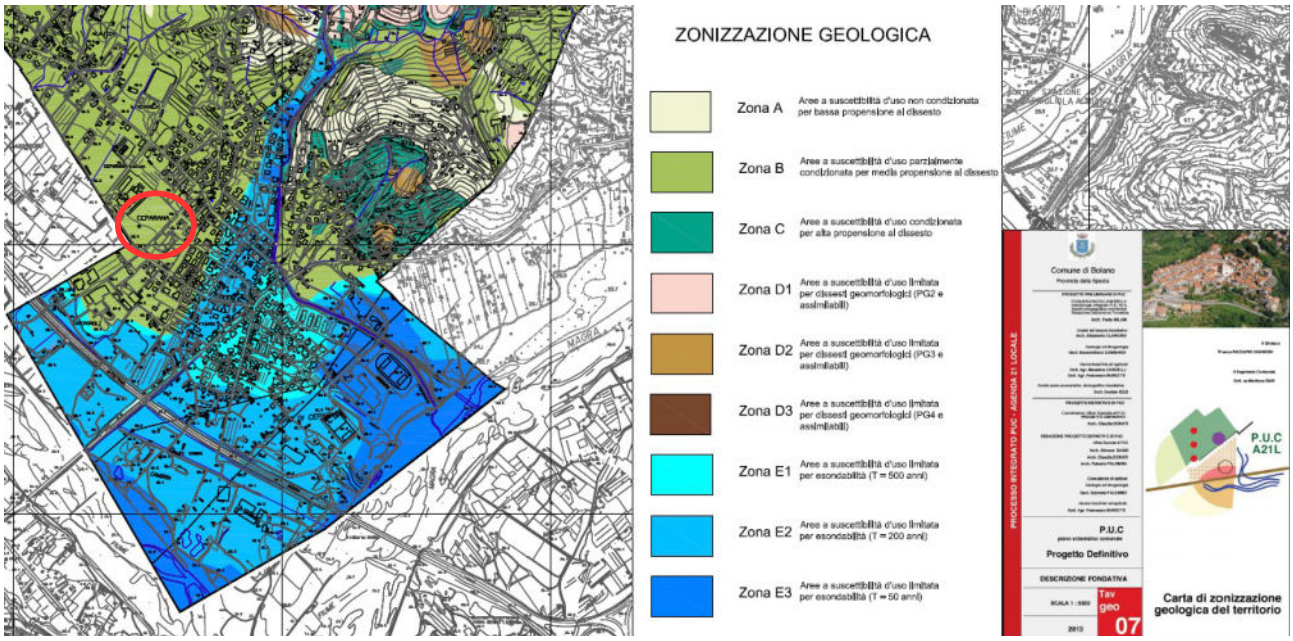




L'area si trova al di fuori della fascia di inedificabilità assoluta e fuori dalla fascia di rispetto del reticolo idrografico regionale.

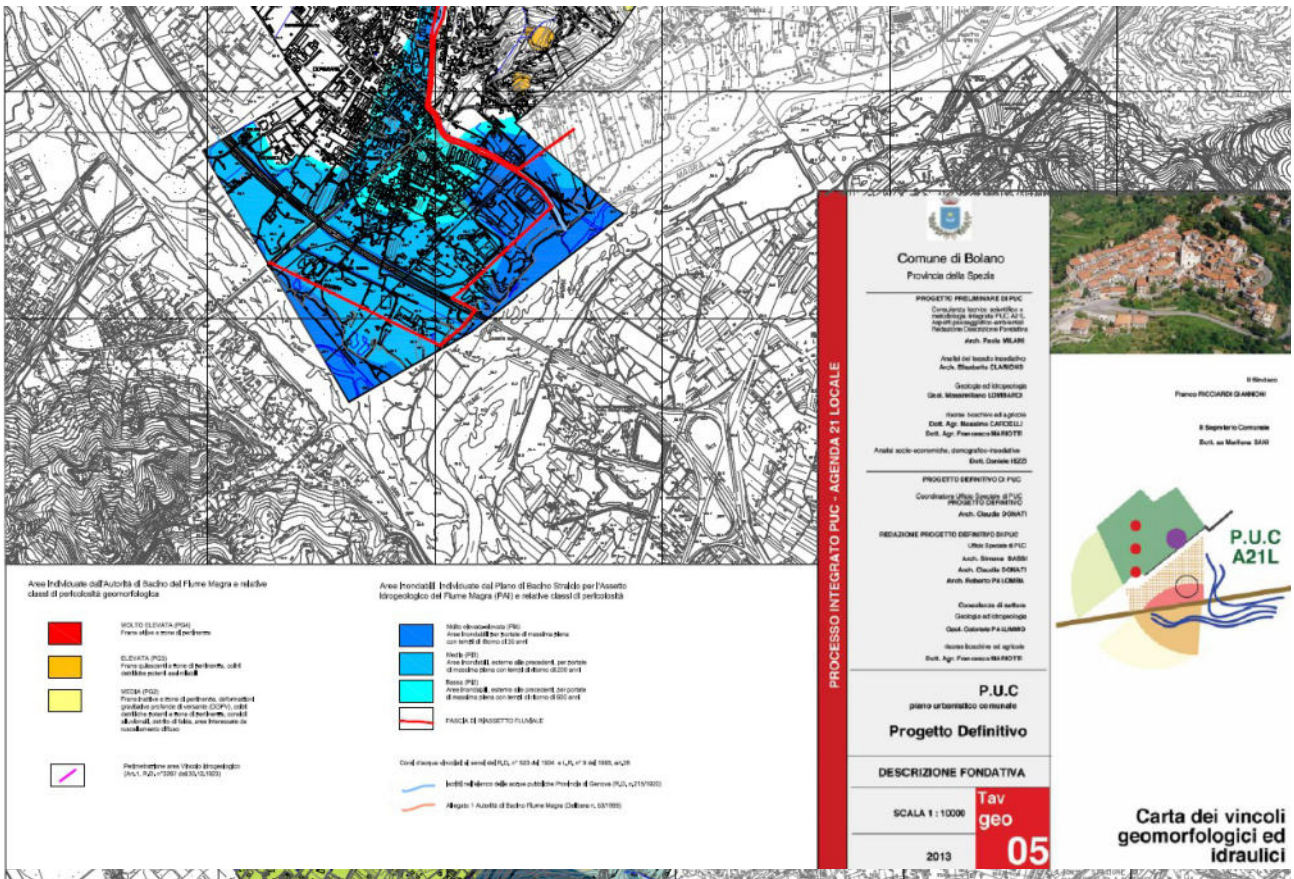
L'area non ricade in area soggetta ai seguenti vincoli:, area carsica, Pietre Verdi, vincolo idrogeologico.

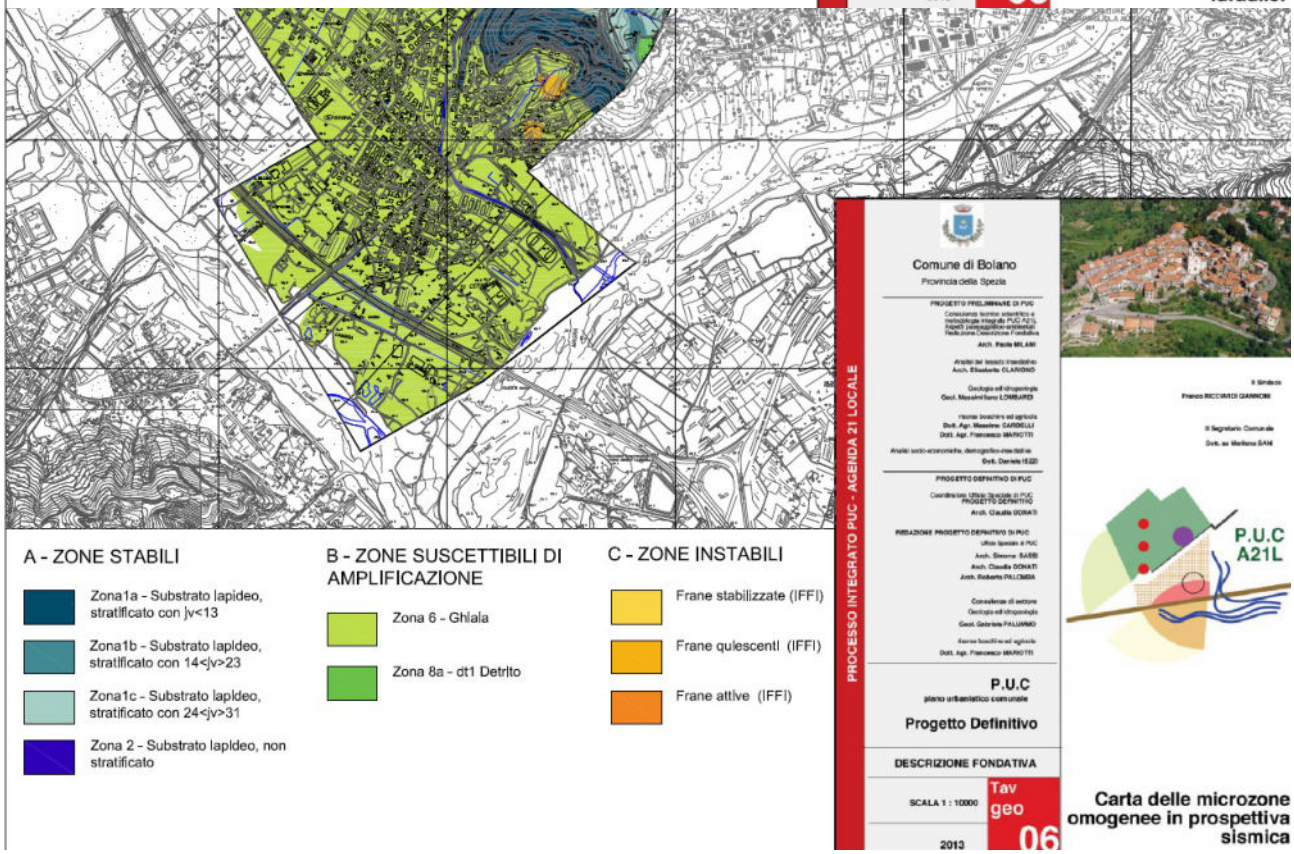
La Carta di zonizzazione geologica del territorio del PUC classifica l'area come zona B "*aree a suscettibilità d'uso parzialmente condizionata per media propensione al dissesto*".



La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica indica l'area come B – Zone suscettibili di amplificazione - Zona 6 – Ghiaia.

La Carta dei Vincoli geomorfologici ed idraulici del PUC conferma le previsioni dell'Autorità di Bacino..


Comune di Bolano
Provincia della Spezia
PROCESSO INTEGRATO PUC - AGENDA 21 LOCALE
P.U.C
piano urbanistico comunale
Progetto Definitivo
DESCRIZIONE FONDATIVA
SCALA 1 : 10000
Tav geo 05
2013
P.U.C A21L
Carta dei vincoli geomorfologici ed idraulici

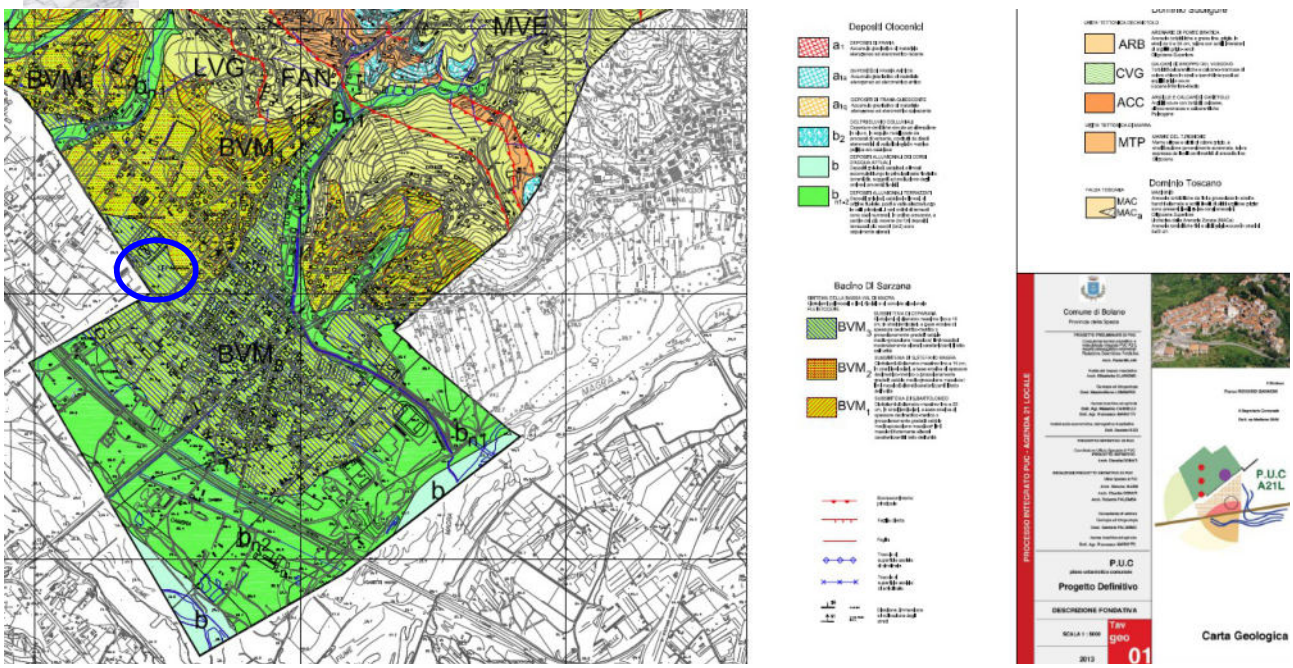

A - ZONE STABILI
Zona1a - Substrato lapideo, stratificato con Jv<13
Zona1b - Substrato lapideo, stratificato con 14<Jv>23
Zona1c - Substrato lapideo, stratificato con 24<Jv>31
Zona 2 - Substrato lapideo, non stratificato
B - ZONE SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONE
Zona 6 - Ghiaia
Zona 8a - dt1 Detrito
C - ZONE INSTABILI
Frane stabilizzate (IFFI)
Frane quiescenti (IFFI)
Frane attive (IFFI)
Comune di Bolano
Provincia della Spezia
PROCESSO INTEGRATO PUC - AGENDA 21 LOCALE
P.U.C
piano urbanistico comunale
Progetto Definitivo
DESCRIZIONE FONDATIVA
SCALA 1 : 10000
Tav geo 06
2013
P.U.C A21L
Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica

4. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE E LITOSTRATIGRAFICHE

Con riferimento alla bibliografia ufficiale, rappresentata dalla Carta Geologica d'Italia Foglio "La Spezia" e, soprattutto, dal rilevamento geologico, effettuato in un'area ritenuta significativa, il terreno è rappresentato da depositi alluvionali del "*Sintema della Bassa Val di Magra*" (Pleistocene) ed in particolare del "subsintema di Ceparana" consistente in "*ciottolami con diametro massimo fino a 15 cm, in strati*

lenticolari a base erosiva di spessore decimetrico - metrico massicci o grossolanamente gradati; sabbie medio-grossolane e massicce; limi massicci moderatamente alterati caratterizzanti il tetto dell'unità" (da Carta Geologica d'Italia).

Anche la Carta Geologica del PUC riporta i medesimi depositi alluvionali.



Le indagini effettuate hanno mostrato la presenza, al di sotto di circa 80 cm di suolo agricolo, di depositi alluvionali consistenti in limo argilloso con clasti arenacei seguiti da livelli più limosi e da ghiaie limose, prevalenti.

Da un punto di vista tettonico nell'area non affiorano altri elementi significativi.

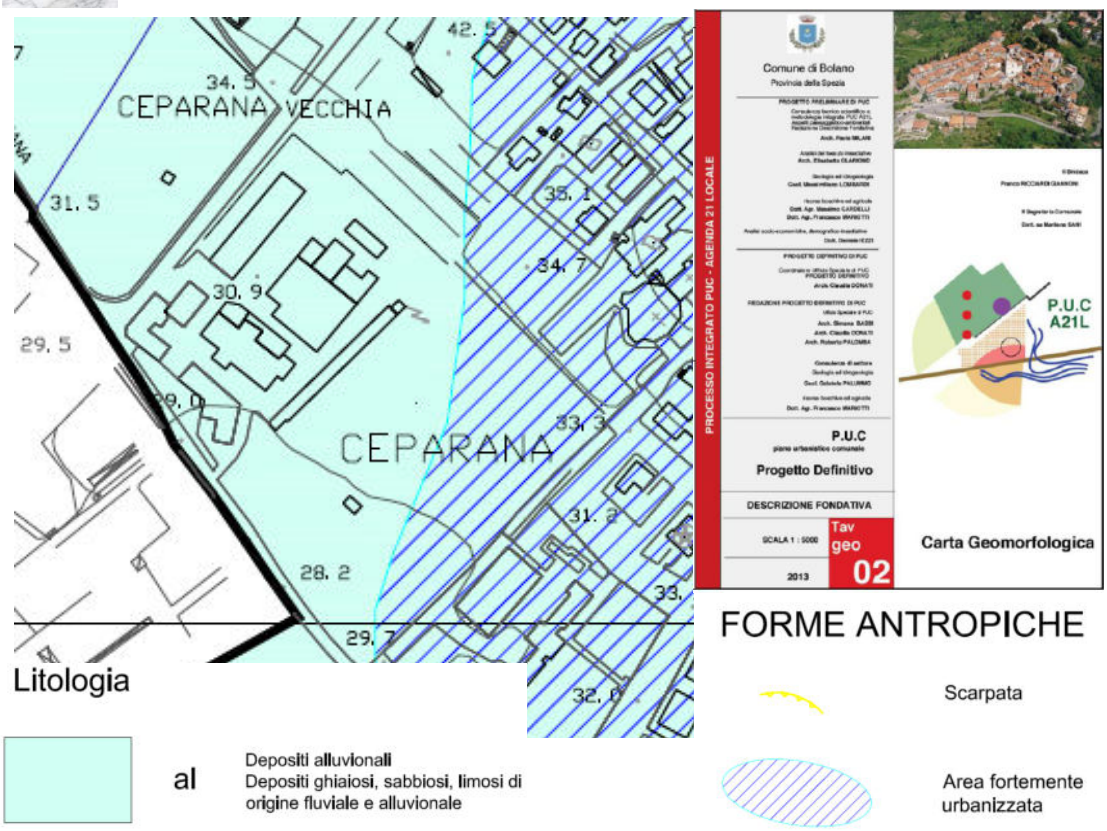
In generale, nell'area di interesse, ci troviamo in corrispondenza di alternanze di strati e livelli di depositi misti costituiti da ghiaie, sabbie, ciottoli e limi in percentuali diverse, eteropici, di spessore superiore ai 30 m, che costituiscono quindi il volume di interesse geologico, geotecnico e sismico.

5. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

L'area in esame è situata ad una quota di circa 30÷31 m s.l.m., in corrispondenza di una pianura alluvionale con pendenze molto basse. Ci troviamo in un'area antropizzata in cui l'originaria morfologia è stata poco modificata dalla realizzazione degli edifici e delle strade.

Nella cartografia dell'Autorità di Bacino, l'area non ricade in alcuna zona classificata a pericolosità geomorfologica. La Carta Geomorfologica del PUC non evidenzia forme di rilievo.

Non si notano, all'interno dell'area di indagine, segni di dissesto, cedimenti o lesioni nel terreno.



Dal punto di vista idrogeologico non si nota la presenza di un reticolo idrografico superficiale organizzato, sono presenti solo vecchi solchi irrigui non mantenuti.

I depositi alluvionali sono permeabili per porosità (permeabilità primaria) e sono caratterizzati da valori medio-alti per gli strati prevalentemente ghiaiosi e bassi per quelli prevalentemente limosi.

I terreni alluvionali sono sede di una falda che può arrivare a quote prossime al piano campagna in condizioni di piogge intense e persistenti, falda che ha generalmente una direzione di flusso da monte verso valle, in particolare verso il Fiume Vara, e presenta forti escursioni del livello statico.

Nell'area non sono presenti sorgenti, né si ha notizie di pozzi esistenti, esistono nelle vicinanze pozzi che sono censiti nella Carta idrogeologica del PUC.

Il PUC di Bolano riporta nell'area la profondità della falda a circa 8 metri dal piano campagna (p.c.), per quanto sia noto che tali valori siano variabili in funzione degli apporti, si nota comunque una falda abbastanza superficiale.

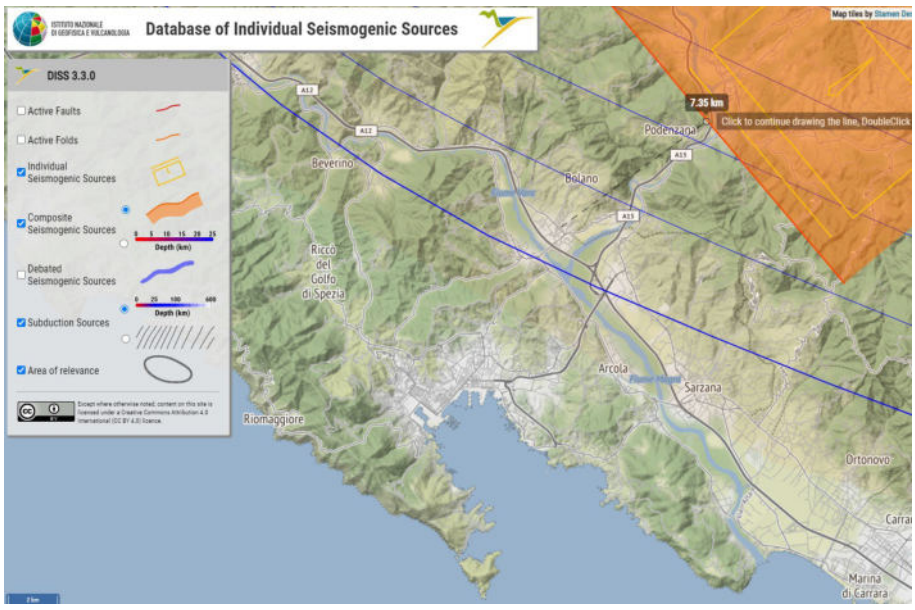
Nel corso delle indagini è stato misurato il livello della falda nei fori delle penetrometrie, misurando valori di 2,2 m dal p.c. nella prova P1, 4,5 m nella P2 e 3,7

m nella P3, valori che mostrano un livello statico abbastanza superficiale nonostante il periodo non particolarmente ricco di precipitazioni, anzi a poco tempo da un periodo siccitoso.

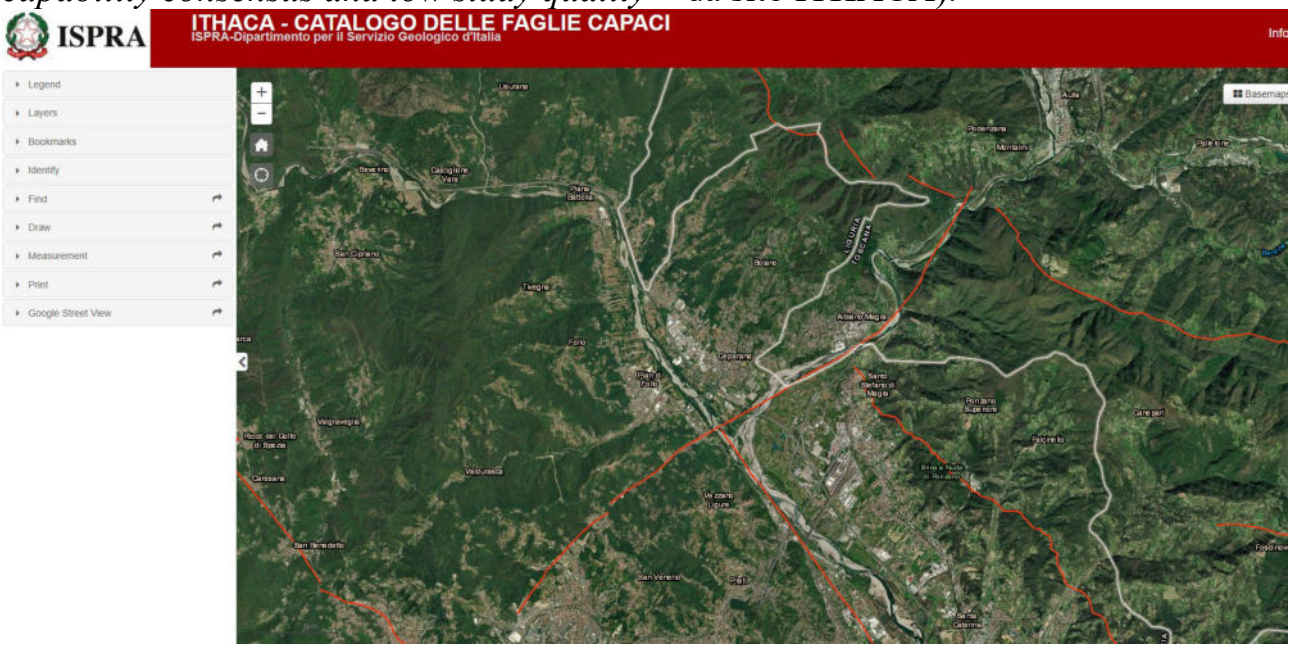
6. NORME SISMICHE

Il Comune di Bolano, in base al DGR 216 del 13.03.2017 Regione Liguria, viene classificato come "Zona 2" con accelerazione di gravità pga=0,25g.

Ci troviamo in prossimità di zone sismogenetiche, così come riportato nel database DISS dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Come evidenziato dall'immagine successiva tratta dal WebGis di DISS, ci troviamo ad una distanza di circa 7 Km dalla sorgente sismogenetica più vicina.



Il catalogo ISPRA delle faglie attive e capaci ITHACA, non riporta faglie che attraversano l'area, siamo a oltre un chilometro di distanza dalla Faglia Magra 2, diretta, sulla quale si hanno però poche informazioni sulla capacità (*low reliability capability consensus and low study quality* – da sito ITHACA).



I recenti approfondimenti dell'Università di Genova hanno evidenziato l'assenza di Faglie Attive e Capaci in Liguria, sono presenti solo Faglie potenzialmente attive e capaci.

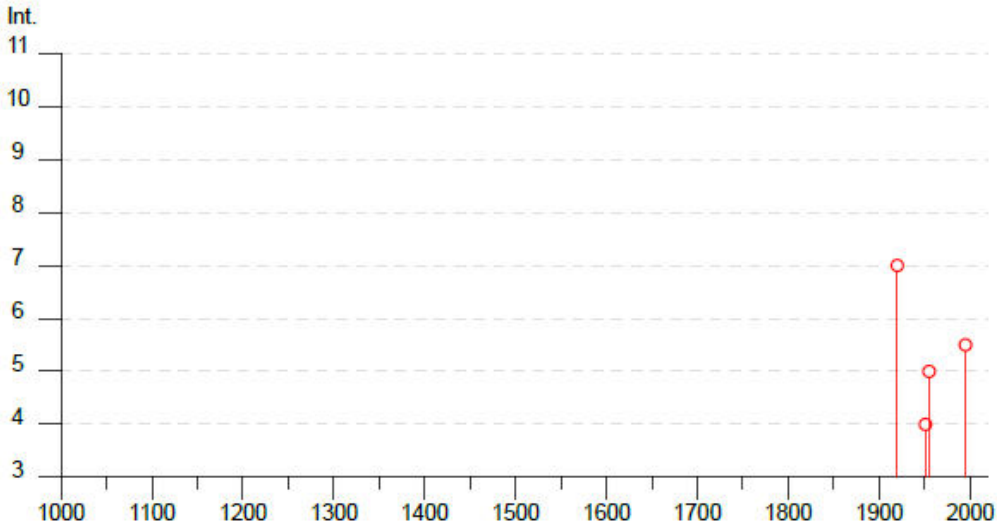
Sempre in tema di zone sismogenetiche, ci troviamo in corrispondenza della zona 916 che coincide con il settore in distensione tirrenica ed è caratterizzato da una sismicità di bassa energia che sporadicamente raggiunge valori di magnitudo relativamente elevati, che sono più frequenti nell'adiacente zona 920.

Il catalogo parametrico dei terremoti italiani e il database macrosismico italiano (CPTI15-DBMI15 v.4.0) riportano l'elenco dei terremoti documentati nell'area del Comune di Bolano:

Effects	Reported earthquakes								
Int.	**Year**	**Mo**	**Da**	**Ho**	**Mi**	**Se**	**Epicentral area**	**NMDP**	**Io**	**Mw**
7	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10	6.53
4	1951	08	12	21	19		Garfagnana	21	5	4.59
5	1955	04	11	15	24		Liguria orientale	29	5	4.07
5-6	1995	10	10	06	54	2	Lunigiana	341	7	4.82
NF	2002	11	13	10	48	0	Franciacorta	768	5	4.21

Bolano

PlaceID	IT_34095
Coordinates (lat, lon)	44.188, 9.895
Municipality (ISTAT 2015)	Bolano
Province	La Spezia
Region	Liguria
No. of reported earthquakes	5



Closest localities (within 10km) with reported macroseismic observations

Place name	EQs	Distance (km)
Albiano Magra	2	2
Ceparana	2	3
Caprigliola	1	3
Santo Stefano di Magra	6	3
Novegigola	1	4
Follo (Piano di Follo)	2	4
Podenzana (Montale)	5	4
Follo Monte	2	4
Castello di Podenzana	1	5
Madrignano	1	5
Vezzano Ligure	7	5
Aulla	29	6
Bibola	1	7
Terrarossa	1	7
Barbarasco	2	7
Villa	1	7
Tresana	15	8
Calice al Cornoviglio	8	8
Migliarina	1	8
Arcola	4	8
Garbugliaga	1	8
Beverino	4	9
Pallerone	1	9
Popetto	1	9
Fornoli	1	9
Sannaco	1	10

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (2022). Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.4

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (2020). The Italian earthquake catalogue CPTI15. Bulletin of Earthquake Engineering, 18(7), 2953-2984. **https://doi.org/10.1007/s10518-020-00818-y**

Dalle caratteristiche geologiche dell'area, con velocità delle onde s misurate con tecniche MASW e HVSR, oltre ad avere il profilo tomografico della rifrazione in onde s, pari a $vs_{eq}=vs_{30}=421\div424$ m/s al piano campagna, valori confermati dalla misura Down-Hole effettuata di $vs_{eq}=vs_{30}=444$ m/s, con substrato sismico situato a profondità oltre i 30 m (indicativamente alla profondità di circa 40 m), l'area è caratterizzata da terreni riconducibili a terreni di tipo B secondo il D.M. 17.01.2018, riferita al piano campagna.

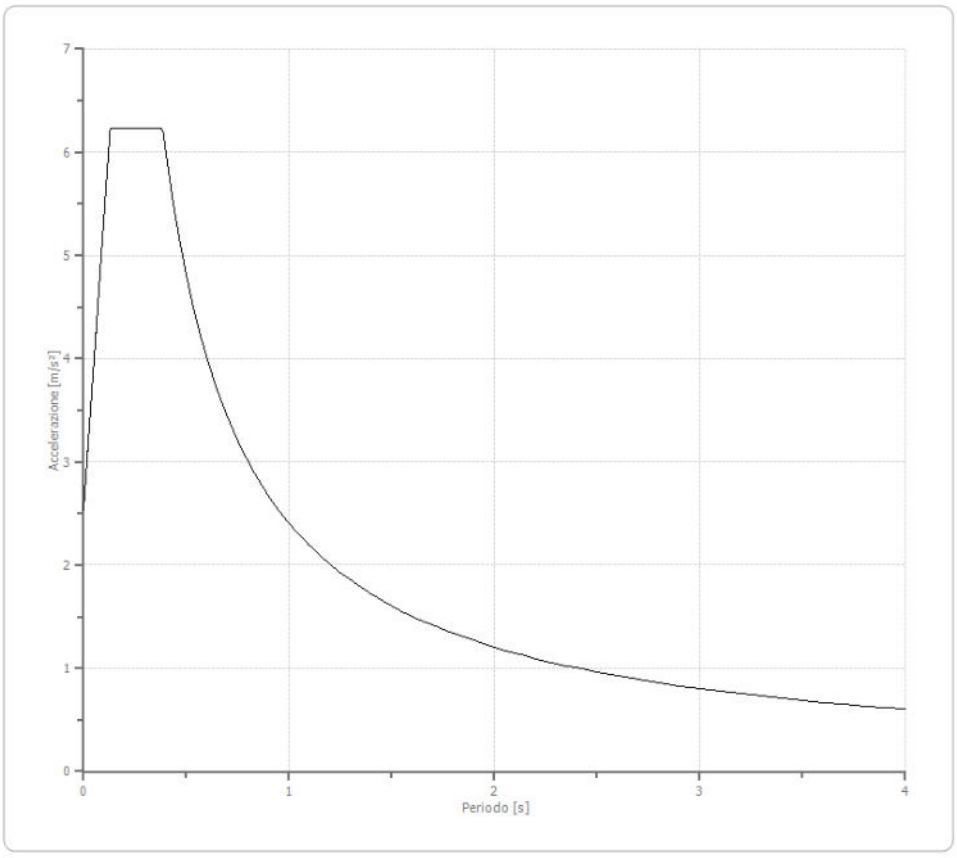
Non avendo i terreni una crescita regolare della velocità delle onde s con la profondità, è stata effettuata l'analisi di Risposta Sismica Locale con il programma RSLIII della Geostru sas, ed è stato definito lo spettro elastico di riferimento, i risultati sono elencati in allegato "c". Gli accelerogrammi sono stati importati con REXELweb Sgobba, S., C. Felicetta, E. Russo, M. D'Amico, G. Lanzano, F. Pacor, L. Luzi, R. Baraschino, G. Baltzopoulos, I. Iervolino *The online graphical user interface of REXELweb for the selection of accelerograms from the engineering strong motion database (ESM).* Atti del 39° convegno online GNGTS 22-24 giugno 2021. .

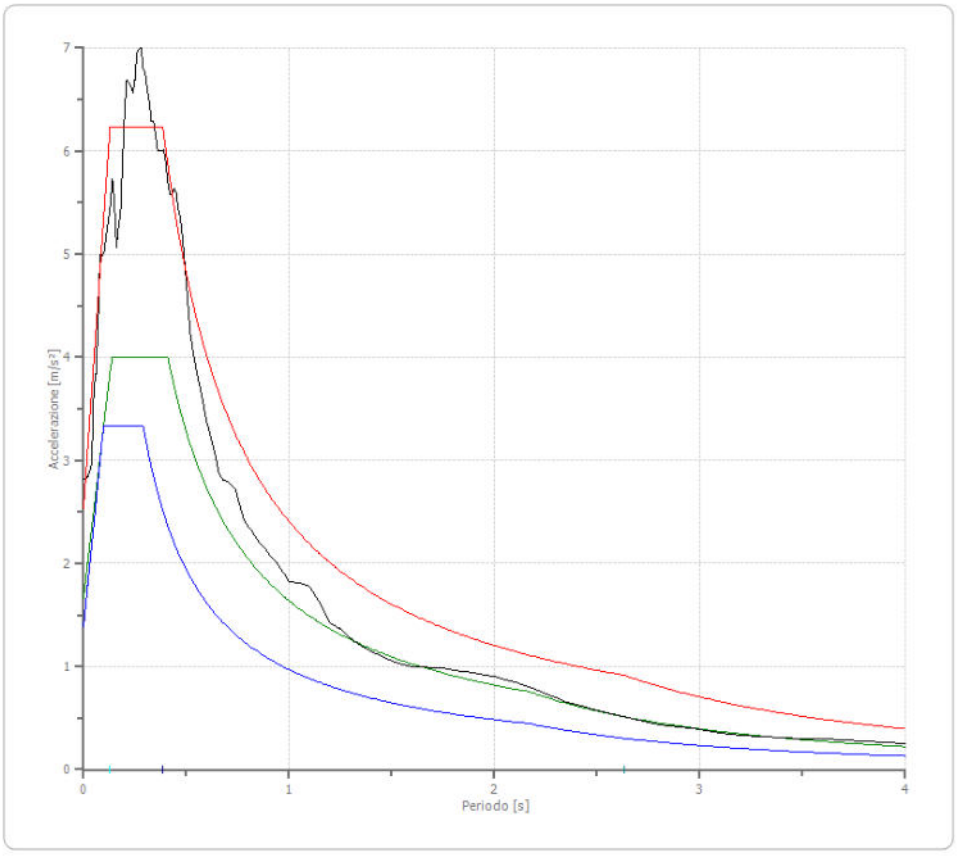
I risultati dell'analisi hanno evidenziato uno spettro di risposta elastico, di cui si riportano di seguito i parametri:

Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
2.530	2.460782	--	0.129	0.386	2.632	2.530	6.227	1.830

Di seguito vengono riportati i diagrammi relativi allo spettro di risposta elastico normalizzato e il suo confronto con gli spettri dei terreni classificati come categoria A e categoria B.


Accelerazione [m/s²]
Periodo [s]
Spettro normalizzato


Accelerazione [m/s²]
Periodo [s]
SLV, Cat. B
SLV, Cat. A
Spettro medio
Spettro normalizzato
TB
TC
TD

Per quanto riguarda il pericolo di liquefazione, le analisi granulometriche effettuate in due campioni indisturbati e uno rimaneggiato, oltre all'osservazione dei materiali estratti, hanno mostrato che la curva granulometrica in tutti e tre i casi è esterna ai fusi di liquefazione identificati dal D.M.17.01.2018 per cui si può escludere la verifica alla liquefazione.

L'amplificazione topografica dell'area può essere in classe T1.

La Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica del PUC indica l'area come B – Zone Stabili suscettibili di amplificazione - Zona 6 – Ghiaia.

7. CARATTERISTICHE MECCANICHE DEL TERRENO

Allo scopo di caratterizzare anche meccanicamente i terreni è stata eseguita una campagna geognostica con n.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prelievo di n.2 campioni indisturbati e n.1 campione rimaneggiato, sottoposti poi ad analisi di laboratorio e n.3 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH (considerando le indagini eseguite nel sedime previsto).

Le prove sono ubicate in allegato “a”. Le caratteristiche degli strumenti utilizzati sono in allegato “d”.

I risultati del sondaggio, delle analisi e delle prove vengono riportati negli allegati "d". Le litologie incontrate hanno reso talvolta impossibile il prelievo di campioni indisturbati, soprattutto per la presenza di ciottoli. Tutti i livelli individuati presentano alternanze di matrice prevalentemente sabbiosa a quella limosa, con percentuali di ghiaie anche significativamente diverse.

Si distinguono, dal punto di vista geotecnico e dalle analisi effettuate, cinque livelli principali, uno strato 1 costituito dal suolo (0÷1 m circa di profondità), caratterizzato solo da prove DPSH; uno strato 2 di alternanze di ghiaia con sabbia limosa e limo argilloso con ciottoli (1÷2,5 m circa) campione CI1, uno strato 3 di limi con argilla debolmente sabbiosi (2,5÷4 m circa) campione CR2; uno strato 4 di ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa di colore nocciola con livelli di limi con argilla e sabbia (4÷8 m circa) campione CI3; infine uno strato 5 (8÷29,9 m circa) di alternanze di ghiaie limose grigie compatte e di limi argillosi con ciottoli.

La scelta delle analisi è stata effettuata in funzione delle caratteristiche dei campioni estratti, soprattutto granulometriche.

Nei certificati delle analisi di laboratorio allegate, a cui si rimanda, sono inoltre riportati i risultati delle seguenti analisi: granulometria, indice dei vuoti, porosità e grado di saturazione, umidità naturale, γ_{nat}, (anche secco e saturo), consolidazione edometrica (solo campione CR2). Di seguito le caratteristiche geotecniche dei vari strati derivanti dalle analisi e indagini effettuate, la prima tabella illustra i valori dell'angolo d'attrito (°) misurati (nella colonna relativa alle analisi di taglio diretta viene riportata anche la coesione in kPa).

Per le prove DPSH sono state considerate quelle ricadenti nel sedime previsto del fabbricato (P2, P5, P6).

Lo strato 1 è, ovviamente quello che presenta maggiore variabilità laterale e risente delle condizioni di saturazione del terreno nei vari periodi in cui sono state condotte le prove.

Per lo strato 4 si precisa che il campione estratto si posiziona al tetto dello strato, al contatto con lo strato 3, mentre per lo strato 5 l'unica misura è nella prova P6 che si è fermata a circa 13 m per rifiuto alla penetrazione.

Strato	profondità	DPSH	DPSH medio	Taglio diretto
1	0÷1 m	22,9÷27,2	25,68	-
2	1÷2,5 m	26,5÷27,9	26,95	29,7 c=20,3
3	2,5÷4 m	23,83÷25,3	24,51	23,6 c=24,8
4	4÷8m	31,3÷31,8	31,59	26,1 c= 25,1
5	8÷29,9 m	34,87	34,87	-

Per quanto riguarda le prove edometriche, le caratteristiche di consistenza e granulometria dei campioni hanno reso possibile l'esecuzione della prova solo per il campione CR2:

PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	Cv cm²/sec	k cm/sec
24,6 ÷ 49,2	1154	0,001030	8,75E-08
49,2 ÷ 98,4	2730	0,000326	1,17E-08
98,4 ÷ 196,8	5319	0,000485	8,95E-09
196,8 ÷ 393,6	9218	0,000496	5,28E-09
393,6 ÷ 787,2	15226	0,000528	3,40E-09
787,2 ÷ 1574,4	27476	0,000492	1,76E-09

Dalle prove penetrometriche è possibile correlare il numero di colpi al modulo

edometrico, così come le velocità delle onde sismiche, pur non essendo comparabili a una prova di laboratorio, vengono comunque elencati in allegato “d”.

8. CONCLUSIONI

A conclusione dell'indagine, sulla risultanza delle varie osservazioni effettuate, si ritiene l’area idonea dal punto di vista geologico, attenendosi alle indicazioni della presente relazione, compatibile con i vincoli e le classificazioni dell'area.

Si è evidenziata la stratigrafia dell'area consistente nel “*Sintema della Bassa Val di Magra”* (Pleistocene), costituiti da “*ciottolami polimodali e limi, fluviali e di conoide alluvionale*” nel particolare sono presenti depositi del “*subsintema di Ceparana”* costituiti da “*conglomerati con diametro massimo fino a 15 cm, in strati lenticolari a base erosiva di spessore decimetrico-metrico massicci o grossolanamente gradati; sabbie medio-grossolane e massicce; limi massicci moderatamente alterati caratterizzanti il tetto dell'unità”*; si tratta di depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi con limi e ciottoli in presenza di falda che in condizioni di piogge intense e persistenti può arrivare a quote prossime al piano campagna.

Siamo in un'area di pianura, in Zona Stabile suscettibile di amplificazioni locali, come evidenziato dall'analisi di risposta sismica locale.

L'area non presenta pericolosità geomorfologiche di rilievo

Si nota, dal punto di vista geotecnico, che il terreno presenta discrete caratteristiche meccaniche, i relativi parametri geotecnici (medi) sono stati misurati *in situ* ed in laboratorio. Le variazioni granulometriche negli strati , sia laterali che verticali, sono generalmente abbastanza contenute, e ovviamente legate alle condizioni di messa in posto.

È stata inoltre valutata la possibile amplificazione sismica degli strati sia con misure *in situ* per la determinazione del parametro $vs_{30}=vs_{eq}$ per il metodo semplificato sia con i calcoli di risposta sismica locale definendo il relativo spettro di risposta elastico.

Sulla base delle indicazioni geotecniche e sismiche, bisognerà quindi valutare non solo le modalità fondazionali ma anche la stabilità degli scavi stessi, prevedendo, nel caso, opportune opere di di sostegno provvisionali.

Gli scavi dovranno comunque essere realizzati in periodo di scarse precipitazioni.

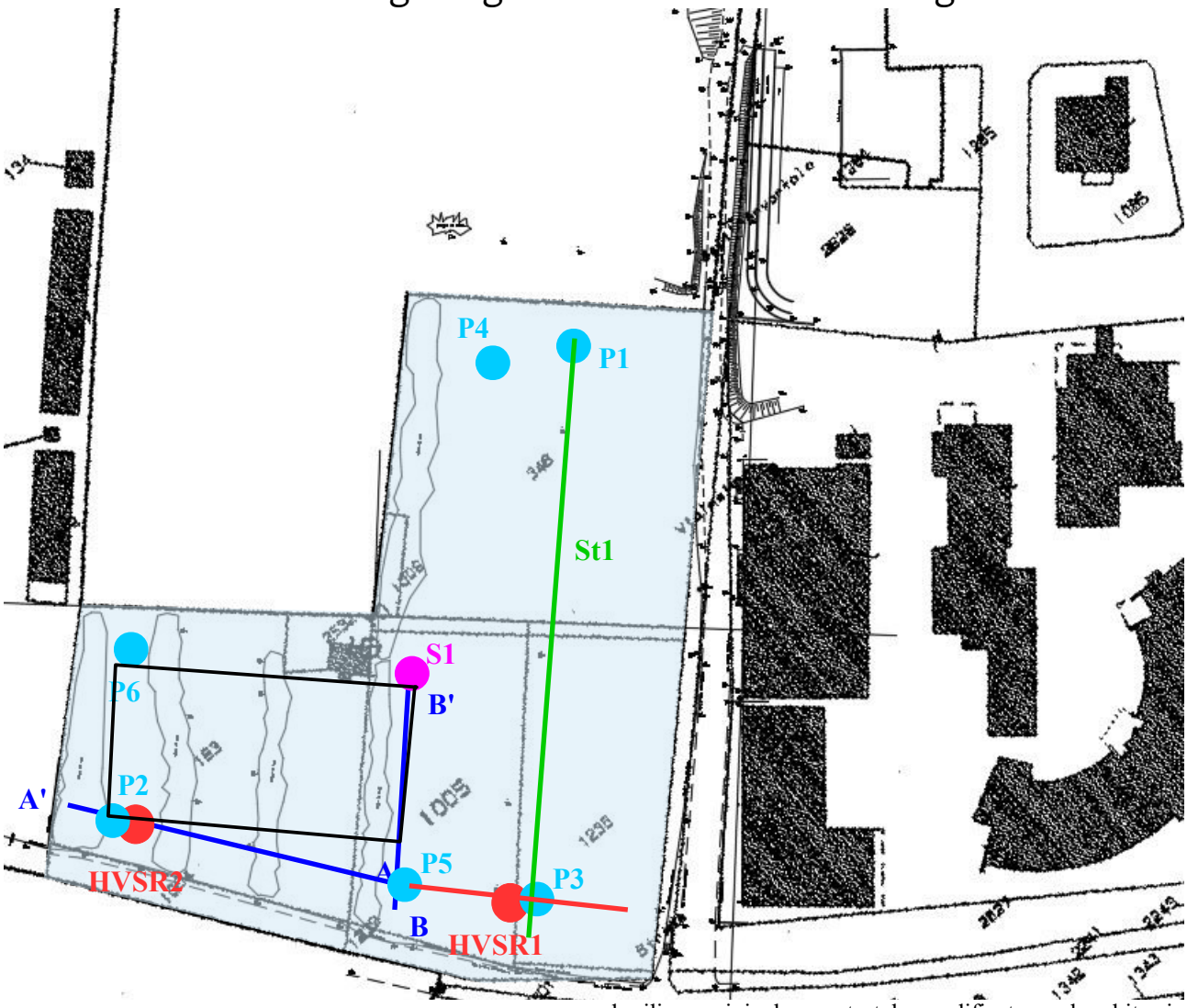
Si raccomanda la manutenzione necessaria al mantenimento delle condizioni di stabilità e il controllo della regimazione delle acque.

Per ogni chiarimento si resta a disposizione.

La Spezia, 08 novembre 2023

Geol. Carlo Malgarotto

Allegato "a"
Planimetria geologica – Ubicazione delle indagini



da rilievo originale su catastale, modificato, scala arbitraria

Subsintema di Ceparana

traccia sezioni

HVSR1 — misure sismiche HVSR

St1 — stesa sismica a rifrazione onde p + s

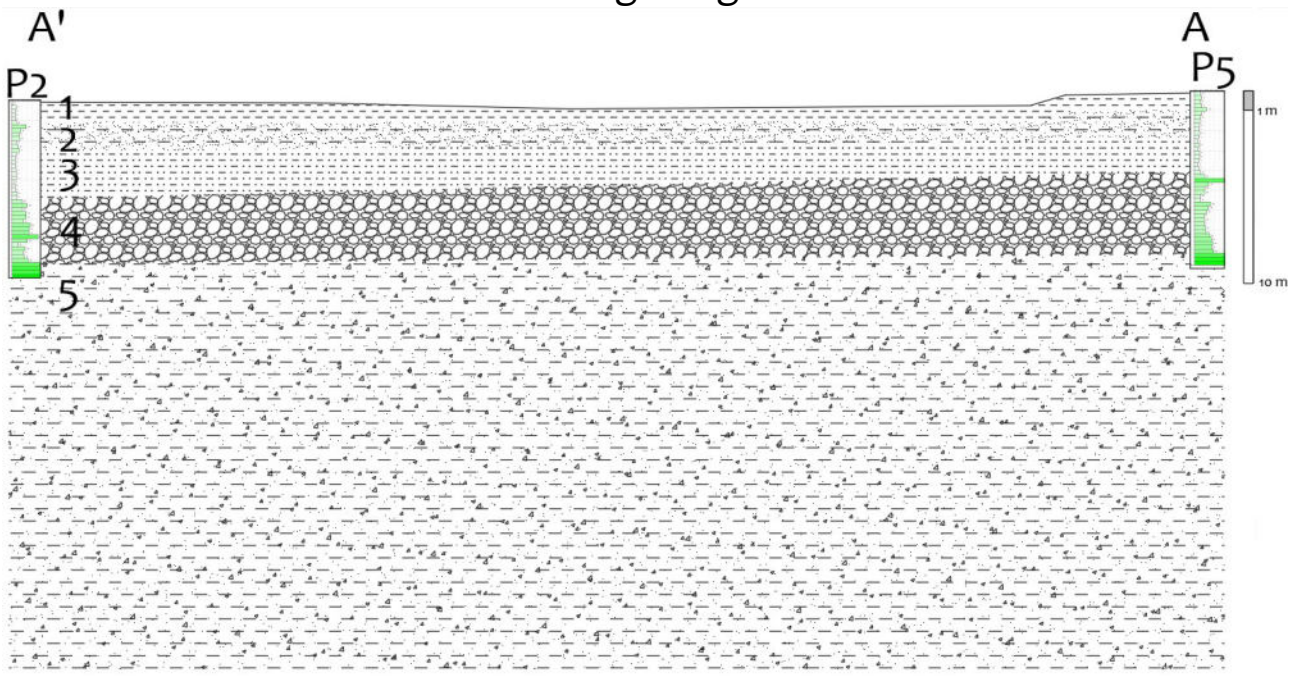
MASW — misura sismica MASW

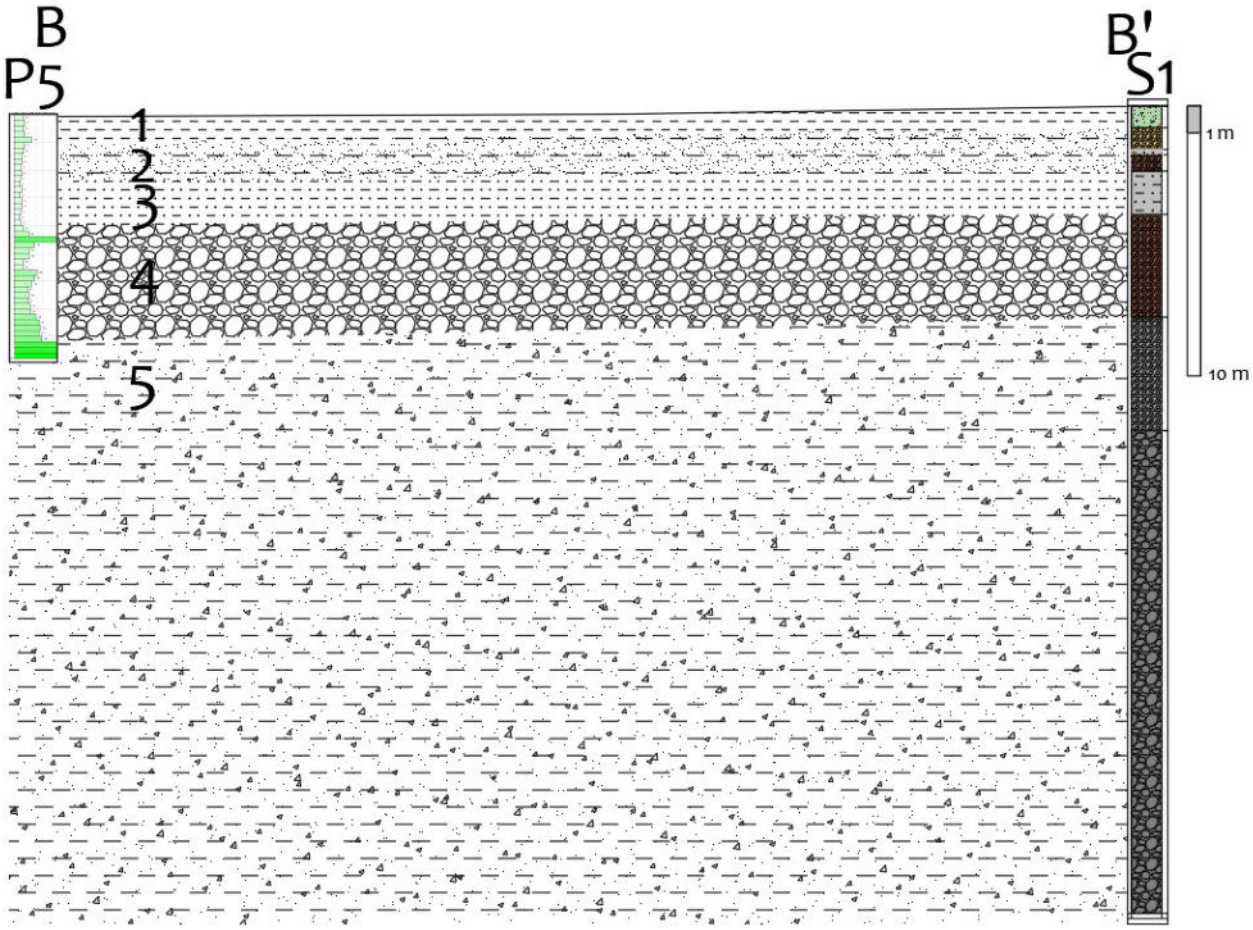
P1 — Prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH

S1 — Sondaggio geognostico e Down-Hole

Ingombro approssimativo del fabbricato

Allegato "b"
Sezioni geologiche





scala arbitraria

Allegato "c"
risultati del calcolo di Risposta Sismica Locale

INTRODUZIONE

PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione. Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
   2.1. Stima della funzione di trasferimento;
   2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
   2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;
   Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile "trasferire" l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M-1}{10}$$

dove *M* rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l'N-esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t}\right]$, la propagazione delle onde di taglio che attra sano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \qquad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = U(z)^{i\omega t} \qquad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega t)\frac{d^2U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \tag{3}$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \tag{4}$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \tag{5}$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega}\xi \tag{6}$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z,t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \tag{7}$$

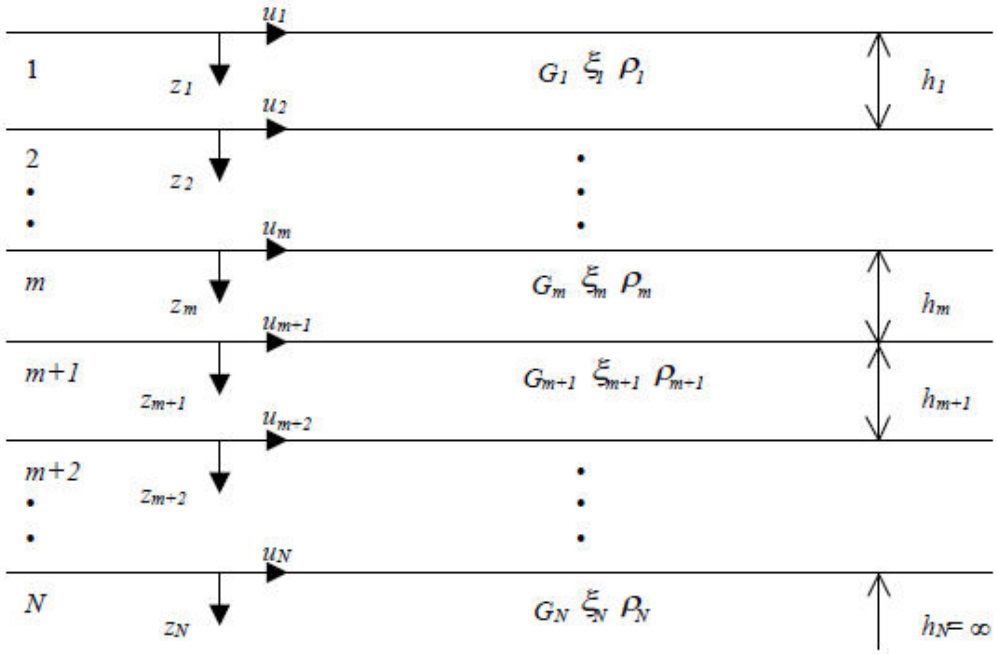


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega\sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \tag{8}$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z,t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)}\right] e^{i\omega t} \tag{9}$$

Per il generico strato *m* di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità (z = 0) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0,t) = (E_m + F_m)e^{i\omega t} \tag{10}$$

$$u_m(h_m,t) = \left(E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}\right)e^{i\omega t} \tag{11}$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \tag{12}$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \tag{13}$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell'*m*-esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0,t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m]e^{i\omega t} \tag{14}$$

$$\tau_m(h_m,t) = ik_m^* G_m^* \left[E_m e^{ik_m^* h_m} - Fe^{ik^* h_m}\right]e^{i\omega t} \tag{15}$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \tag{16}$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*}\left(E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}\right) \tag{17}$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2}E_m\left(1 + \alpha_m^*\right)e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2}F_m\left(1 - \alpha_m^*\right)e^{-ik_m^* h_m} \tag{18}$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2}E_m\left(1 - \alpha_m^*\right)e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2}F_m\left(1 + \alpha_m^*\right)e^{-ik_m^* h_m} \tag{19}$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati *m* ed *m+1*, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \tag{20}$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0,t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F1]e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m. La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati *m* ed *n* è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \tag{21}$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti *m* e *n*.

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z,t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z,t) \qquad \ddot{u}(z,t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z,t) \tag{22}$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati *n* ed *m*:

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \tag{23}$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità *z* e al tempo *t* dalla relazione:

$$\gamma(z,t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^*\left(Ee^{ik^+z} - Fe^{-ik^+z}\right)e^{i\omega t} \tag{24}$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z,t) = G^*\gamma(z,t) \tag{25}$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

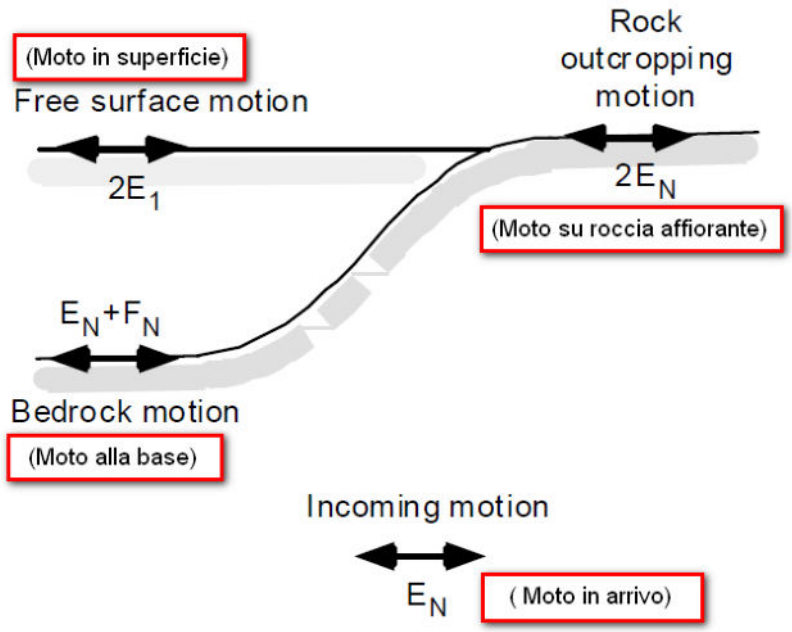


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a E_N+F_N. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \tag{26}$$

A è non lineare poiché *G* è funzione di γ. Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ. Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo *G* così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente

iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per *G(γ)* adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI)(\sigma'_m)^{m(\gamma,PI)-m_0} \tag{24}$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5\left\{1 + tanh\left[ln\left(\frac{0.000102+n(PI)}{\gamma}\right)^{0.492}\right]\right\} \tag{25}$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272\left\{1 - tanh\left[ln\left(\frac{0.000556}{\gamma}\right)^{0.4}\right]\right\}exp(-0.0145PI^{1.3}) \tag{26}$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & per\ PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & per\ 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & per\ 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & per\ PI > 70 \end{cases} \tag{27}$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \tag{28}$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

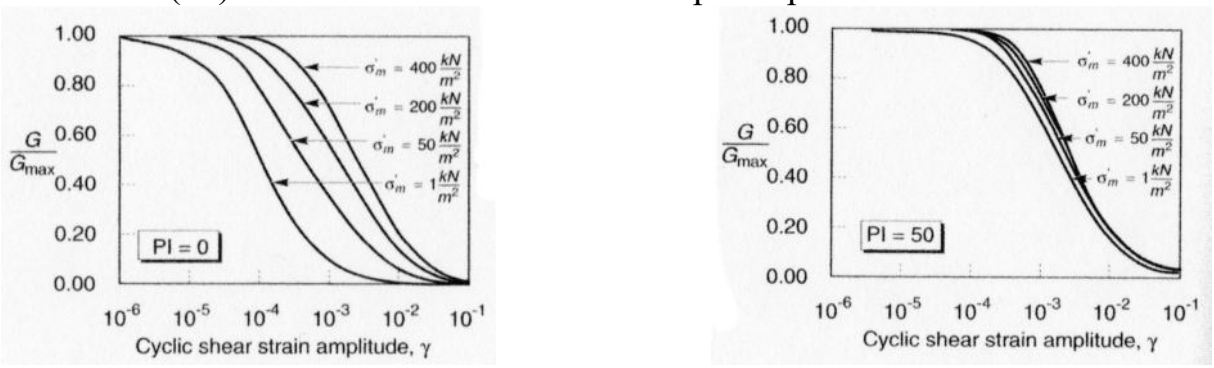


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ, in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333\frac{1+exp\left(-0.0145\,PI^{1.3}\right)}{2}\left[0.586\left(\frac{G}{G_{max}}\right)^2 - 1.547\frac{G}{G_{max}} + 1\right] \tag{29}$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

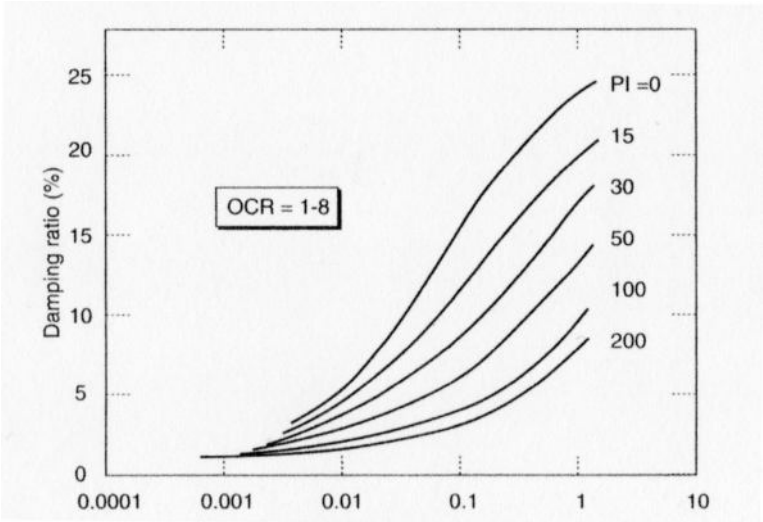


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

Dati generali

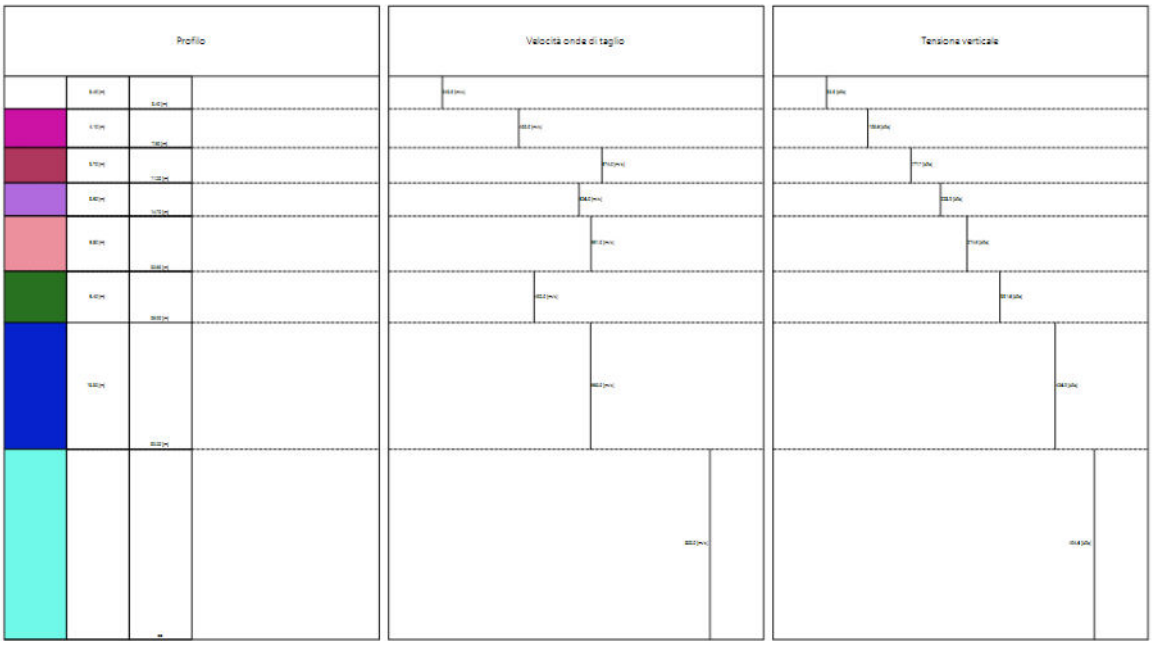
Descrizione	Ceparana
Committente	Lerici srl
Data della prova	d.C./12/2023
Latitudine	44,1692276[°]
Longitudine	9,880709[°]

Terreni

Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	3.4	Smorzamento costante	0	111.56	--	19.0	240.0	32.3
2		3.4	4.1	Smorzamento costante	0	309.89	--	19.0	400.0	103.6
3		7.5	3.7	Smorzamento costante	0	638.13	--	19.0	574.0	177.7
4		11.2	3.5	Smorzamento costante	0	535.87	--	19.0	526.0	228.9
5		14.7	5.8	Smorzamento costante	0	618.96	--	20.0	551.0	274.5
6		20.5	5.4	Smorzamento costante	0	380.48	--	20.0	432.0	331.6
7		25.9	13.3	Smorzamento costante	0	616.72	--	20.0	550.0	426.9
8		oo	--	Smorzamento costante	0	1435.27	--	22.0	800.0	494.6

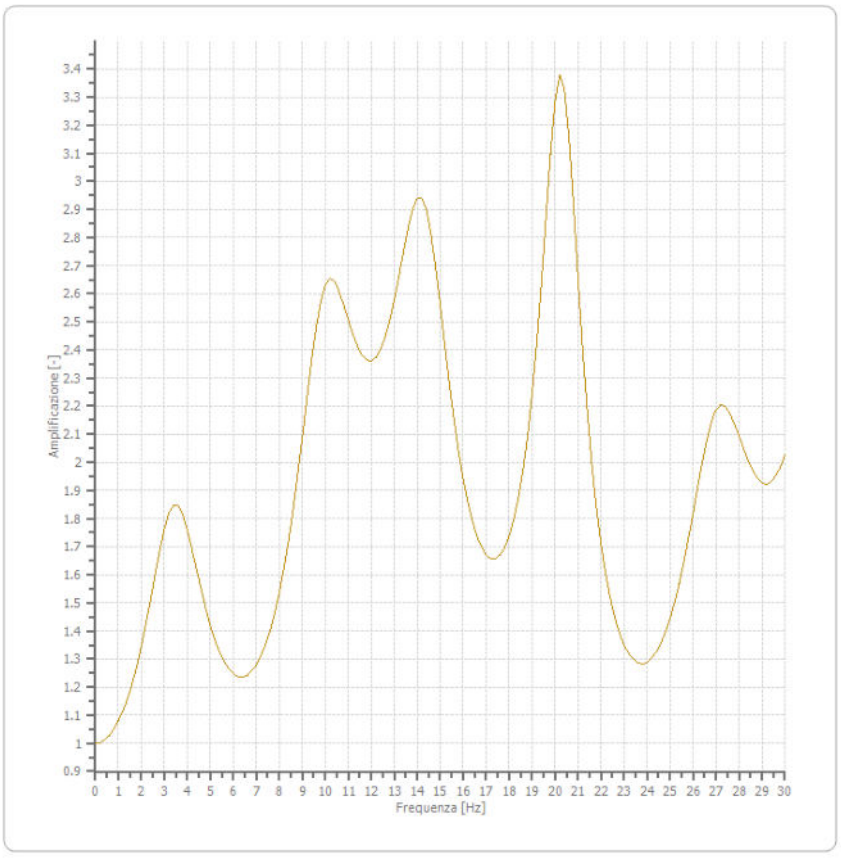
Strato con falda: 3
Strato rilevamento accelerogramma: 8 Affiorante



File E.SRC0.00.HNE.D.IT-1976-0030.ACC.MP:

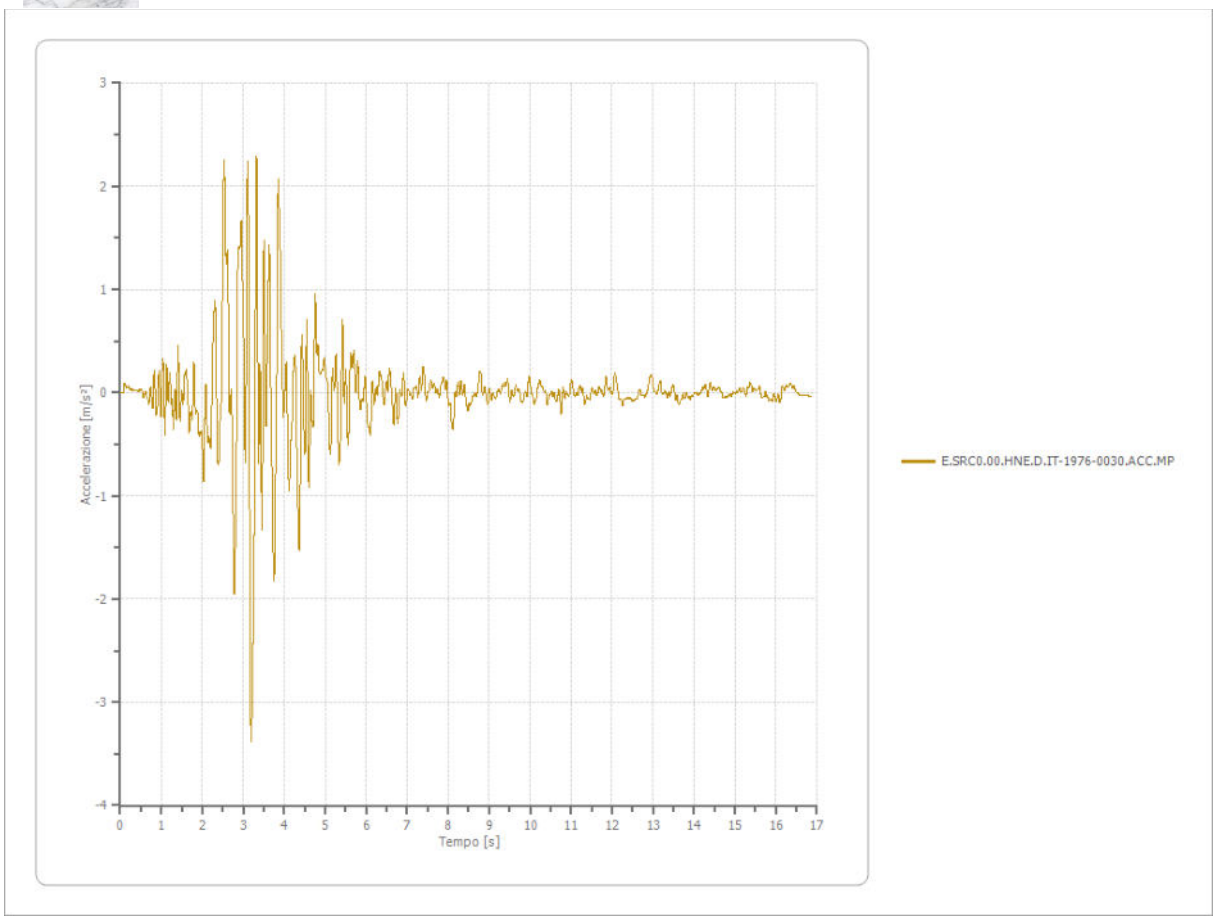
Amplificazione

Strato iniziale	8	Affiorante
Strato finale	1	Affiorante



Accelerazione

Strato	1	Affiorante
Pga	3.376	[m/s²]
Pga0	2.448	[m/s²]
Pga/Pga0	1.379	
Accelerazione massima	3.376	[m/s²]
Periodo accelerazione massima	3.195	[s]



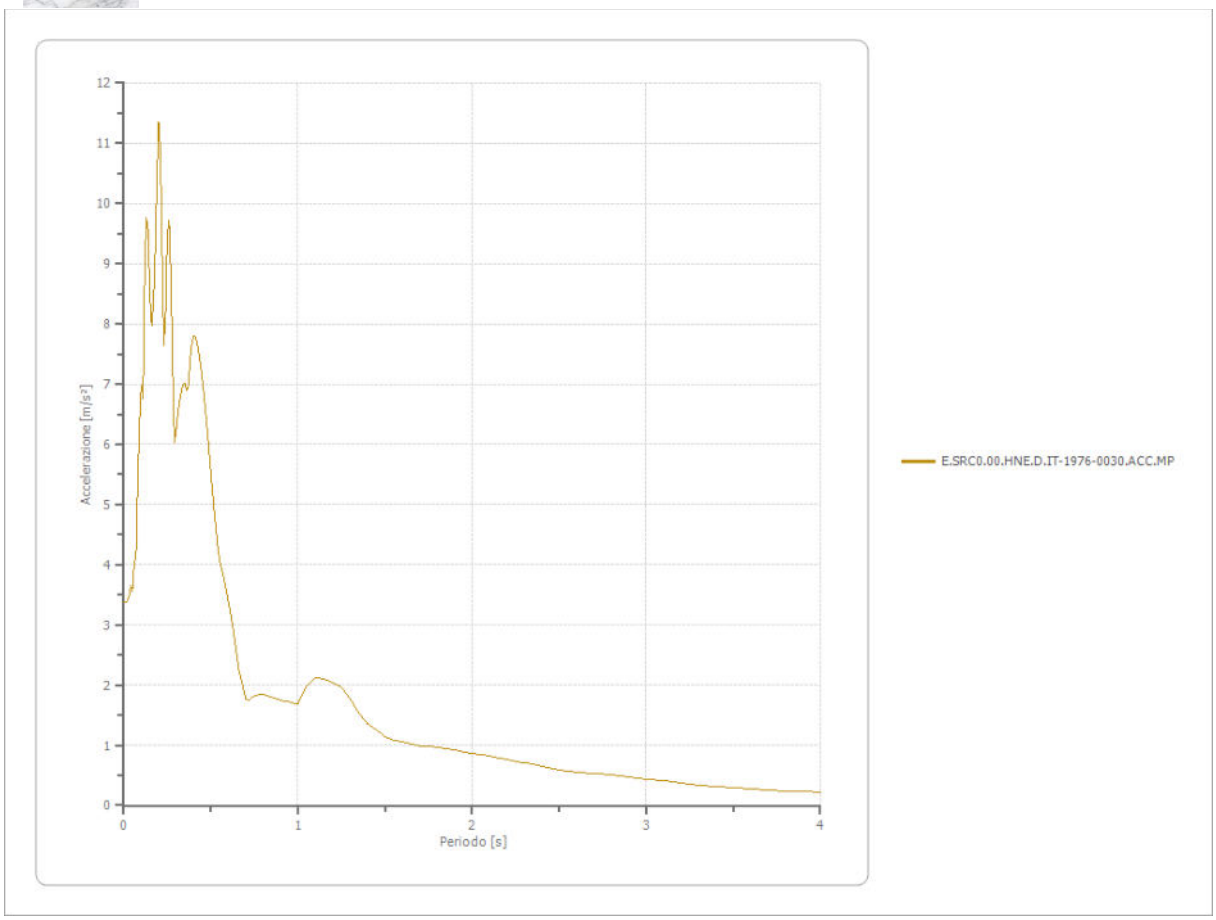
Trasformata di Fourier

Strato	1 Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1

Spettri

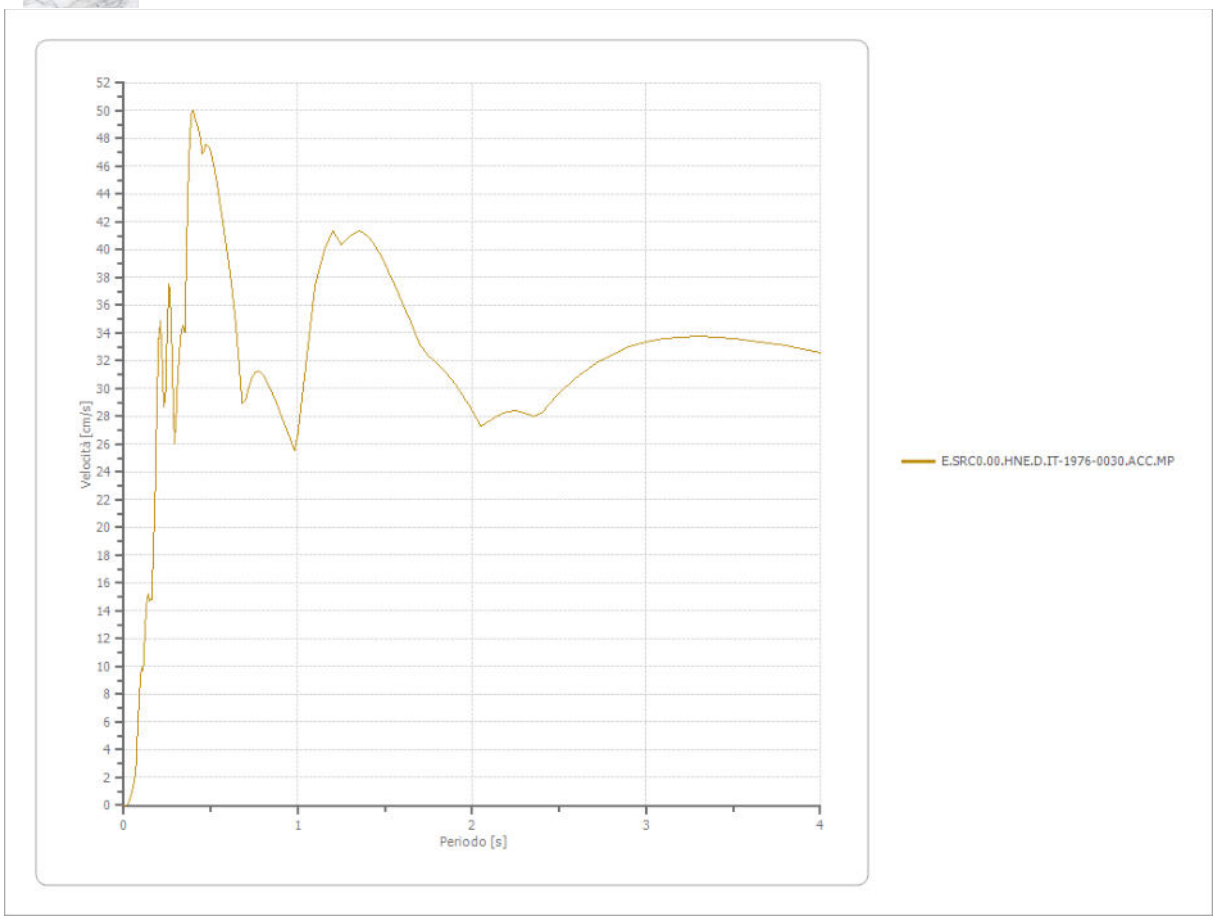
Accelerazione

Accelerazione massima	11.358 [m/s²]
Periodo accelerazione massima	0.200 [s]



Velocità

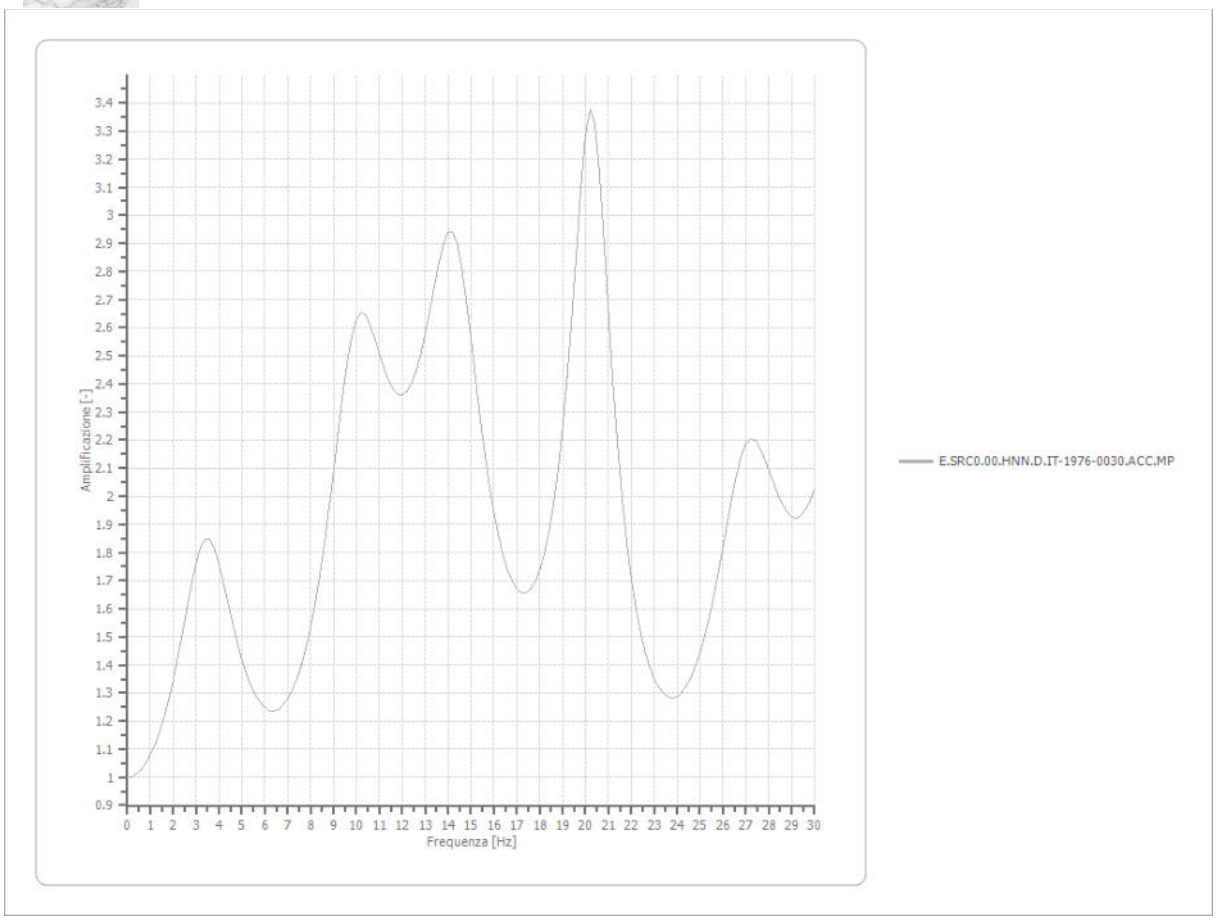
Velocità massima	11.358 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.400 [s]



File E.SRC0.00.HNN.D.IT-1976-0030.ACC.MP:

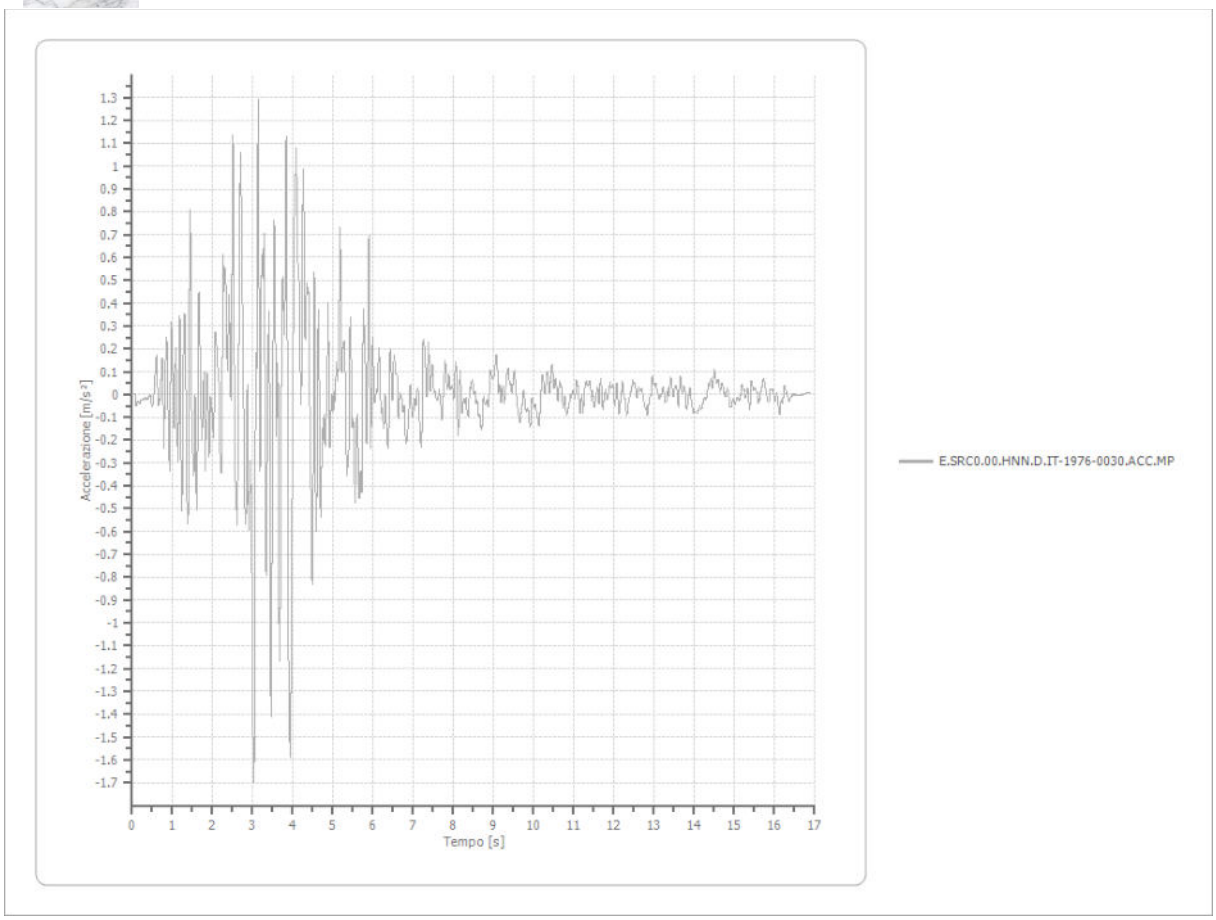
Amplificazione

Strato iniziale	8 Affiorante
Strato finale	1 Affiorante



Accelerazione

Strato	1	Affiorante
Pga	1.701	[m/s²]
Pga0	1.284	[m/s²]
Pga/Pga0	1.324	
Accelerazione massima	1.701	[m/s²]
Periodo accelerazione massima	3.035	[s]



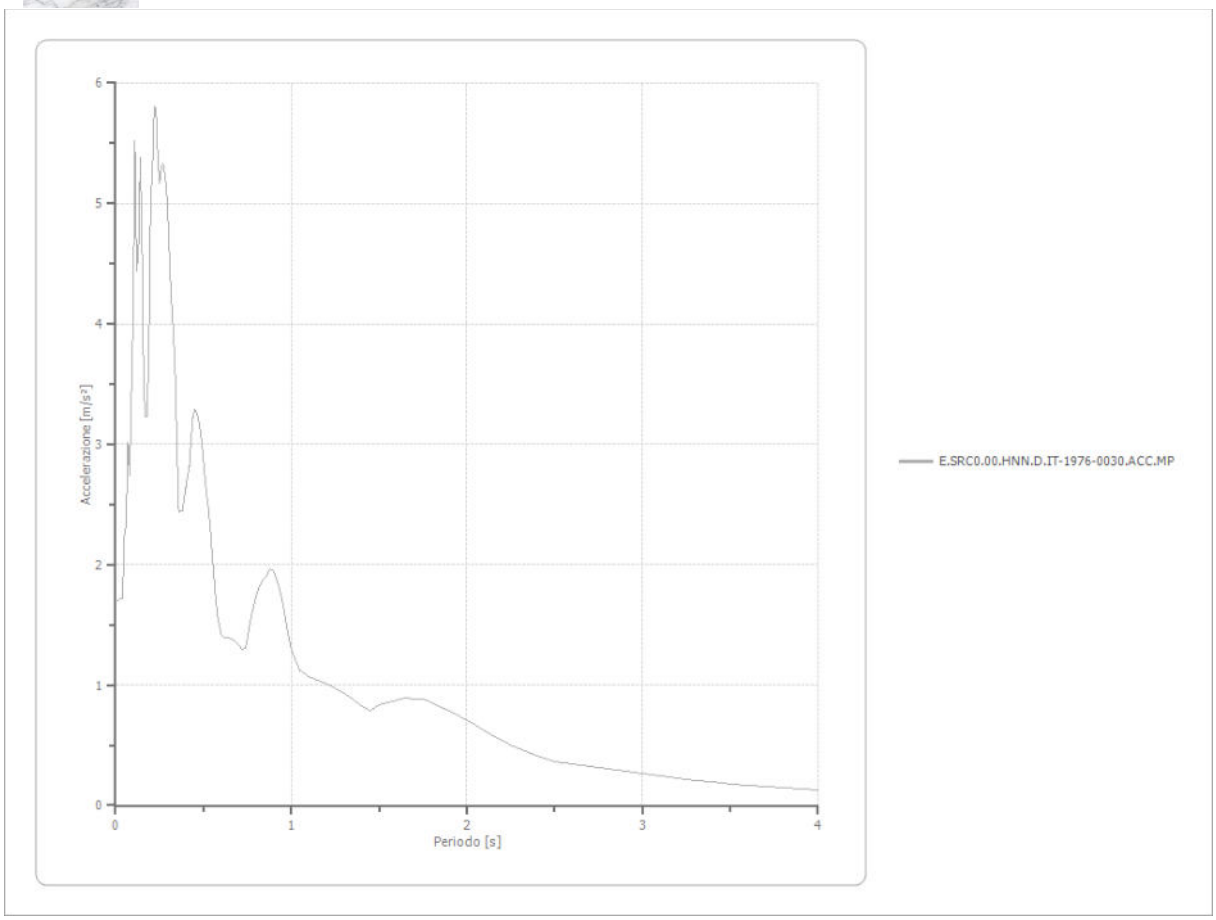
Trasformata di Fourier

Strato	1 Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1

Spettri

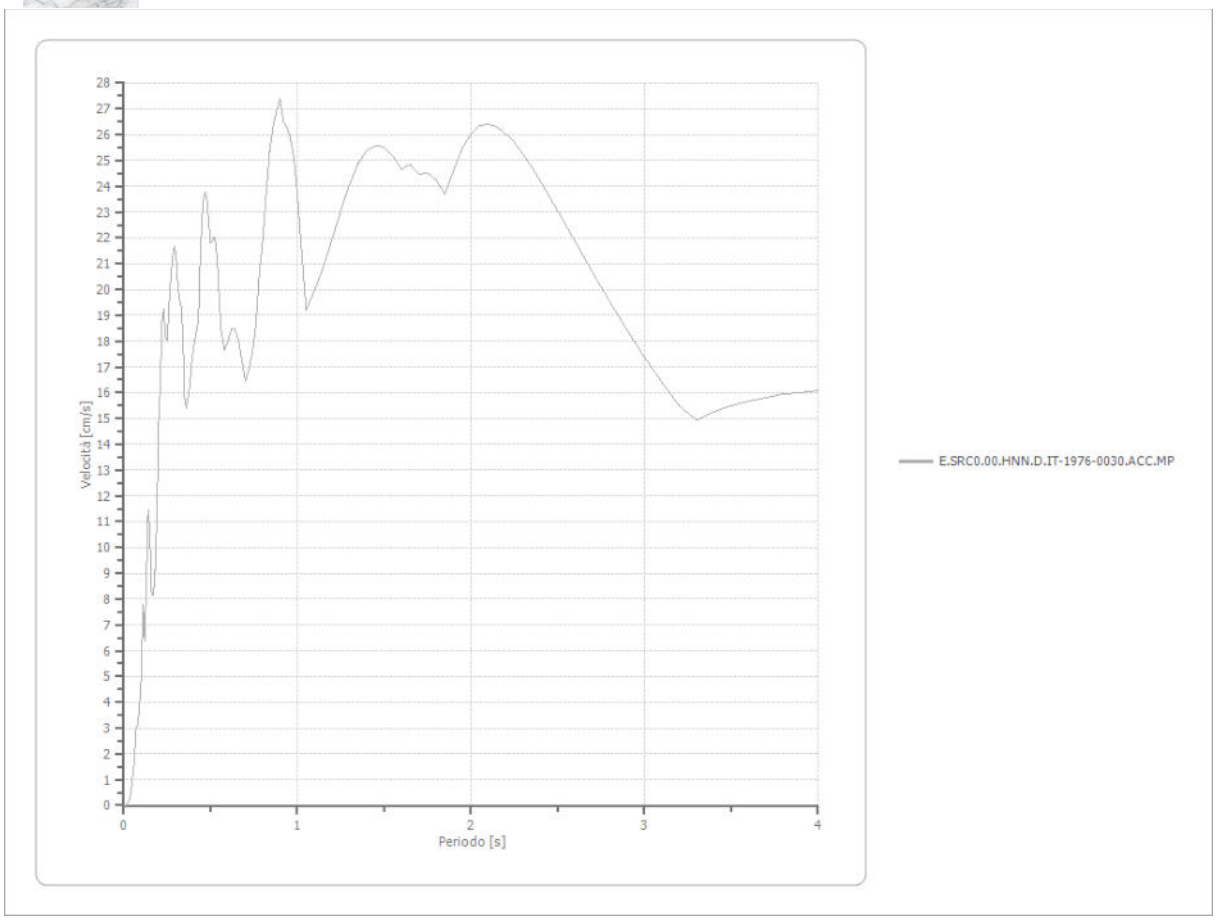
Accelerazione

Accelerazione massima	5.800 [m/s²]
Periodo accelerazione massima	0.220 [s]



Velocità

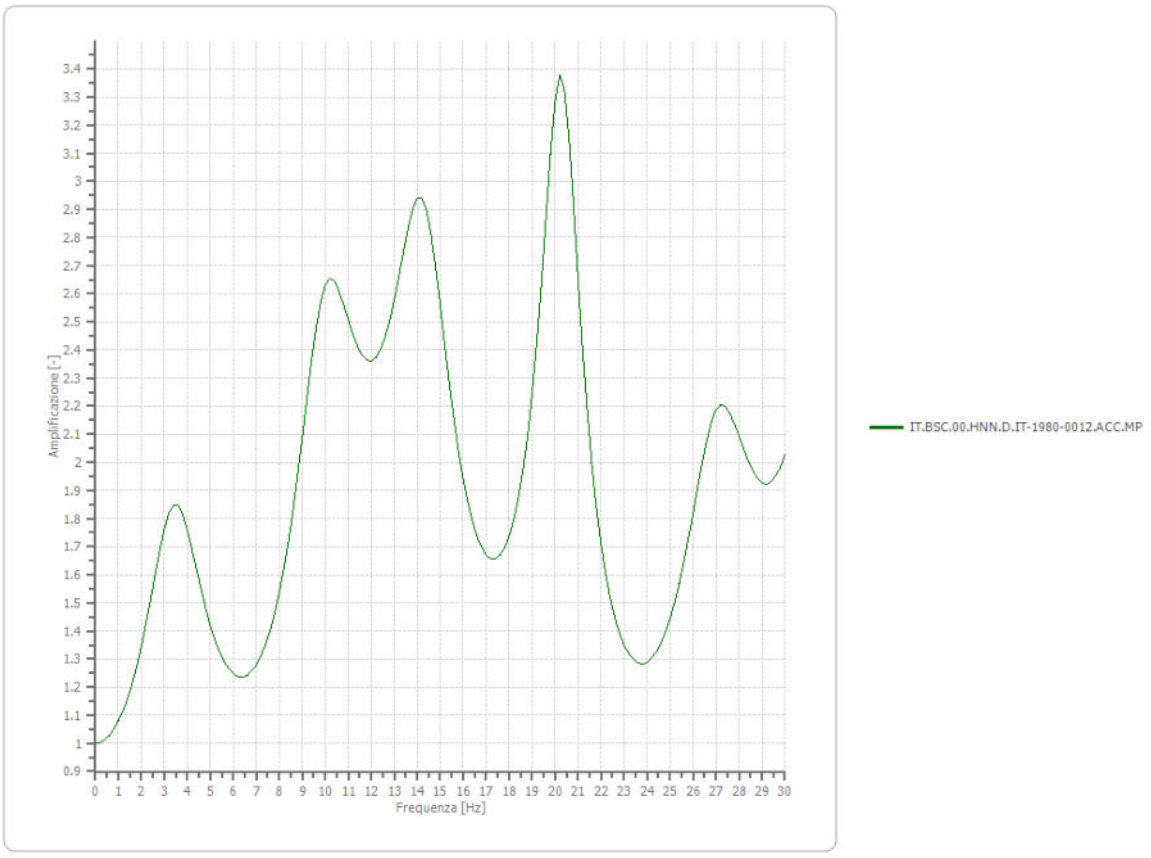
Velocità massima	5.800 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.900 [s]



File IT.BSC.00.HNN.D.IT-1980-0012.ACC.MP:

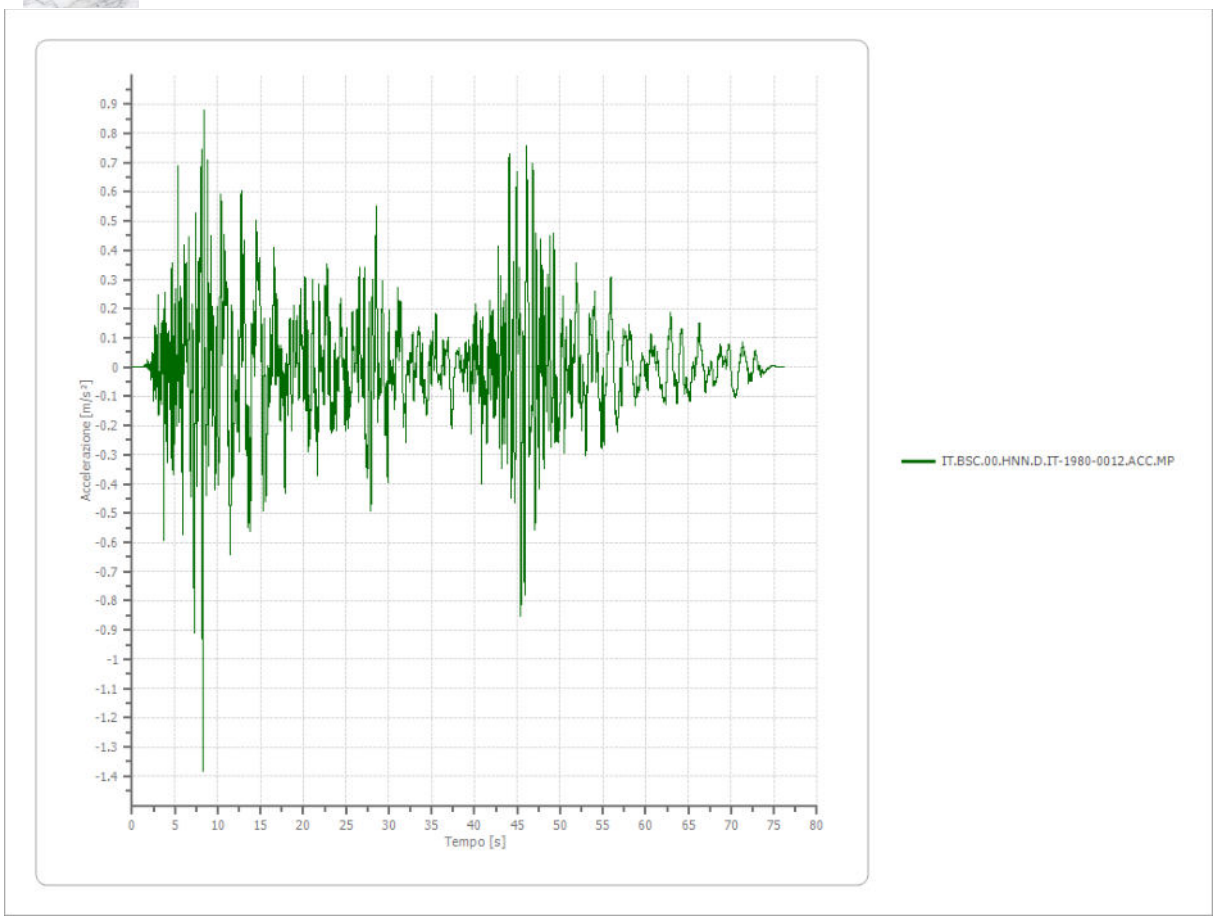
Amplificazione

Strato iniziale	8 Affiorante
Strato finale	1 Affiorante



Accelerazione

Strato	1	Affiorante
Pga	1.382	[m/s²]
Pga0	0.936	[m/s²]
Pga/Pga0	1.477	
Accelerazione massima	1.382	[m/s²]
Periodo accelerazione massima	8.255	[s]



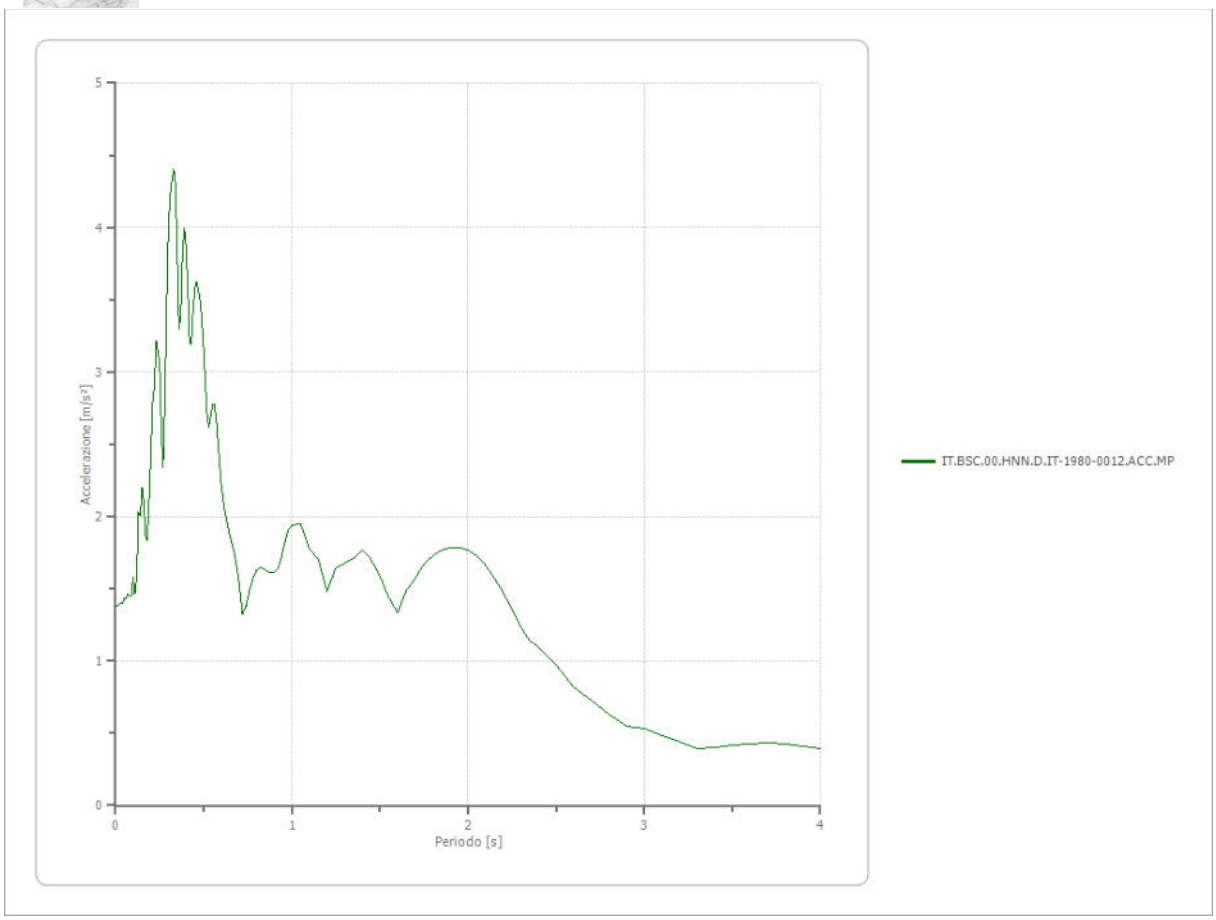
Trasformata di Fourier

Strato	1 Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1

Spettri

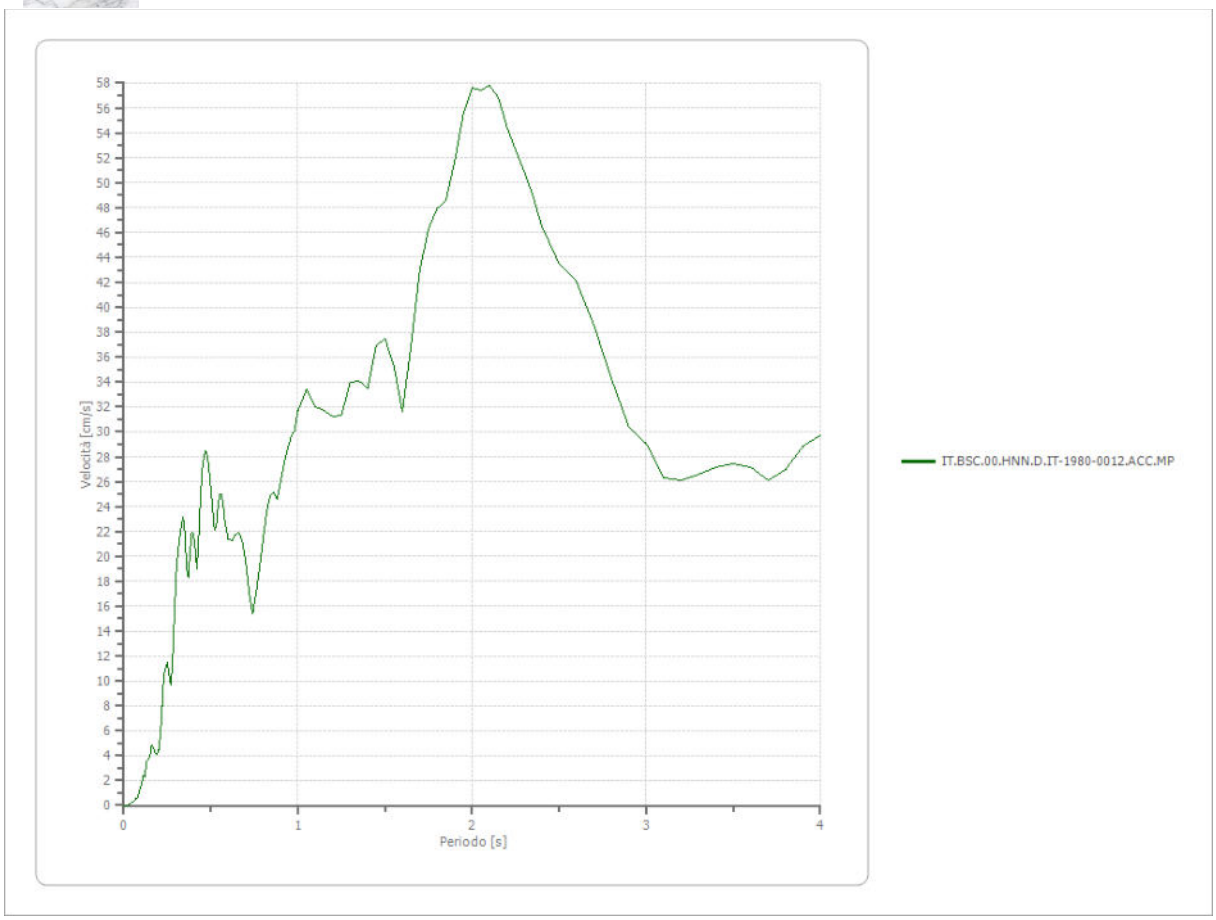
Accelerazione

Accelerazione massima	4.401 [m/s²]
Periodo accelerazione massima	0.330 [s]



Velocità

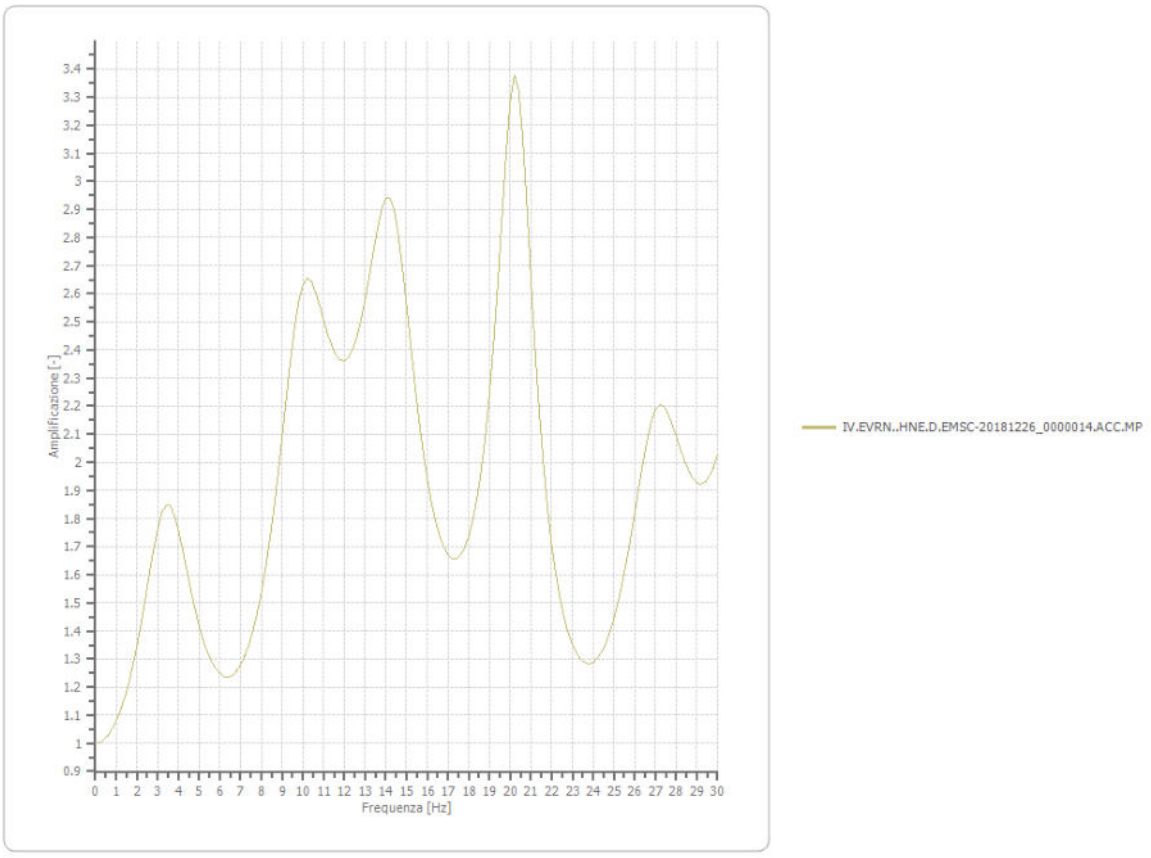
Velocità massima	4.401 [cm/s]
Periodo massima velocità	2.100 [s]



File IV.EVRN..HNE.D.EMSC-20181226_0000014.ACC.MP:

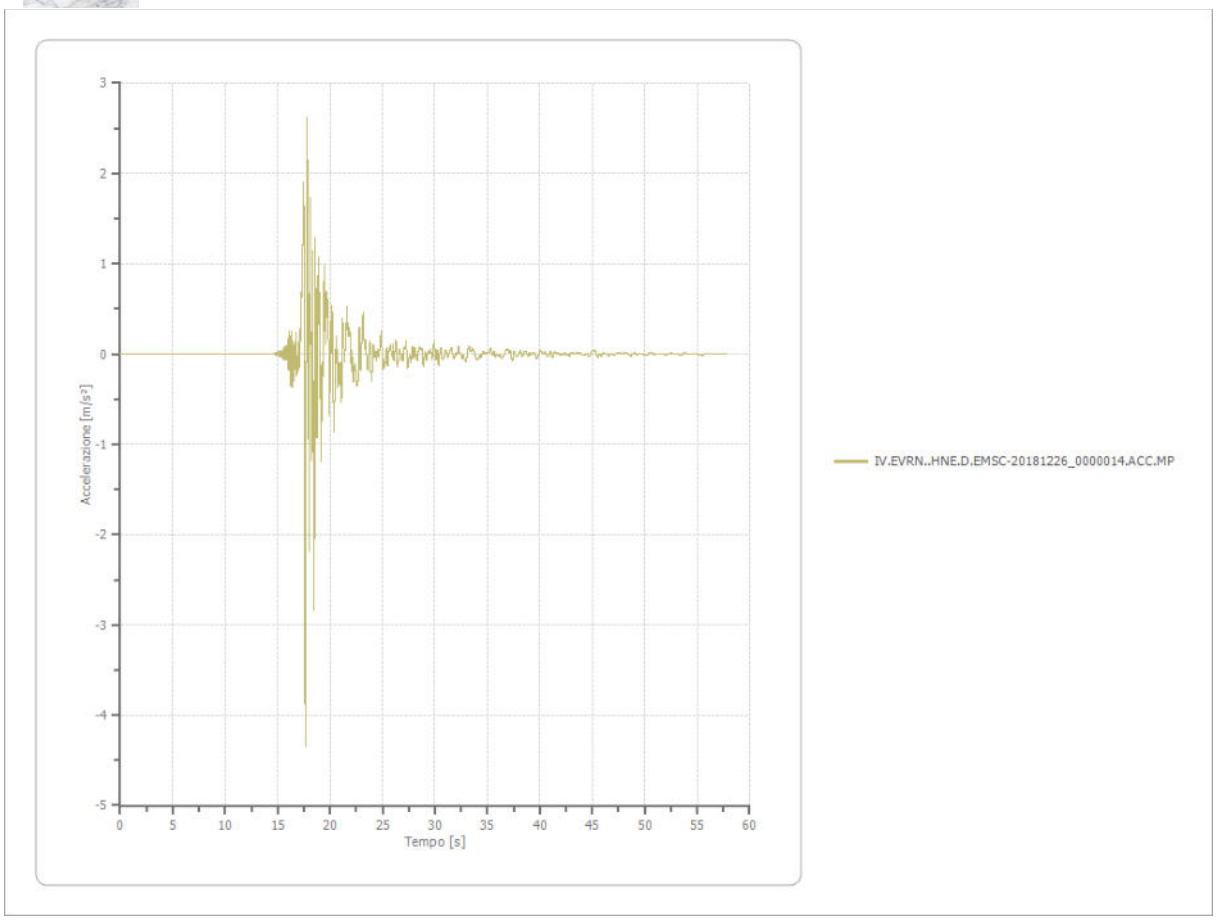
Amplificazione

Strato iniziale	8 Affiorante
Strato finale	1 Affiorante



Accelerazione

Strato	1	Affiorante
Pga	4.349	[m/s²]
Pga0	2.948	[m/s²]
Pga/Pga0	1.476	
Accelerazione massima	4.349	[m/s²]
Periodo accelerazione massima	17.645	[s]



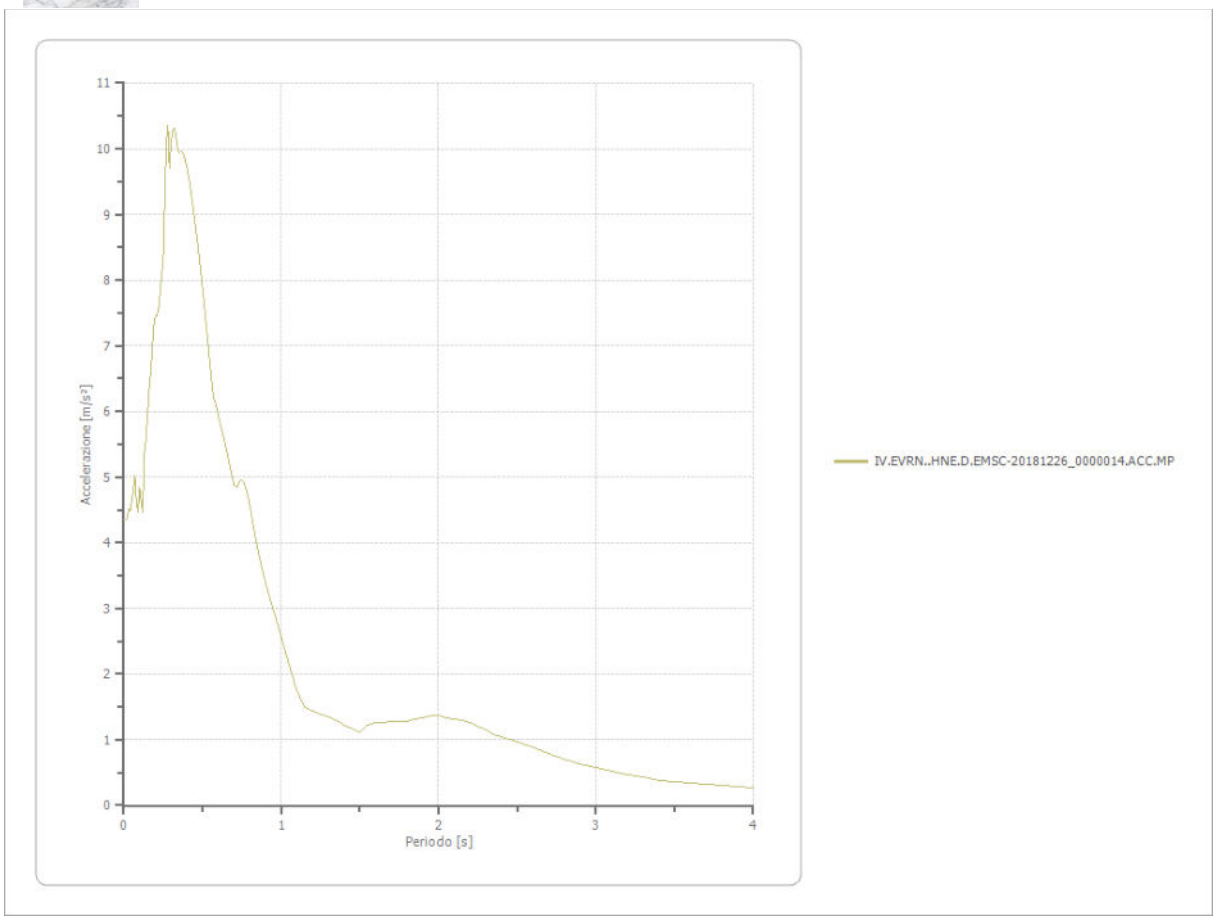
Trasformata di Fourier

Strato	1 Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1

Spettri

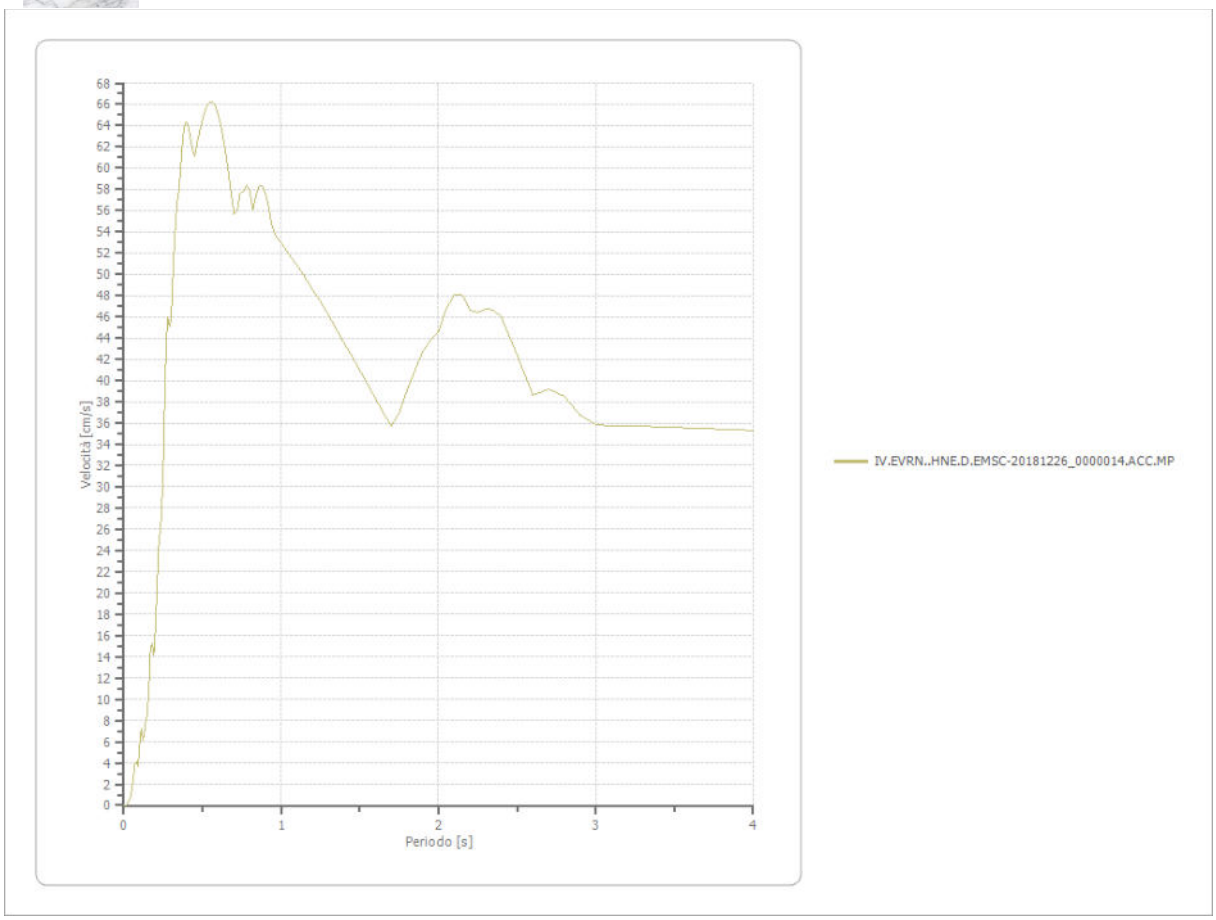
Accelerazione

Accelerazione massima	10.357 [m/s²]
Periodo accelerazione massima	0.280 [s]



Velocità

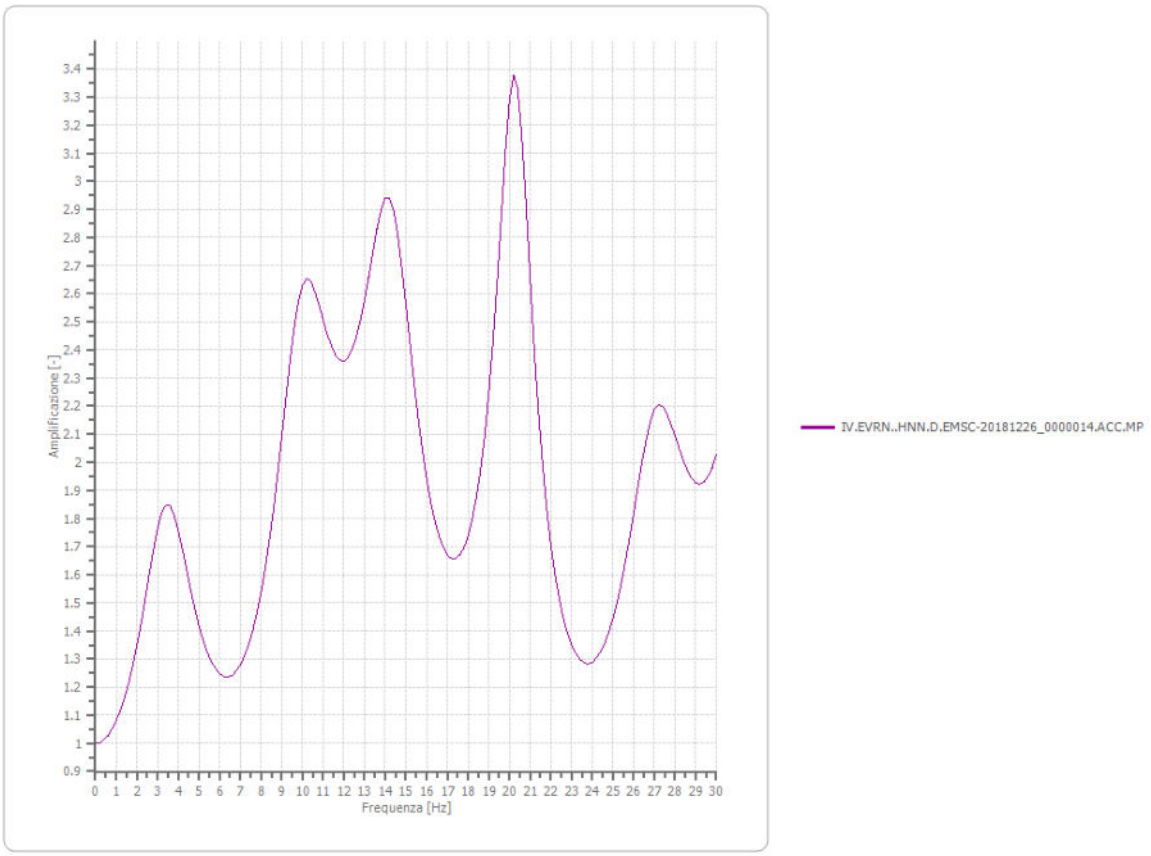
Velocità massima	10.357 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.560 [s]



File IV.EVRN..HNN.D.EMSC-20181226_0000014.ACC.MP:

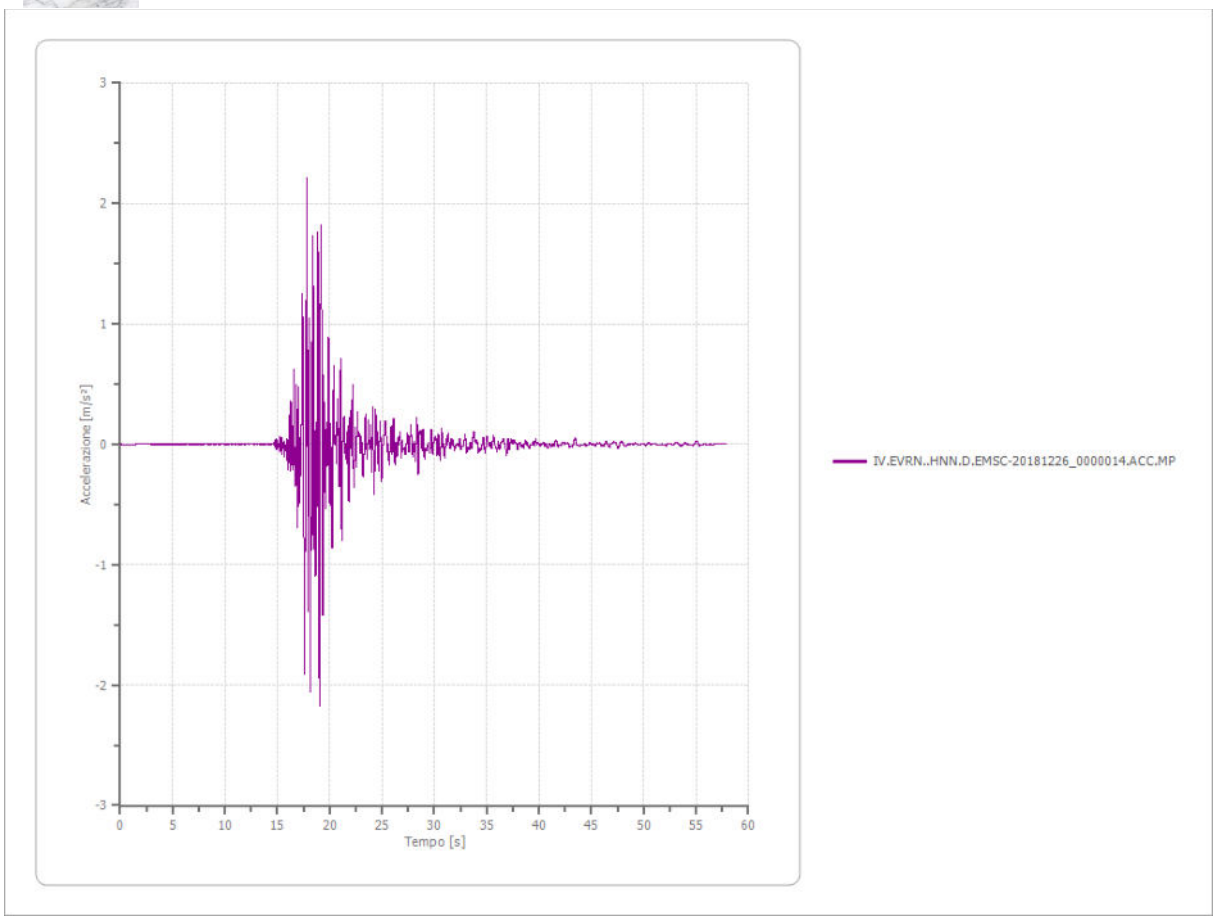
Amplificazione

Strato iniziale	8 Affiorante
Strato finale	1 Affiorante



Accelerazione

Strato	1	Affiorante
Pga	2.214	[m/s²]
Pga0	1.638	[m/s²]
Pga/Pga0	1.352	
Accelerazione massima	2.214	[m/s²]
Periodo accelerazione massima	17.810	[s]



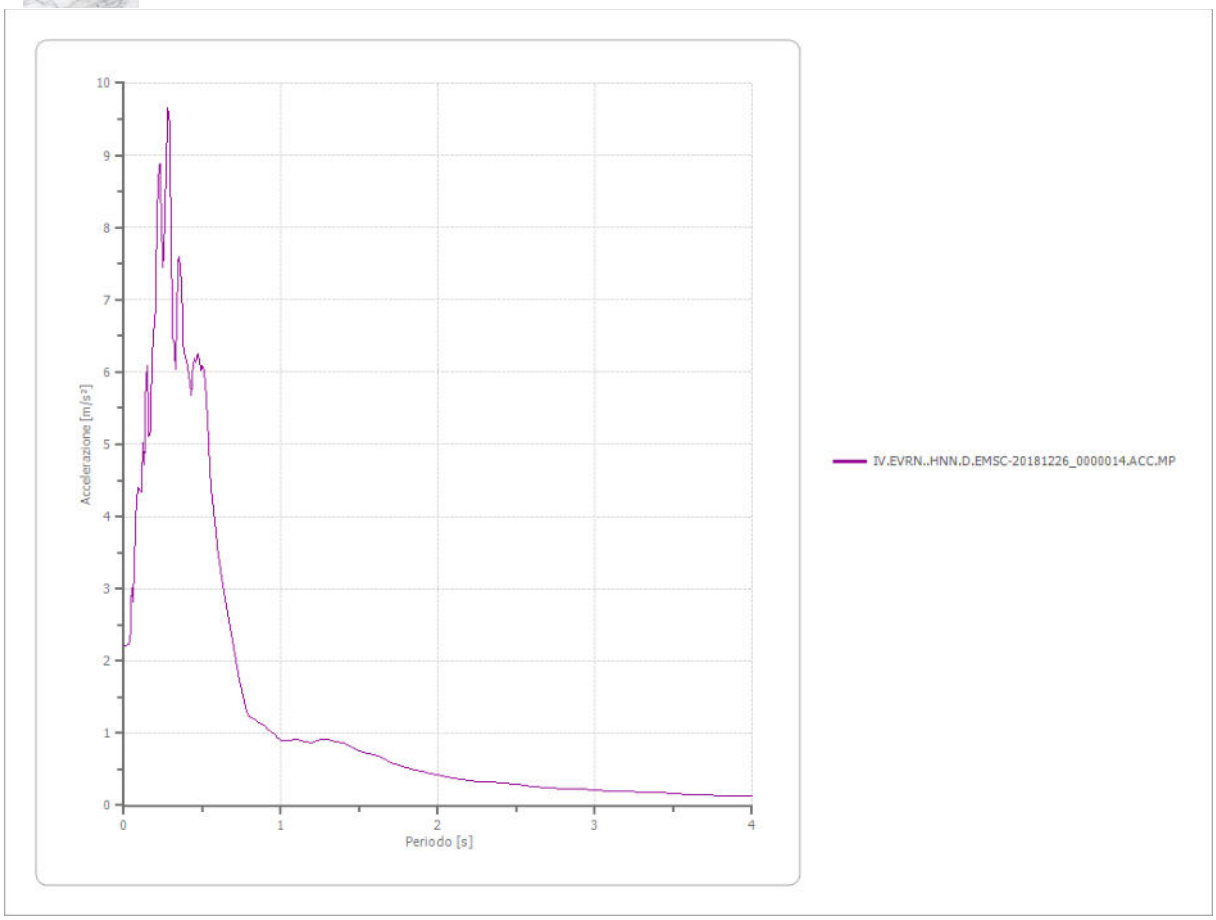
Trasformata di Fourier

Strato	1 Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1

Spettri

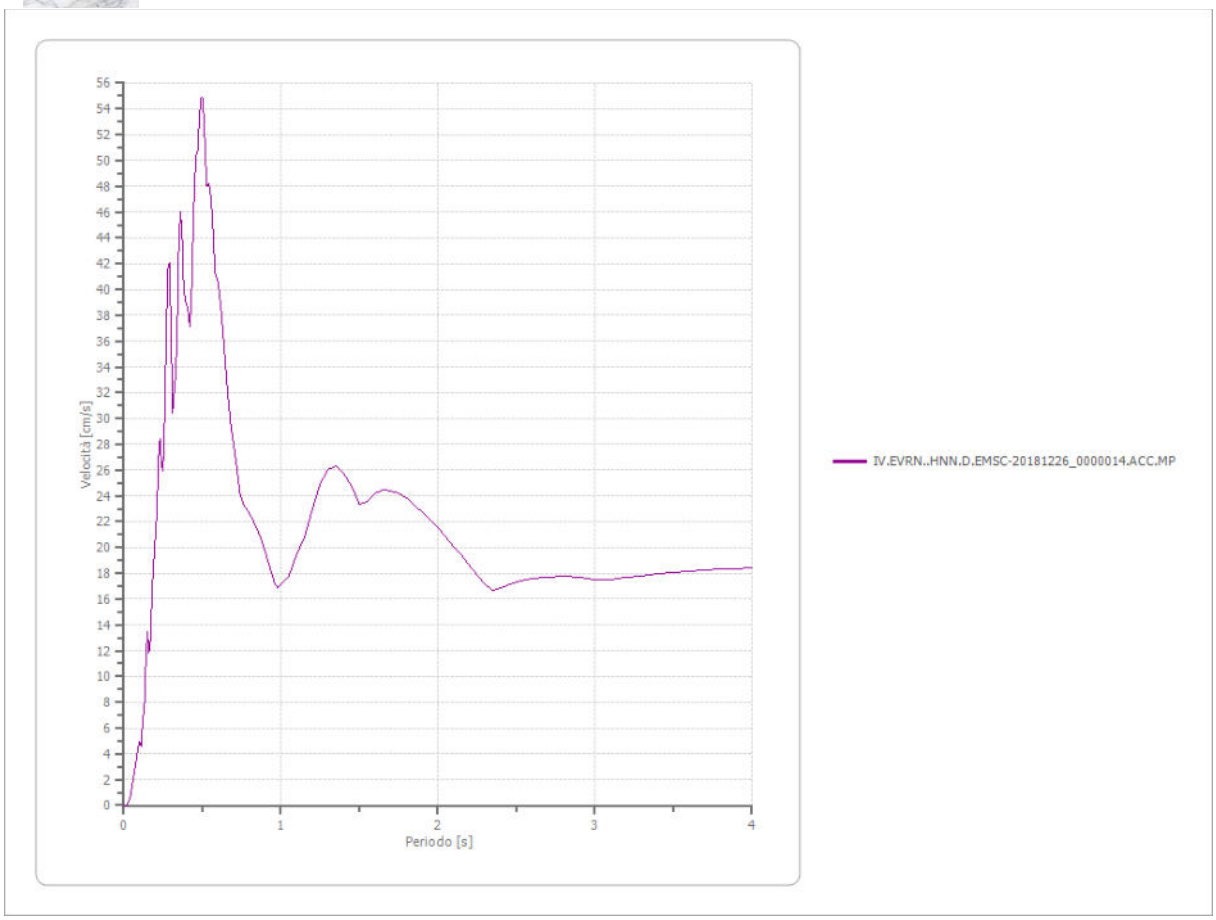
Accelerazione

Accelerazione massima	9.661 [m/s²]
Periodo accelerazione massima	0.280 [s]



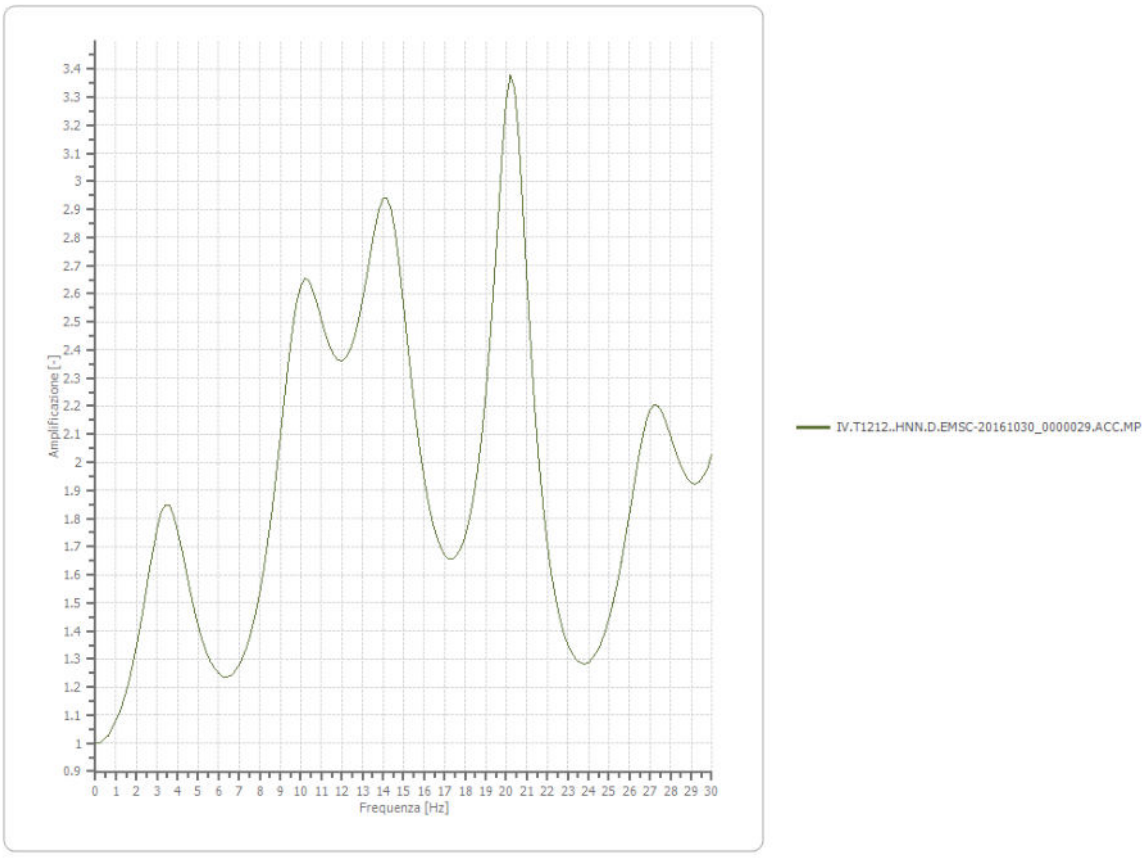
Velocità

Velocità massima	9.661 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.500 [s]



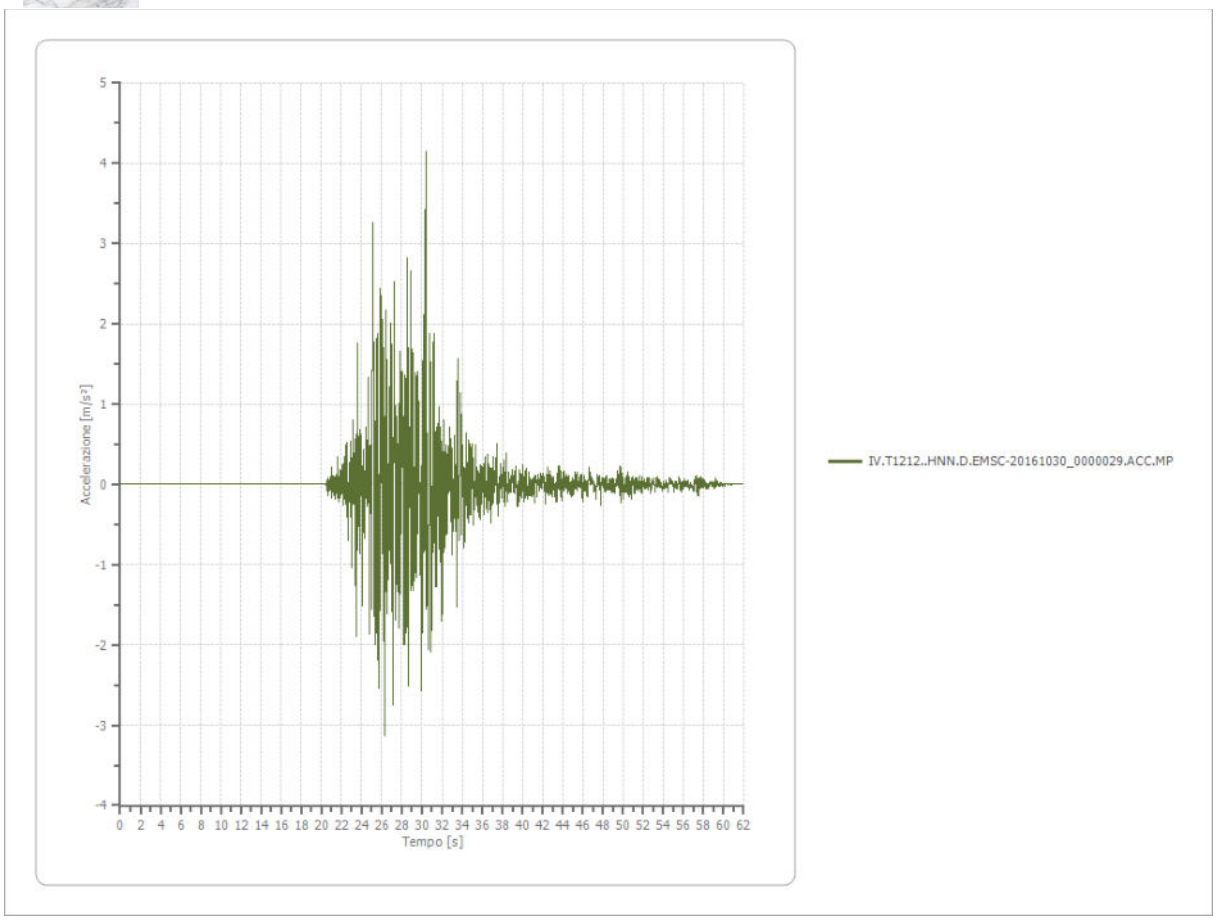
File IV.T1212..HNN.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP:

	Amplificazione
Strato iniziale	8 Affiorante
Strato finale	1 Affiorante



Accelerazione

Strato	1	Affiorante
Pga	4.145	[m/s²]
Pga0	2.732	[m/s²]
Pga/Pga0	1.518	
Accelerazione massima	4.145	[m/s²]
Periodo accelerazione massima	30.365	[s]



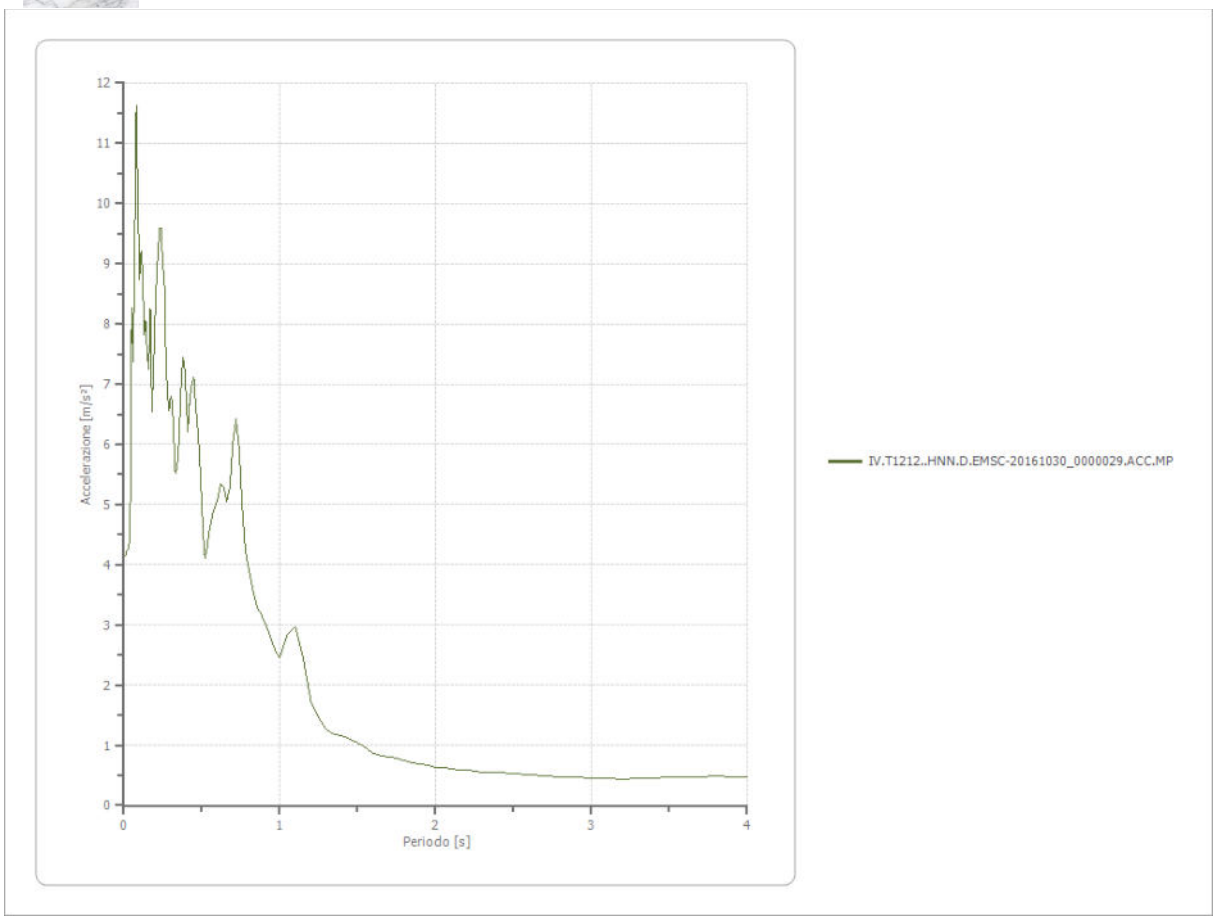
Trasformata di Fourier

Strato	1 Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1

Spettri

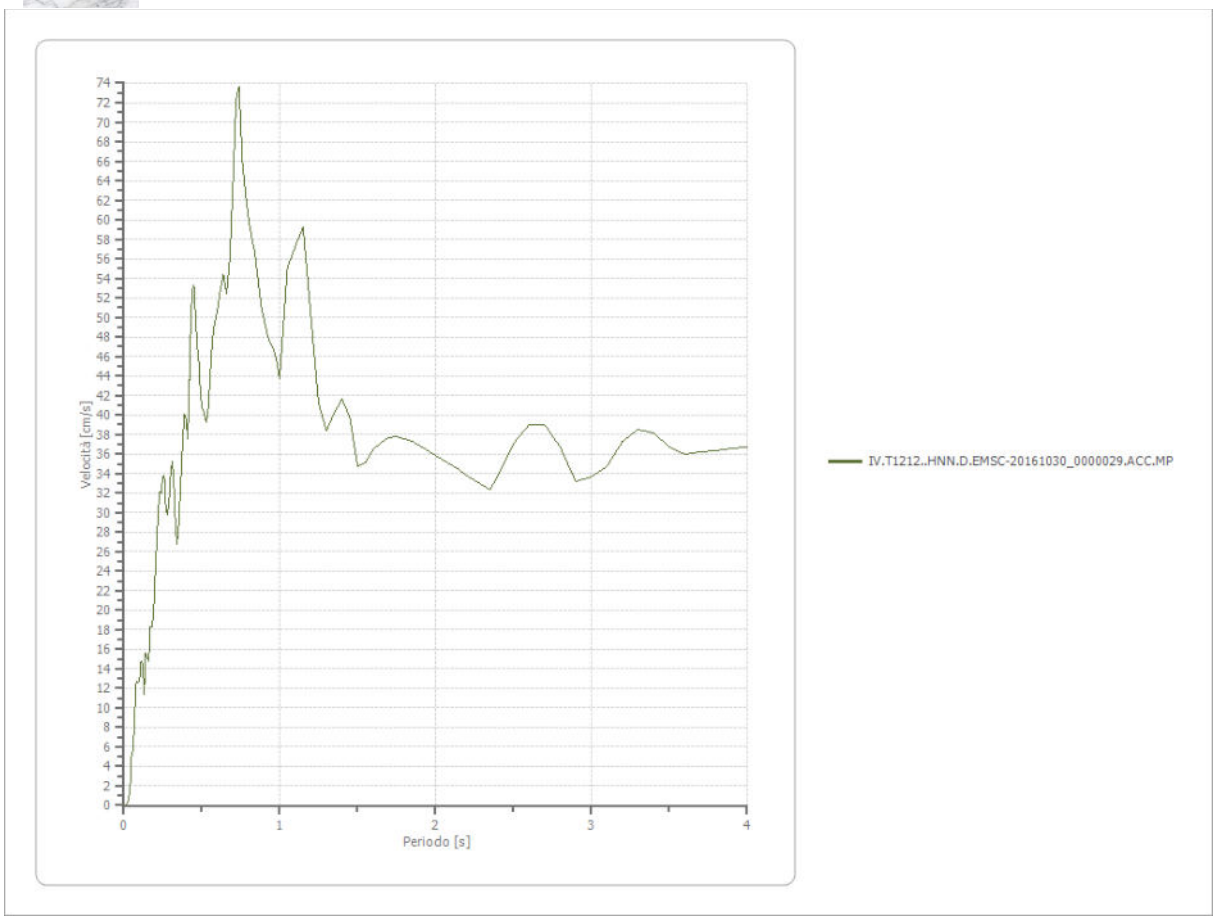
Accelerazione

Accelerazione massima	11.631 [m/s²]
Periodo accelerazione massima	0.080 [s]



Velocità

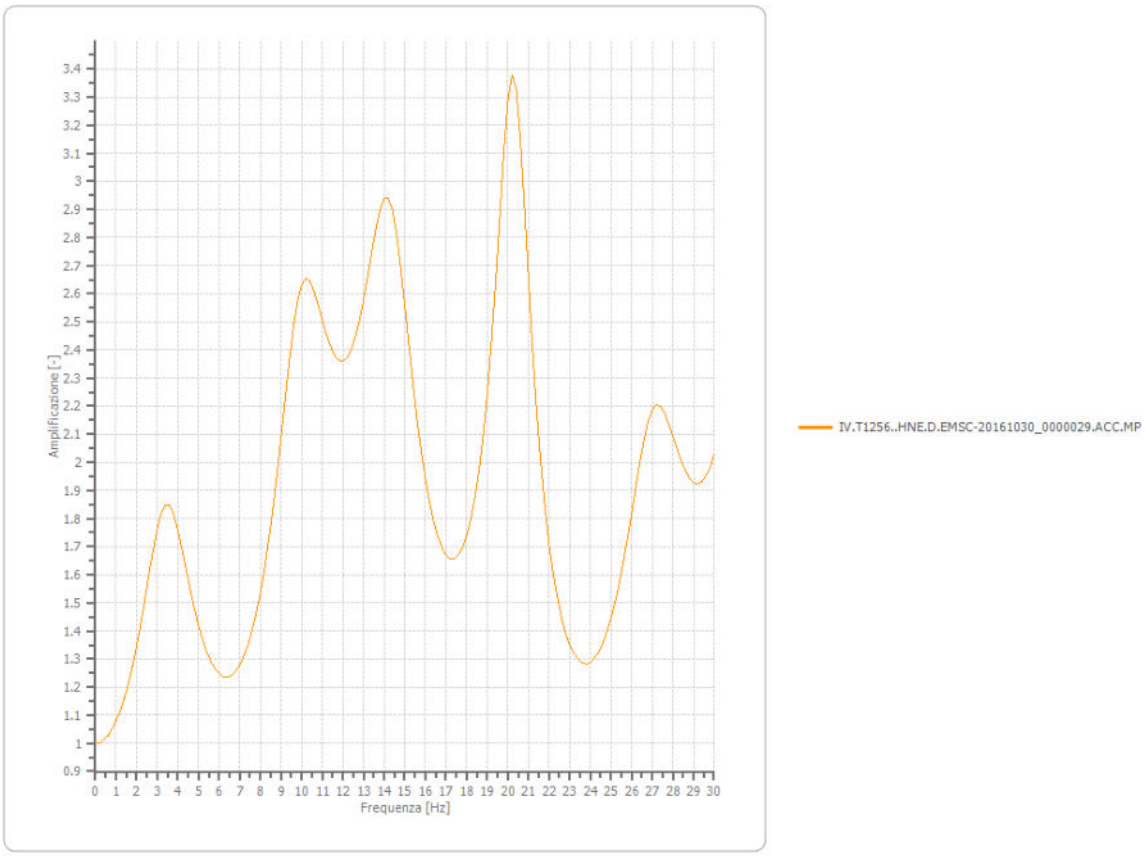
Velocità massima	11.631 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.740 [s]



File IV.T1256..HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP:

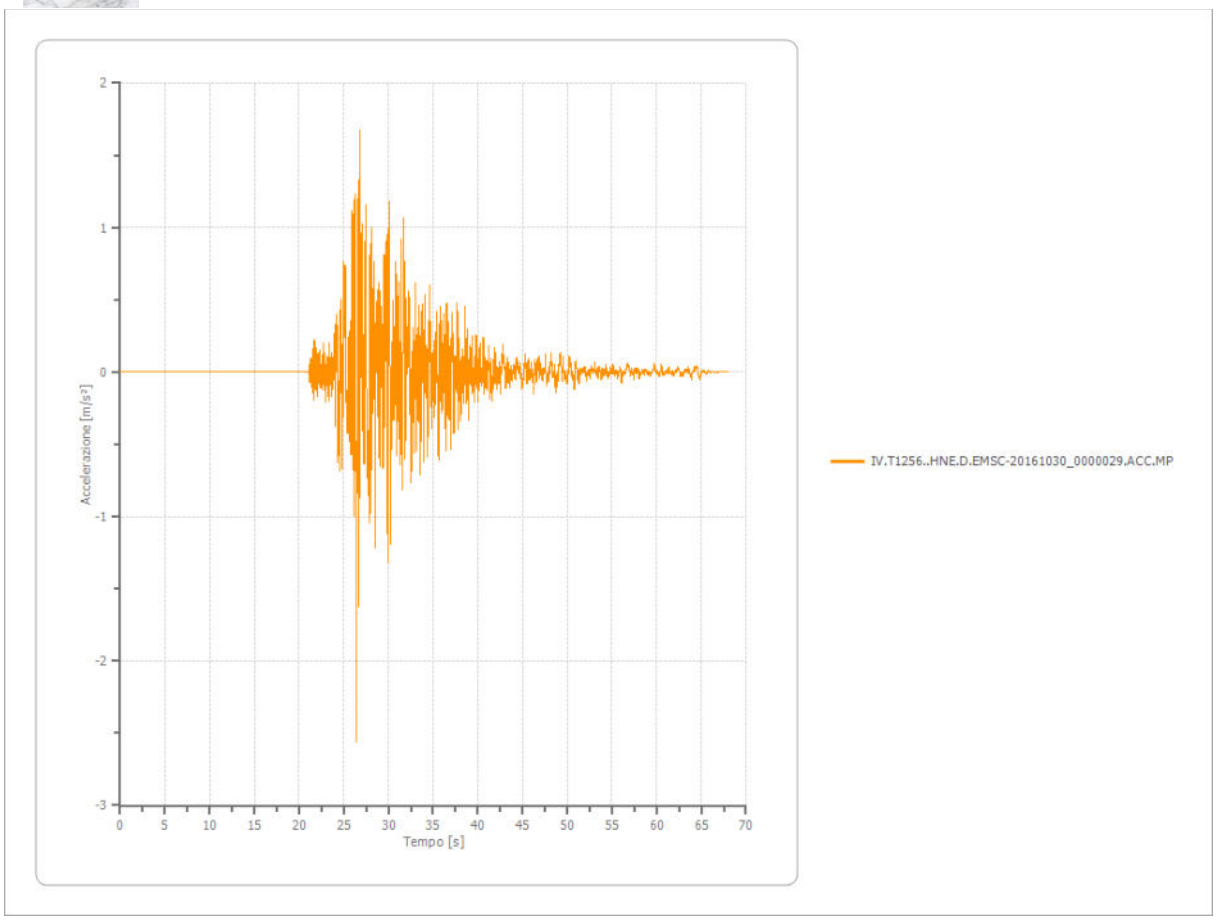
Amplificazione

Strato iniziale	8 Affiorante
Strato finale	1 Affiorante



Accelerazione

Strato	1	Affiorante
Pga	2.555	[m/s²]
Pga0	1.458	[m/s²]
Pga/Pga0	1.753	
Accelerazione massima	2.555	[m/s²]
Periodo accelerazione massima	26.425	[s]



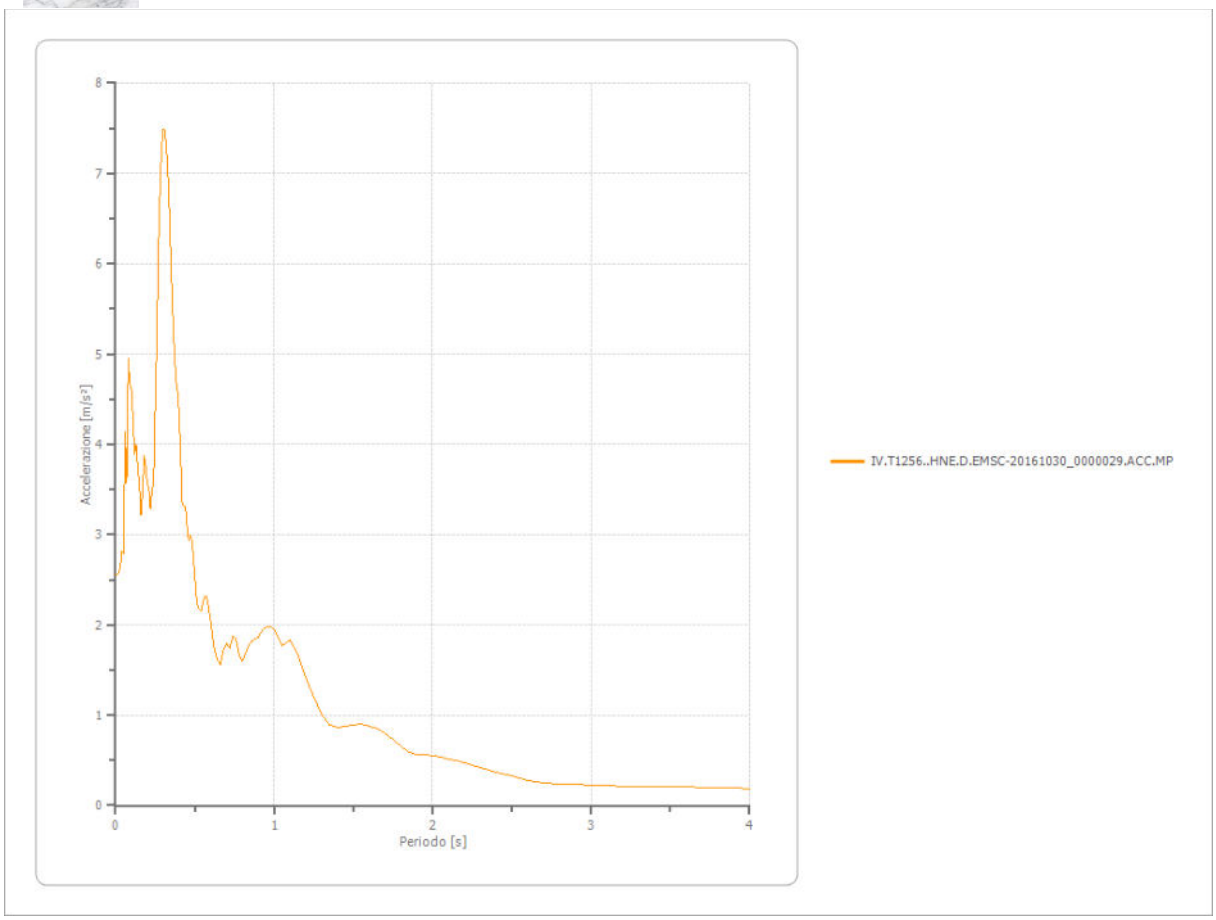
Trasformata di Fourier

Strato	1 Affiorante
Numero di campioni del filtro a media mobile	1

Spettri

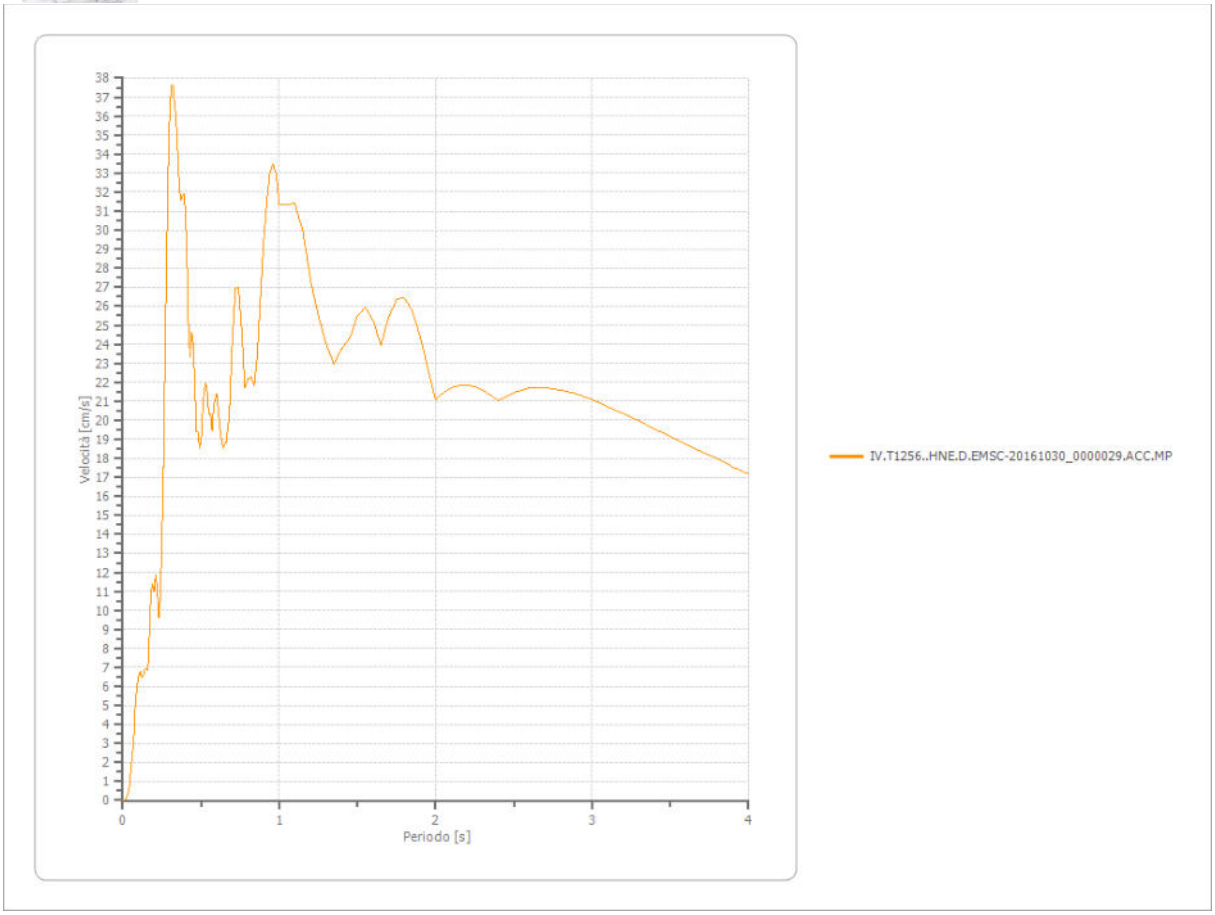
Accelerazione

Accelerazione massima	7.493 [m/s²]
Periodo accelerazione massima	0.300 [s]



Velocità

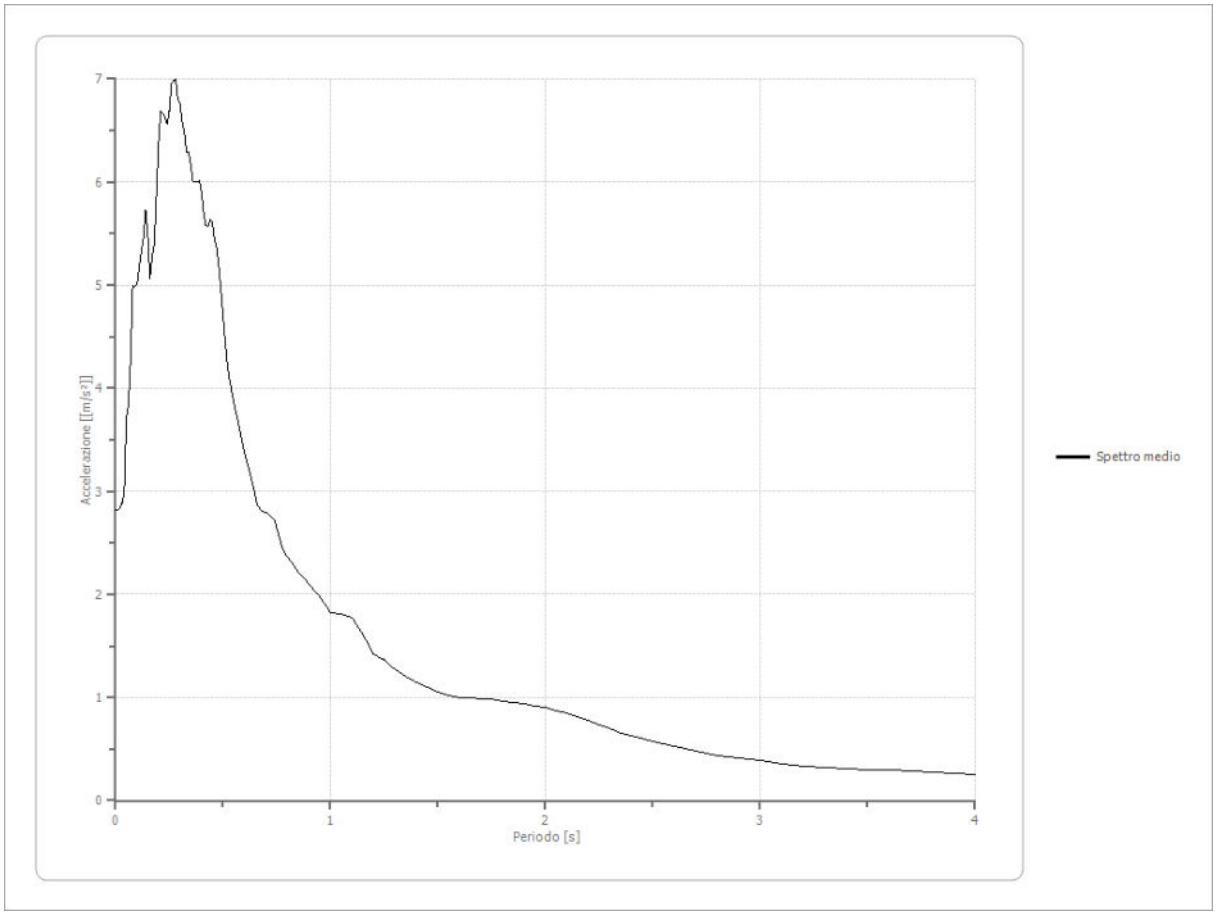
Velocità massima	7.493 [cm/s]
Periodo massima velocità	0.320 [s]



Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	2.8174	0.26	6.9521	0.52	4.2328	0.98	1.8884	2.25	0.7362
0.01	2.8175	0.27	6.9896	0.53	4.0932	1.00	1.8248	2.30	0.6957
0.02	2.8465	0.28	6.9955	0.54	3.9745	1.05	1.8138	2.35	0.6573
0.03	2.8923	0.29	6.8062	0.55	3.8597	1.10	1.7740	2.40	0.6321
0.04	2.9776	0.30	6.7597	0.56	3.7699	1.15	1.6204	2.50	0.5779
0.05	3.7072	0.31	6.5864	0.57	3.6737	1.20	1.4250	2.60	0.5214
0.06	3.8416	0.32	6.4814	0.58	3.5736	1.25	1.3635	2.70	0.4780
0.07	4.2867	0.33	6.2856	0.60	3.3680	1.30	1.2746	2.80	0.4399
0.08	4.9930	0.34	6.2868	0.62	3.2196	1.35	1.1983	2.90	0.4086
0.09	4.9798	0.35	6.1651	0.64	3.0570	1.40	1.1493	3.00	0.3862
0.10	5.0227	0.36	6.0048	0.66	2.8665	1.45	1.0981	3.10	0.3592
0.11	5.1730	0.37	6.0059	0.68	2.8034	1.50	1.0519	3.20	0.3348
0.12	5.3296	0.38	6.0083	0.70	2.7929	1.55	1.0232	3.30	0.3157
0.13	5.4670	0.39	6.0172	0.72	2.7620	1.60	0.9949	3.40	0.3058
0.14	5.7315	0.40	5.8964	0.74	2.7119	1.65	0.9998	3.50	0.3007
0.15	5.5001	0.41	5.6915	0.76	2.5700	1.70	0.9896	3.60	0.2940
0.16	5.0590	0.42	5.5776	0.78	2.4333	1.75	0.9805	3.70	0.2850
0.17	5.2691	0.43	5.5625	0.80	2.3652	1.80	0.9649	3.80	0.2763
0.18	5.3992	0.44	5.6408	0.82	2.3109	1.85	0.9473	3.90	0.2656
0.19	5.8973	0.45	5.6110	0.84	2.2493	1.90	0.9353	4.00	0.2533

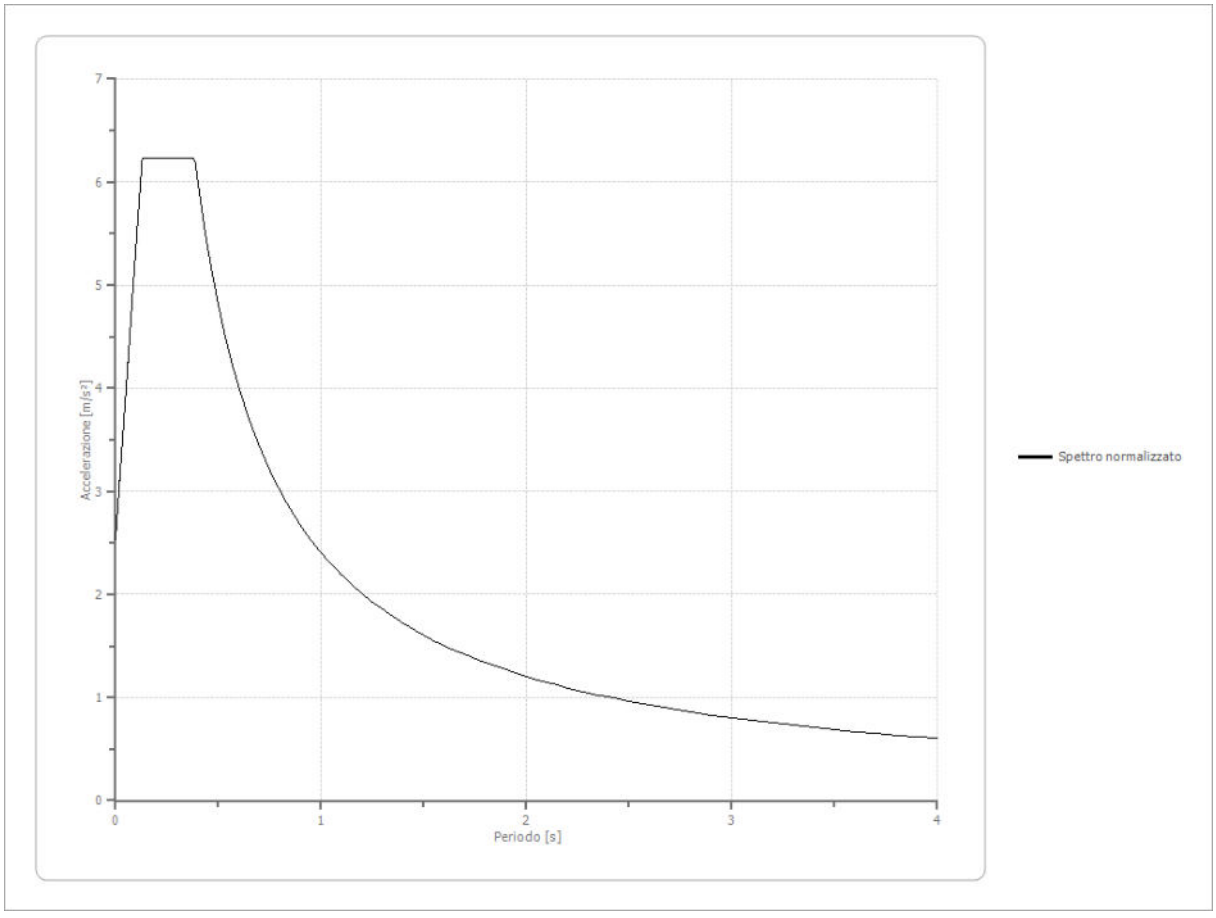
0.20	6.3898	0.46	5.4562	0.86	2.1929	1.95	0.9221		
0.21	6.6937	0.47	5.3574	0.88	2.1549	2.00	0.9020		
0.22	6.6629	0.48	5.1887	0.90	2.1020	2.05	0.8749		
0.23	6.6336	0.49	4.9552	0.92	2.0539	2.10	0.8453		
0.24	6.5674	0.50	4.7207	0.94	2.0040	2.15	0.8121		
0.25	6.6898	0.51	4.4608	0.96	1.9467	2.20	0.7752		



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	2.5305	0.26	6.2269	0.52	4.6271	0.98	2.4552	2.25	1.0694
0.01	2.8175	0.27	6.2269	0.53	4.5398	1.00	2.4061	2.30	1.0461
0.02	3.1045	0.28	6.2269	0.54	4.4557	1.05	2.2915	2.35	1.0239
0.03	3.3915	0.29	6.2269	0.55	4.3747	1.10	2.1874	2.40	1.0025
0.04	3.6784	0.30	6.2269	0.56	4.2966	1.15	2.0923	2.50	0.9624
0.05	3.9654	0.31	6.2269	0.57	4.2212	1.20	2.0051	2.60	0.9254
0.06	4.2524	0.32	6.2269	0.58	4.1485	1.25	1.9249	2.70	0.8911
0.07	4.5394	0.33	6.2269	0.60	4.0102	1.30	1.8508	2.80	0.8593
0.08	4.8264	0.34	6.2269	0.62	3.8808	1.35	1.7823	2.90	0.8297
0.09	5.1134	0.35	6.2269	0.64	3.7595	1.40	1.7186	3.00	0.8020
0.10	5.4004	0.36	6.2269	0.66	3.6456	1.45	1.6594	3.10	0.7762

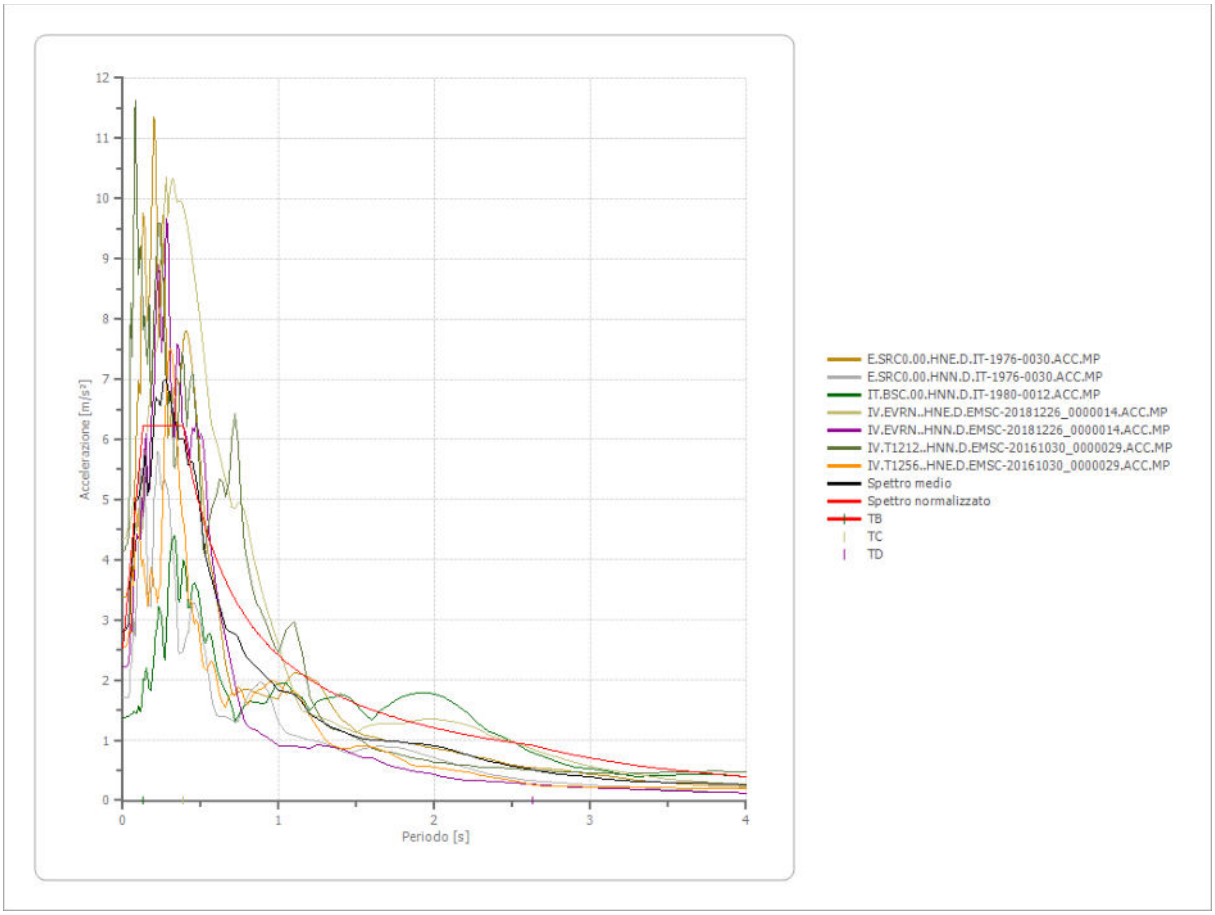
0.11	5.6874	0.37	6.2269	0.68	3.5384	1.50	1.6041	3.20	0.7519
0.12	5.9744	0.38	6.2269	0.70	3.4373	1.55	1.5523	3.30	0.7291
0.13	6.2269	0.39	6.1695	0.72	3.3418	1.60	1.5038	3.40	0.7077
0.14	6.2269	0.40	6.0153	0.74	3.2515	1.65	1.4582	3.50	0.6875
0.15	6.2269	0.41	5.8685	0.76	3.1659	1.70	1.4154	3.60	0.6684
0.16	6.2269	0.42	5.7288	0.78	3.0847	1.75	1.3749	3.70	0.6503
0.17	6.2269	0.43	5.5956	0.80	3.0076	1.80	1.3367	3.80	0.6332
0.18	6.2269	0.44	5.4684	0.82	2.9343	1.85	1.3006	3.90	0.6169
0.19	6.2269	0.45	5.3469	0.84	2.8644	1.90	1.2664	4.00	0.6015
0.20	6.2269	0.46	5.2307	0.86	2.7978	1.95	1.2339		
0.21	6.2269	0.47	5.1194	0.88	2.7342	2.00	1.2031		
0.22	6.2269	0.48	5.0127	0.90	2.6734	2.05	1.1737		
0.23	6.2269	0.49	4.9104	0.92	2.6153	2.10	1.1458		
0.24	6.2269	0.50	4.8122	0.94	2.5597	2.15	1.1191		
0.25	6.2269	0.51	4.7179	0.96	2.5064	2.20	1.0937		



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
2.530	2.460782	--	0.129	0.386	2.632	2.530	6.227	1.830

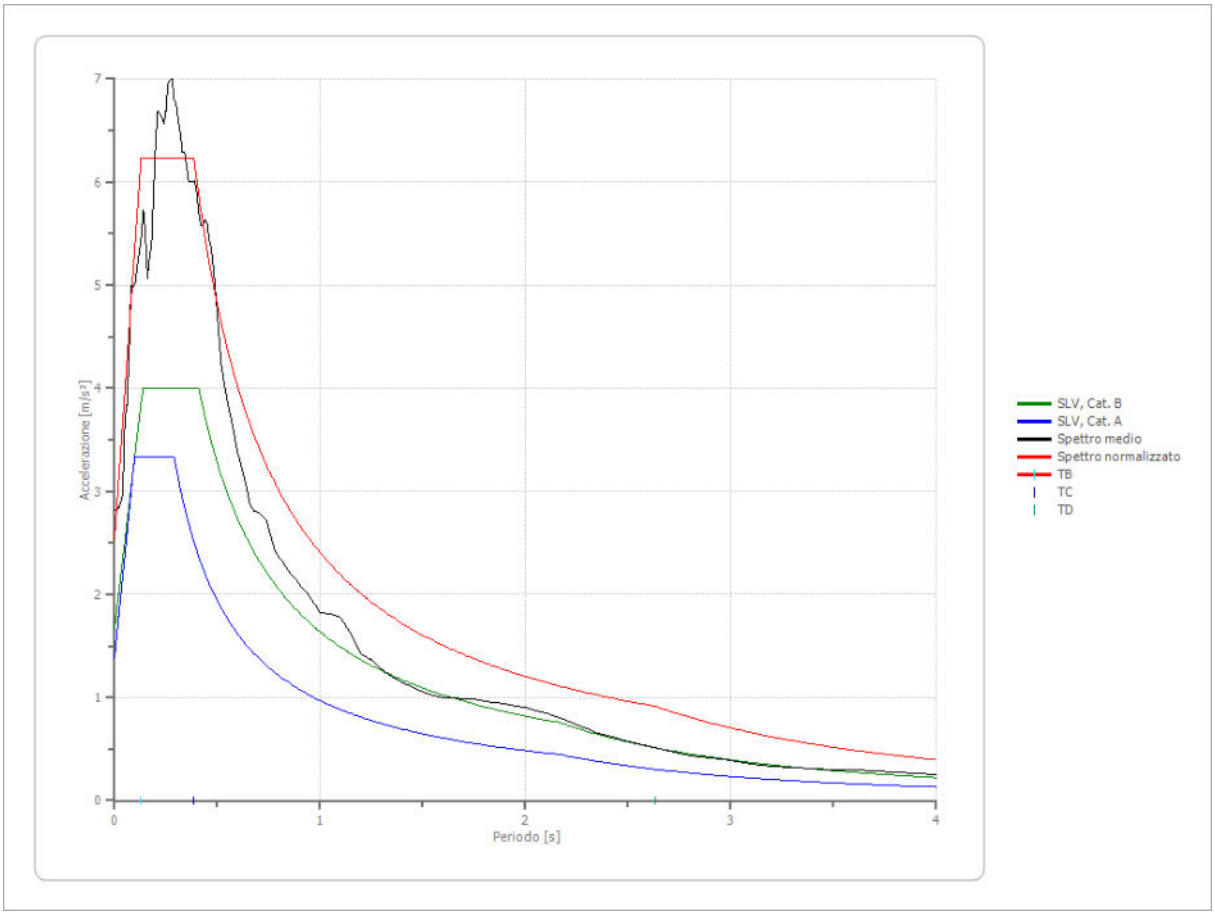
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

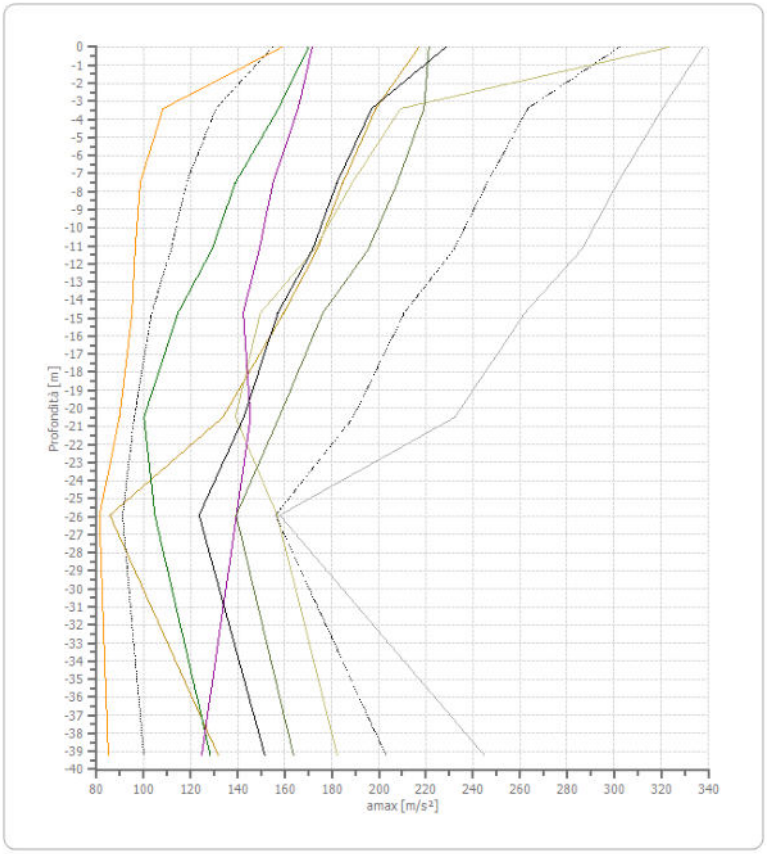
	Operatività SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguardia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A
Tr [anni]	30	50	475	975	30	50	475	975
ag [m/s²]	0.451	0.559	1.383	1.776	0.451	0.559	1.383	1.776
Fo	2.472	2.495	2.409	2.373	2.472	2.495	2.409	2.373
Tc* [s]	0.231	0.249	0.291	0.298	0.231	0.249	0.291	0.298
Ss	1.20	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00	1.00	1.00
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.47	1.45	1.41	1.40	1.00	1.00	1.00	1.00
TB [s]	0.114	0.121	0.137	0.139	0.077	0.083	0.097	0.099
TC [s]	0.341	0.362	0.410	0.418	0.231	0.249	0.291	0.298
TD [s]	1.784	1.828	2.164	2.324	1.784	1.828	2.164	2.324
Se(0) [m/s²]	0.541	0.671	1.660	2.131	0.451	0.559	1.383	1.776
Se(TB) [m/s²]	1.338	1.674	3.998	5.057	1.115	1.395	3.332	4.214



Profilo a max

	0.0 [m]	3.4 [m]	7.5 [m]	11.2 [m]	14.7 [m]	20.5 [m]	25.9 [m]	39.2 [m]
E.SRC0.00.HNE.D.IT-1976-0030.ACC.MP [m/s²]	217.111	198.686	184.624	173.842	159.526	133.757	85.673	131.708
E.SRC0.00.HNN.D.IT-1976-0030.ACC.MP [m/s²]	337.571	320.521	301.460	286.375	262.003	232.430	157.833	244.807
IT.BSC.00.HNN.D.IT-1980-0012.ACC.MP [m/s²]	170.079	157.317	138.960	129.099	114.588	100.195	104.755	128.428
IV.EVRN..HNE.D.E	323.529	209.289	188.618	172.764	149.586	139.054	156.745	182.357

MSC-20181226_0000014.ACC.MP [m/s²]								
IV.EVRN..HNN.D.EMSC-20181226_0000014.ACC.MP [m/s²]	171.732	165.696	155.005	149.203	142.314	145.430	139.530	124.676
IV.T1212..HNN.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP [m/s²]	221.377	219.181	207.830	195.562	176.182	157.641	139.323	163.754
IV.T1256..HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP [m/s²]	158.757	108.279	98.503	96.424	95.107	89.780	81.282	84.953
media [m/s²]	228.594	196.996	182.143	171.895	157.044	142.613	123.592	151.526
Dev. St. [m/s²]	73.719	66.244	63.955	60.156	53.697	46.516	32.547	51.447


Profondità [m]
0
-1
-2
-3
-4
-5
-6
-7
-8
-9
-10
-11
-12
-13
-14
-15
-16
-17
-18
-19
-20
-21
-22
-23
-24
-25
-26
-27
-28
-29
-30
-31
-32
-33
-34
-35
-36
-37
-38
-39
-40
80
100
120
140
160
180
200
220
240
260
280
300
320
340
amax [m/s²]
E.SRC0.00.HNE.D.IT-1976-0030.ACC.MP
E.SRC0.00.HNN.D.IT-1976-0030.ACC.MP
IT.BSC.00.HNN.D.IT-1980-0012.ACC.MP
IV.EVRN..HNE.D.EMSC-20181226_0000014.ACC.MP
IV.EVRN..HNN.D.EMSC-20181226_0000014.ACC.MP
IV.T1212..HNN.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP
IV.T1256..HNE.D.EMSC-20161030_0000029.ACC.MP
amax media
amax media + ded. st.
amax media - dev.st

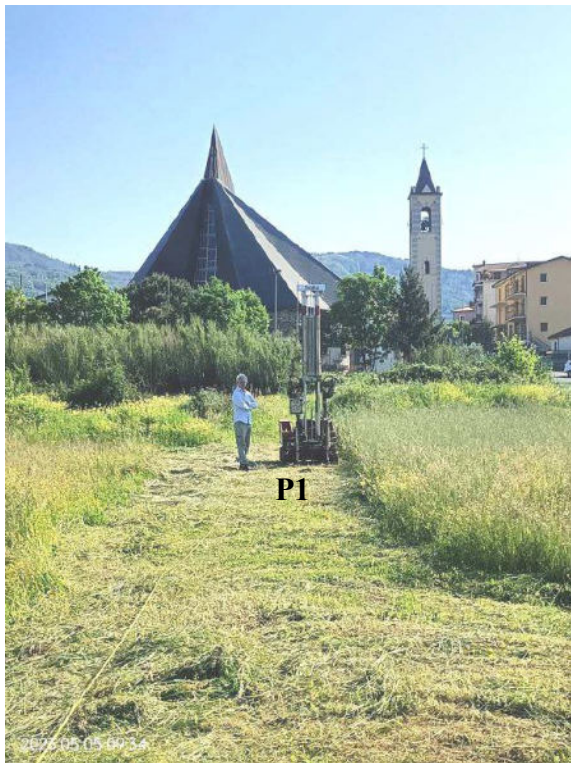
Allegato "d"
Risultati delle indagini geognostiche

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Lerici srl Descrizione: Localita': Ceparana	

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondita' giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °



PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data 05-05-2023
Profondita' prova 13,00 mt
Falda rilevata
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (MPa)	Res. dinamica (MPa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (kPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (kPa)
0,20	4	0,855	3,52	4,12	176,13	206,08
0,40	4	0,851	3,51	4,12	175,33	206,08
0,60	2	0,847	1,60	1,89	80,10	94,57
0,80	3	0,843	2,39	2,84	119,63	141,85
1,00	7	0,840	5,56	6,62	277,95	330,99
1,20	8	0,836	6,33	7,57	316,34	378,28
1,40	6	0,833	4,73	5,67	236,29	283,71
1,60	5	0,830	3,62	4,37	181,23	218,46
1,80	5	0,826	3,61	4,37	180,52	218,46
2,00	5	0,823	3,60	4,37	179,84	218,46
2,20	4	0,820	2,87	3,50	143,33	174,77
2,40	7	0,817	5,00	6,12	249,92	305,85
2,60	5	0,814	3,31	4,06	165,32	203,04
2,80	5	0,811	3,30	4,06	164,75	203,04
3,00	5	0,809	3,28	4,06	164,19	203,04
3,20	6	0,806	3,93	4,87	196,38	243,65
3,40	3	0,803	1,96	2,44	97,87	121,82
3,60	4	0,801	2,43	3,03	121,51	151,72
3,80	4	0,798	2,42	3,03	121,13	151,72
4,00	4	0,796	2,42	3,03	120,77	151,72
4,20	2	0,794	1,20	1,52	60,21	75,86
4,40	2	0,791	1,20	1,52	60,04	75,86
4,60	2	0,789	1,12	1,42	56,17	71,17
4,80	3	0,787	1,68	2,13	84,02	106,75
5,00	3	0,785	1,68	2,13	83,80	106,75
5,20	5	0,783	2,79	3,56	139,31	177,92
5,40	4	0,781	2,22	2,85	111,17	142,33
5,60	5	0,779	2,61	3,35	130,54	167,55
5,80	6	0,777	3,13	4,02	156,28	201,06
6,00	11	0,775	5,72	7,37	285,85	368,61
6,20	10	0,774	5,19	6,70	259,27	335,10
6,40	8	0,772	4,14	5,36	206,96	268,08
6,60	7	0,770	3,42	4,43	170,75	221,65
6,80	12	0,769	5,84	7,60	292,11	379,98
7,00	18	0,717	8,18	11,40	408,77	569,97
7,20	19	0,716	8,61	12,03	430,56	601,63
7,40	21	0,664	8,83	13,30	441,64	664,96
7,60	18	0,713	7,70	10,80	385,02	540,23

7,80	15	0,711	6,40	9,00	320,21	450,19
8,00	13	0,710	5,54	7,80	276,98	390,16
8,20	13	0,709	5,53	7,80	276,46	390,16
8,40	10	0,757	4,55	6,00	227,27	300,13
8,60	11	0,756	4,74	6,28	237,20	313,76
8,80	17	0,705	6,83	9,70	341,72	484,91
9,00	17	0,703	6,82	9,70	341,13	484,91
9,20	25	0,652	9,30	14,26	465,15	713,10
9,40	26	0,651	9,66	14,83	482,88	741,63
9,60	21	0,650	7,42	11,41	370,93	570,70
9,80	22	0,649	7,76	11,96	387,91	597,88
10,00	22	0,648	7,74	11,96	387,25	597,88
10,20	13	0,697	4,92	7,07	246,10	353,29
10,40	12	0,746	4,86	6,52	243,12	326,12
10,60	12	0,744	4,64	6,23	231,82	311,40
10,80	10	0,743	3,86	5,19	192,91	259,50
11,00	12	0,742	4,62	6,23	231,17	311,40
11,20	10	0,741	3,85	5,19	192,37	259,50
11,40	14	0,690	5,02	7,27	250,78	363,30
11,60	18	0,689	6,16	8,94	308,05	446,94
11,80	16	0,688	5,47	7,95	273,42	397,28
12,00	12	0,737	4,39	5,96	219,66	297,96
12,20	16	0,686	5,45	7,95	272,61	397,28
12,40	12	0,735	4,38	5,96	219,05	297,96
12,60	19	0,684	6,19	9,04	309,40	452,24
12,80	31	0,583	8,61	14,76	430,27	737,87
13,00	100	0,532	25,33	47,60	1266,51	2380,22

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1
TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (kPa)
Strato (3)	4,78	4,00-5,60	Terzaghi-Peck	29,32

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (MPa)
Strato (3)	4,78	4,00-5,60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	4,96

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (3)	4,78	4,00-5,60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (kN/m³)
Strato (3)	4,78	4,00-5,60	Meyerhof	17,16

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (kN/m³)
Strato (3)	4,78	4,00-5,60	Meyerhof	18,44

TERRENI INCOERENTI

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1)	4,78	0.00-0,80	4,78	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	23,47
Strato (2)	7,63	0,80-4,00	7,63	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	25,7
Strato (3)	4,78	4,00-5,60	4,78	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	23,47
Strato (4)	18,82	5,60-8,60	16,91	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	30,93
Strato (5)	23,96	8,60-12,60	19,48	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	32,09

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (MPa)
Strato (1)	4,78	0.00-0,80	4,78	Begemann (1974)	3,66
Strato (2)	7,63	0,80-4,00	7,63	Begemann (1974)	4,23
Strato (3)	4,78	4,00-5,60	4,78	Begemann (1974)	3,66
Strato (4)	18,82	5,60-8,60	16,91	Begemann (1974)	6,10
Strato (5)	23,96	8,60-12,60	19,48	Begemann (1974)	6,62

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1)	4,78	0.00-0,80	4,78	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2)	7,63	0,80-4,00	7,63	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3)	4,78	4,00-5,60	4,78	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4)	18,82	5,60-8,60	16,91	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (5)	23,96	8,60-12,60	19,48	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (kN/m³)
Strato (1)	4,78	0.00-0,80	4,78	Terzaghi-Peck 1948	13,82
Strato (2)	7,63	0,80-4,00	7,63	Terzaghi-Peck 1948	14,19
Strato (3)	4,78	4,00-5,60	4,78	Terzaghi-Peck 1948	13,82
Strato (4)	18,82	5,60-8,60	16,91	Terzaghi-Peck 1948	15,31
Strato (5)	23,96	8,60-12,60	19,48	Terzaghi-Peck 1948	15,59

Peso unita' di volume saturo

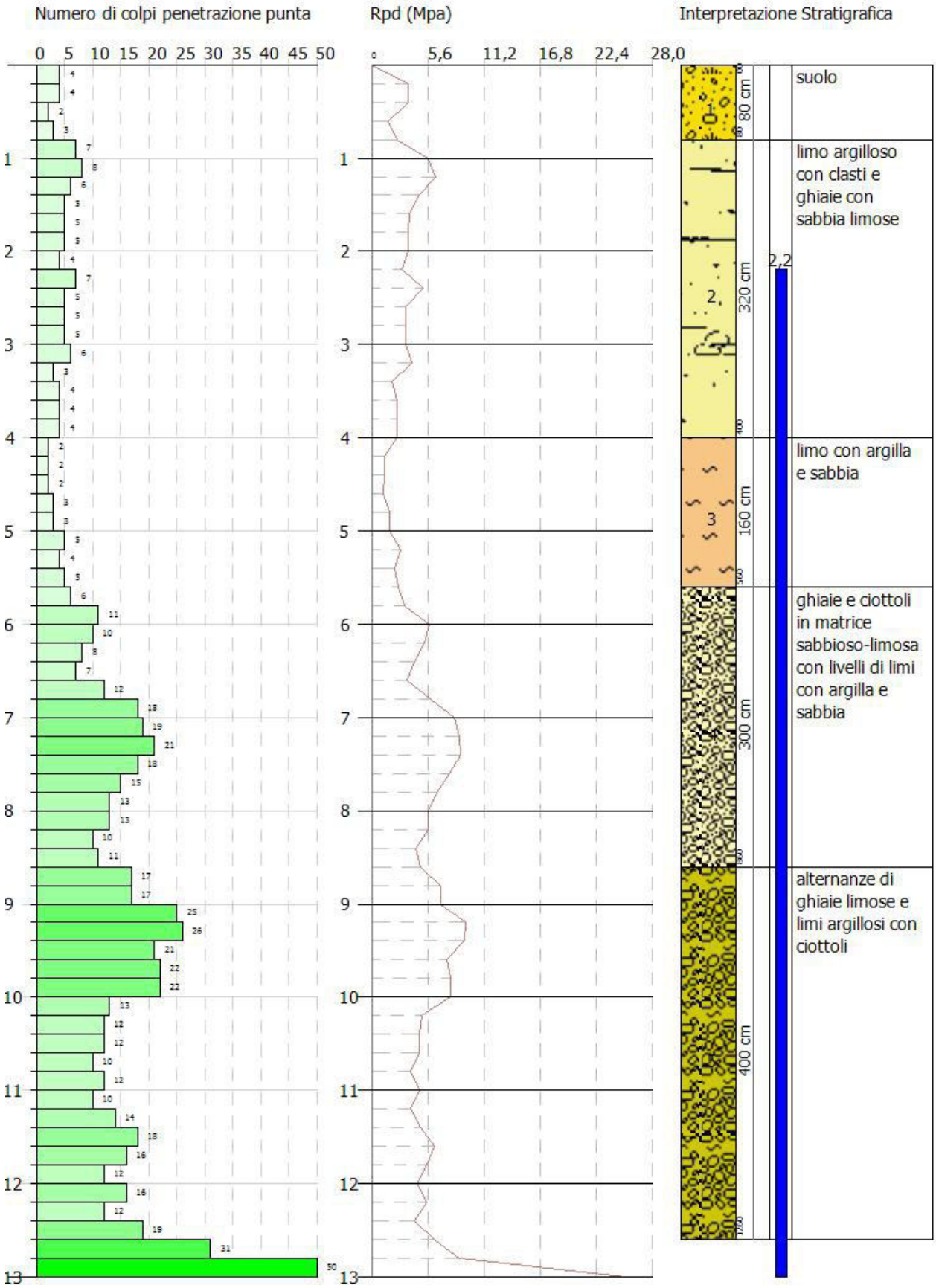
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (kN/m³)
Strato (1)	4,78	0.00-0,80	4,78	Terzaghi-Peck 1948	18,41
Strato (2)	7,63	0,80-4,00	7,63	Terzaghi-Peck 1948	18,64
Strato (3)	4,78	4,00-5,60	4,78	Terzaghi-Peck 1948	18,41
Strato (4)	18,82	5,60-8,60	16,91	Terzaghi-Peck 1948	19,33
Strato (5)	23,96	8,60-12,60	19,48	Terzaghi-Peck 1948	19,51

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Lerici srl
Descrizione:
Localita': Ceparana

05-05-2023

Scala 1:60



PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data 05-05-2023
Profondita' prova 9,00 mt
Falda rilevata
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (MPa)	Res. dinamica (MPa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (kPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (kPa)
0,20	1	0,855	0,88	1,03	44,03	51,52
0,40	4	0,851	3,51	4,12	175,33	206,08
0,60	3	0,847	2,40	2,84	120,15	141,85
0,80	3	0,843	2,39	2,84	119,63	141,85
1,00	3	0,840	2,38	2,84	119,12	141,85
1,20	5	0,836	3,95	4,73	197,71	236,42
1,40	14	0,783	10,36	13,24	518,25	661,99
1,60	9	0,830	6,52	7,86	326,21	393,23
1,80	7	0,826	5,05	6,12	252,73	305,85
2,00	8	0,823	5,75	6,99	287,74	349,54
2,20	4	0,820	2,87	3,50	143,33	174,77
2,40	6	0,817	4,28	5,24	214,22	262,16
2,60	7	0,814	4,63	5,69	231,45	284,25
2,80	4	0,811	2,64	3,25	131,80	162,43
3,00	3	0,809	1,97	2,44	98,52	121,82
3,20	3	0,806	1,96	2,44	98,19	121,82
3,40	3	0,803	1,96	2,44	97,87	121,82
3,60	4	0,801	2,43	3,03	121,51	151,72
3,80	4	0,798	2,42	3,03	121,13	151,72
4,00	4	0,796	2,42	3,03	120,77	151,72
4,20	2	0,794	1,20	1,52	60,21	75,86
4,40	3	0,791	1,80	2,28	90,06	113,79
4,60	3	0,789	1,69	2,13	84,25	106,75
4,80	5	0,787	2,80	3,56	140,04	177,92
5,00	4	0,785	2,23	2,85	111,73	142,33
5,20	10	0,783	5,57	7,12	278,62	355,83
5,40	15	0,731	7,80	10,67	390,19	533,75
5,60	10	0,779	5,22	6,70	261,09	335,10
5,80	14	0,727	6,82	9,38	341,19	469,14
6,00	14	0,725	6,81	9,38	340,35	469,14
6,20	11	0,774	5,70	7,37	285,20	368,61
6,40	18	0,722	8,71	12,06	435,50	603,18
6,60	17	0,720	7,76	10,77	387,77	538,30
6,80	17	0,719	7,74	10,77	386,90	538,30
7,00	26	0,667	10,99	16,47	549,28	823,29
7,20	15	0,716	6,80	9,50	339,91	474,97
7,40	6	0,764	2,90	3,80	145,18	189,99
7,60	13	0,713	5,56	7,80	278,07	390,16

7,80	11	0,761	5,03	6,60	251,33	330,14
8,00	12	0,760	5,47	7,20	273,68	360,15
8,20	16	0,709	6,81	9,60	340,25	480,20
8,40	28	0,657	11,05	16,81	552,32	840,35
8,60	33	0,606	11,41	18,83	570,40	941,29
8,80	34	0,605	11,73	19,40	586,46	969,82
9,00	100	0,553	31,58	57,05	1578,77	2852,41

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2
TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (kPa)
Strato (3)	5,14	2,60-5,00	Terzaghi-Peck	31,48

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (MPa)
Strato (3)	5,14	2,60-5,00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	5,32

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (3)	5,14	2,60-5,00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (kN/m³)
Strato (3)	5,14	2,60-5,00	Meyerhof	17,36

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (kN/m³)
Strato (3)	5,14	2,60-5,00	Meyerhof	18,44

TERRENI INCOERENTI

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1)	4,12	0.00-1,00	4,12	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	22,86
Strato (2)	11,03	1,00-2,60	11,03	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	27,86
Strato (3)	5,14	2,60-5,00	5,14	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	23,78
Strato (4)	20,67	5,00-8,20	17,84	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	31,36

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (MPa)
Strato (1)	4,12	0.00-1,00	4,12	Begemann (1974)	3,52
Strato (2)	11,03	1,00-2,60	11,03	Begemann (1974)	4,92
Strato (3)	5,14	2,60-5,00	5,14	Begemann (1974)	3,73
Strato (4)	20,67	5,00-8,20	17,84	Begemann (1974)	6,29

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1)	4,12	0.00-1,00	4,12	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2)	11,03	1,00-2,60	11,03	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3)	5,14	2,60-5,00	5,14	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4)	20,67	5,00-8,20	17,84	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (kN/m³)
Strato (1)	4,12	0.00-1,00	4,12	Terzaghi-Peck 1948	13,73
Strato (2)	11,03	1,00-2,60	11,03	Terzaghi-Peck 1948	14,62
Strato (3)	5,14	2,60-5,00	5,14	Terzaghi-Peck 1948	13,87
Strato (4)	20,67	5,00-8,20	17,84	Terzaghi-Peck 1948	15,41

Peso unita' di volume saturo

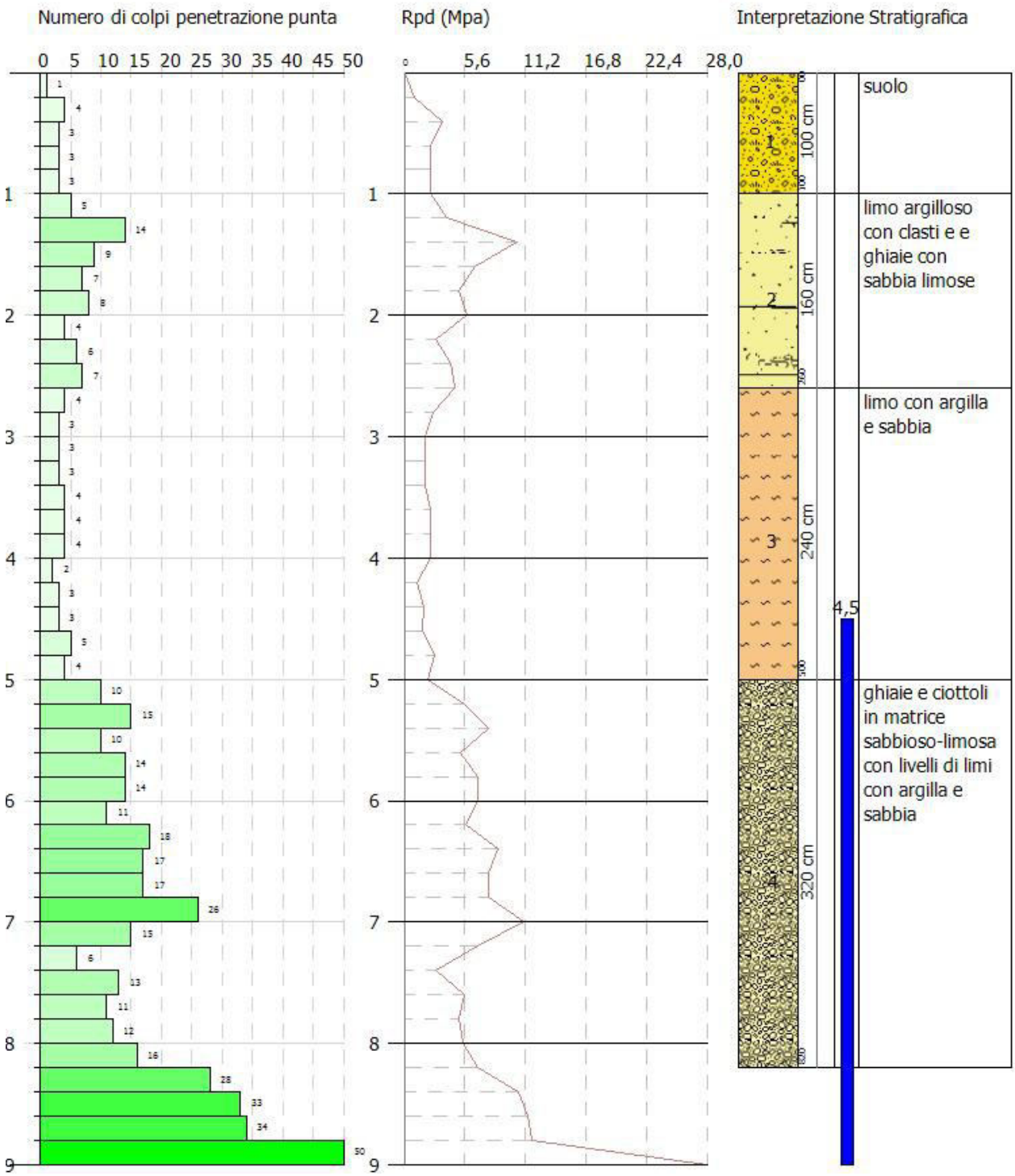
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (kN/m³)
Strato (1)	4,12	0.00-1,00	4,12	Terzaghi-Peck 1948	18,36
Strato (2)	11,03	1,00-2,60	11,03	Terzaghi-Peck 1948	18,91
Strato (3)	5,14	2,60-5,00	5,14	Terzaghi-Peck 1948	18,44
Strato (4)	20,67	5,00-8,20	17,84	Terzaghi-Peck 1948	19,40

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Lerici srl
Descrizione:
Localita': Ceparana

05-05-2023

Scala 1:50



PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data 05-05-2023
Profondita' prova 8,40 mt
Falda rilevata
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (MPa)	Res. dinamica (MPa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (kPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (kPa)
0,20	3	0,855	2,64	3,09	132,09	154,56
0,40	3	0,851	2,63	3,09	131,50	154,56
0,60	2	0,847	1,60	1,89	80,10	94,57
0,80	1	0,843	0,80	0,95	39,88	47,28
1,00	1	0,840	0,79	0,95	39,71	47,28
1,20	1	0,836	0,79	0,95	39,54	47,28
1,40	1	0,833	0,79	0,95	39,38	47,28
1,60	2	0,830	1,45	1,75	72,49	87,39
1,80	5	0,826	3,61	4,37	180,52	218,46
2,00	5	0,823	3,60	4,37	179,84	218,46
2,20	5	0,820	3,58	4,37	179,17	218,46
2,40	4	0,817	2,86	3,50	142,81	174,77
2,60	4	0,814	2,65	3,25	132,26	162,43
2,80	3	0,811	1,98	2,44	98,85	121,82
3,00	3	0,809	1,97	2,44	98,52	121,82
3,20	3	0,806	1,96	2,44	98,19	121,82
3,40	6	0,803	3,91	4,87	195,75	243,65
3,60	3	0,801	1,82	2,28	91,13	113,79
3,80	5	0,798	3,03	3,79	151,42	189,65
4,00	5	0,796	3,02	3,79	150,96	189,65
4,20	6	0,794	3,61	4,55	180,63	227,58
4,40	4	0,791	2,40	3,03	120,08	151,72
4,60	4	0,789	2,25	2,85	112,33	142,33
4,80	6	0,787	3,36	4,27	168,04	213,50
5,00	8	0,785	4,47	5,69	223,47	284,66
5,20	12	0,783	6,69	8,54	334,34	427,00
5,40	9	0,781	5,00	6,40	250,13	320,25
5,60	10	0,779	5,22	6,70	261,09	335,10
5,80	14	0,727	6,82	9,38	341,19	469,14
6,00	14	0,725	6,81	9,38	340,35	469,14
6,20	11	0,774	5,70	7,37	285,20	368,61
6,40	13	0,722	6,29	8,71	314,53	435,63
6,60	16	0,720	7,30	10,13	364,96	506,64
6,80	13	0,719	5,92	8,23	295,87	411,64
7,00	9	0,767	4,37	5,70	218,63	284,98
7,20	9	0,766	4,36	5,70	218,20	284,98

7,40	10	0,764	4,84	6,33	241,97	316,65
7,60	12	0,763	5,49	7,20	274,69	360,15
7,80	8	0,761	3,66	4,80	182,79	240,10
8,00	8	0,760	3,65	4,80	182,46	240,10
8,20	19	0,709	8,08	11,40	404,05	570,24
8,40	100	0,557	33,45	60,03	1672,46	3001,26

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3
TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (kPa)
Strato (3)	7,17	3,20-4,80	Terzaghi-Peck	43,93

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (MPa)
Strato (3)	7,17	3,20-4,80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	7,35

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (3)	7,17	3,20-4,80	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (kN/m³)
Strato (3)	7,17	3,20-4,80	Meyerhof	18,34

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (kN/m³)
Strato (3)	7,17	3,20-4,80	Meyerhof	18,63

TERRENI INCOERENTI

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1)	3,92	0.00-0,60	3,92	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	22,67
Strato (2)	4,29	0,60-3,20	4,29	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	23,02
Strato (3)	7,17	3,20-4,80	7,17	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	25,37
Strato (4)	16,86	4,80-8,20	15,93	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	30,46

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (MPa)
Strato (1)	3,92	0.00-0,60	3,92	Begemann (1974)	3,48
Strato (2)	4,29	0,60-3,20	4,29	Begemann (1974)	3,56
Strato (3)	7,17	3,20-4,80	7,17	Begemann (1974)	4,14
Strato (4)	16,86	4,80-8,20	15,93	Begemann (1974)	5,90

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1)	3,92	0.00-0,60	3,92	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2)	4,29	0,60-3,20	4,29	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3)	7,17	3,20-4,80	7,17	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4)	16,86	4,80-8,20	15,93	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (kN/m³)
Strato (1)	3,92	0.00-0,60	3,92	Terzaghi-Peck 1948	13,71
Strato (2)	4,29	0,60-3,20	4,29	Terzaghi-Peck 1948	13,76
Strato (3)	7,17	3,20-4,80	7,17	Terzaghi-Peck 1948	14,13
Strato (4)	16,86	4,80-8,20	15,93	Terzaghi-Peck 1948	15,20

Peso unita' di volume saturo

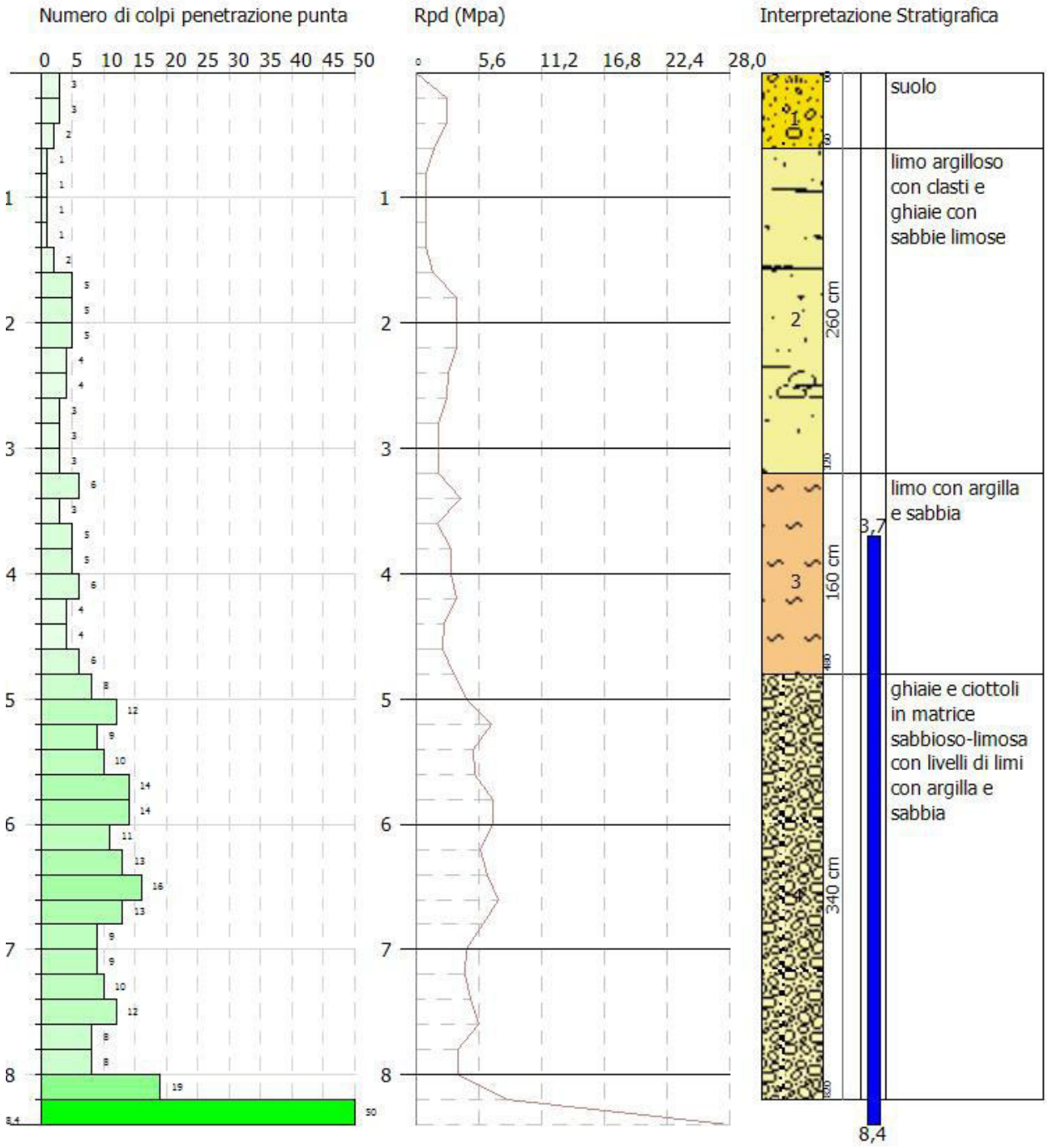
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (kN/m³)
Strato (1)	3,92	0.00-0,60	3,92	Terzaghi-Peck 1948	18,34
Strato (2)	4,29	0,60-3,20	4,29	Terzaghi-Peck 1948	18,37
Strato (3)	7,17	3,20-4,80	7,17	Terzaghi-Peck 1948	18,61
Strato (4)	16,86	4,80-8,20	15,93	Terzaghi-Peck 1948	19,27

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Lerici srl
Descrizione:
Localita': Ceparana

05-05-2023

Scala 1:50



PROVA ... Nr.4

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data 18/10/2023
Profondita' prova 8,20 mt
Falda rilevata
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (MPa)	Res. dinamica (MPa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (kPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (kPa)
0,20	6	0,855	5,28	6,18	264,19	309,12
0,40	9	0,851	7,89	9,27	394,49	463,69
0,60	9	0,847	7,21	8,51	360,46	425,56
0,80	10	0,843	7,98	9,46	398,77	472,85
1,00	12	0,840	9,53	11,35	476,49	567,42
1,20	7	0,836	5,54	6,62	276,80	330,99
1,40	8	0,833	6,30	7,57	315,06	378,28
1,60	7	0,830	5,07	6,12	253,72	305,85
1,80	6	0,826	4,33	5,24	216,63	262,16
2,00	6	0,823	4,32	5,24	215,80	262,16
2,20	8	0,820	5,73	6,99	286,67	349,54
2,40	5	0,817	3,57	4,37	178,52	218,46
2,60	4	0,814	2,65	3,25	132,26	162,43
2,80	6	0,811	3,95	4,87	197,70	243,65
3,00	4	0,809	2,63	3,25	131,35	162,43
3,20	3	0,806	1,96	2,44	98,19	121,82
3,40	4	0,803	2,61	3,25	130,50	162,43
3,60	4	0,801	2,43	3,03	121,51	151,72
3,80	3	0,798	1,82	2,28	90,85	113,79
4,00	3	0,796	1,81	2,28	90,58	113,79
4,20	3	0,794	1,81	2,28	90,31	113,79
4,40	4	0,791	2,40	3,03	120,08	151,72
4,60	5	0,789	2,81	3,56	140,42	177,92
4,80	6	0,787	3,36	4,27	168,04	213,50
5,00	8	0,785	4,47	5,69	223,47	284,66
5,20	11	0,783	6,13	7,83	306,48	391,41
5,40	6	0,781	3,34	4,27	166,75	213,50
5,60	9	0,779	4,70	6,03	234,98	301,59
5,80	10	0,777	5,21	6,70	260,47	335,10
6,00	12	0,775	6,24	8,04	311,83	402,12
6,20	13	0,724	6,31	8,71	315,27	435,63
6,40	12	0,772	6,21	8,04	310,44	402,12
6,60	12	0,770	5,85	7,60	292,72	379,98
6,80	15	0,719	6,83	9,50	341,38	474,97
7,00	16	0,717	7,27	10,13	363,35	506,64
7,20	16	0,716	7,25	10,13	362,57	506,64
7,40	34	0,614	13,22	21,53	661,20	1076,61
7,60	21	0,663	8,35	12,61	417,68	630,26

7,80	23	0,661	9,13	13,81	456,48	690,29
8,00	27	0,660	10,70	16,21	534,75	810,34
8,20	100	0,559	33,53	60,03	1676,40	3001,26

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.4
TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (kPa)
Strato (3)	6,32	3,00-5,00	Terzaghi-Peck	38,74

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (MPa)
Strato (3)	6,32	3,00-5,00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	6,50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (3)	6,32	3,00-5,00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (kN/m³)
Strato (3)	6,32	3,00-5,00	Meyerhof	17,95

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (kN/m³)
Strato (3)	6,32	3,00-5,00	Meyerhof	18,53

TERRENI INCOERENTI

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1)	13,52	0.00-1,00	13,52	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	29,24
Strato (2)	8,97	1,00-3,00	8,97	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	26,6
Strato (3)	6,32	3,00-5,00	6,32	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	24,74
Strato (4)	23,23	5,00-8,00	19,12	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	31,93

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (MPa)
Strato (1)	13,52	0.00-1,00	13,52	Begemann (1974)	5,42
Strato (2)	8,97	1,00-3,00	8,97	Begemann (1974)	4,50
Strato (3)	6,32	3,00-5,00	6,32	Begemann (1974)	3,97
Strato (4)	23,23	5,00-8,00	19,12	Begemann (1974)	6,54

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1)	13,52	0.00-1,00	13,52	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (2)	8,97	1,00-3,00	8,97	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3)	6,32	3,00-5,00	6,32	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4)	23,23	5,00-8,00	19,12	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (kN/m³)
Strato (1)	13,52	0.00-1,00	13,52	Terzaghi-Peck 1948	14,92
Strato (2)	8,97	1,00-3,00	8,97	Terzaghi-Peck 1948	14,36
Strato (3)	6,32	3,00-5,00	6,32	Terzaghi-Peck 1948	14,02
Strato (4)	23,23	5,00-8,00	19,12	Terzaghi-Peck 1948	15,55

Peso unita' di volume saturo

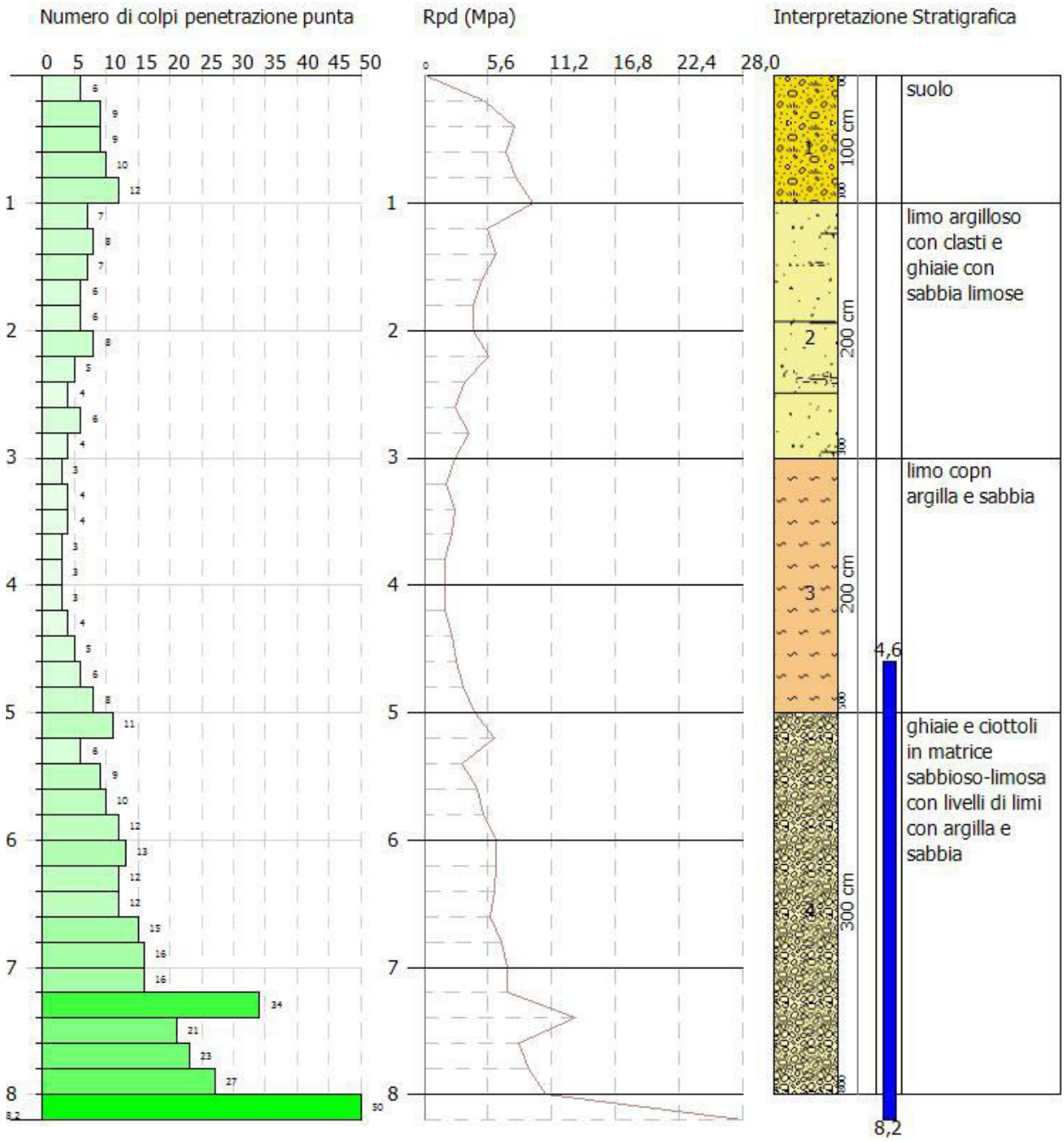
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (kN/m³)
Strato (1)	13,52	0.00-1,00	13,52	Terzaghi-Peck 1948	19,09
Strato (2)	8,97	1,00-3,00	8,97	Terzaghi-Peck 1948	18,75
Strato (3)	6,32	3,00-5,00	6,32	Terzaghi-Peck 1948	18,54
Strato (4)	23,23	5,00-8,00	19,12	Terzaghi-Peck 1948	19,49

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Lerici srl
Descrizione:
Localita': Ceparana

18/10/2023

Scala 1:50



PROVA ... Nr.5

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data 18/10/2023
Profondita' prova 8,80 mt
Falda rilevata
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (MPa)	Res. dinamica (MPa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (kPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (kPa)
0,20	6	0,855	5,28	6,18	264,19	309,12
0,40	7	0,851	6,14	7,21	306,83	360,64
0,60	6	0,847	4,81	5,67	240,30	283,71
0,80	7	0,843	5,58	6,62	279,14	330,99
1,00	12	0,840	9,53	11,35	476,49	567,42
1,20	7	0,836	5,54	6,62	276,80	330,99
1,40	6	0,833	4,73	5,67	236,29	283,71
1,60	5	0,830	3,62	4,37	181,23	218,46
1,80	5	0,826	3,61	4,37	180,52	218,46
2,00	4	0,823	2,88	3,50	143,87	174,77
2,20	5	0,820	3,58	4,37	179,17	218,46
2,40	4	0,817	2,86	3,50	142,81	174,77
2,60	3	0,814	1,98	2,44	99,19	121,82
2,80	5	0,811	3,30	4,06	164,75	203,04
3,00	3	0,809	1,97	2,44	98,52	121,82
3,20	5	0,806	3,27	4,06	163,65	203,04
3,40	5	0,803	3,26	4,06	163,12	203,04
3,60	4	0,801	2,43	3,03	121,51	151,72
3,80	3	0,798	1,82	2,28	90,85	113,79
4,00	4	0,796	2,42	3,03	120,77	151,72
4,20	6	0,794	3,61	4,55	180,63	227,58
4,40	10	0,791	6,00	7,59	300,19	379,30
4,60	30	0,689	14,72	21,35	735,76	1067,49
4,80	14	0,737	7,34	9,96	367,20	498,16
5,00	10	0,785	5,59	7,12	279,34	355,83
5,20	10	0,783	5,57	7,12	278,62	355,83
5,40	6	0,781	3,34	4,27	166,75	213,50
5,60	6	0,779	3,13	4,02	156,65	201,06
5,80	16	0,727	7,80	10,72	389,94	536,16
6,00	14	0,725	6,81	9,38	340,35	469,14
6,20	12	0,774	6,22	8,04	311,13	402,12
6,40	9	0,772	4,66	6,03	232,83	301,59
6,60	10	0,770	4,88	6,33	243,93	316,65
6,80	9	0,769	4,38	5,70	219,08	284,98
7,00	11	0,767	5,34	6,97	267,22	348,31
7,20	11	0,766	5,33	6,97	266,68	348,31
7,40	15	0,714	6,78	9,50	339,20	474,97
7,60	17	0,713	7,27	10,20	363,63	510,21

7,80	18	0,711	7,69	10,80	384,26	540,23
8,00	17	0,710	7,24	10,20	362,21	510,21
8,20	19	0,709	8,08	11,40	404,05	570,24
8,40	31	0,607	11,30	18,61	564,98	930,39
8,60	40	0,556	12,69	22,82	634,34	1140,96
8,80	100	0,555	31,65	57,05	1582,28	2852,41

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.5
TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (kPa)
Strato (3)	5,88	2,40-4,00	Terzaghi-Peck	36,09

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (MPa)
Strato (3)	5,88	2,40-4,00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	6,06

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (3)	5,88	2,40-4,00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (kN/m³)
Strato (3)	5,88	2,40-4,00	Meyerhof	17,75

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (kN/m³)
Strato (3)	5,88	2,40-4,00	Meyerhof	18,53

TERRENI INCOERENTI

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1)	9,56	0.00-0,80	9,56	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	26,97
Strato (2)	8,82	0,80-2,40	8,82	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	26,5
Strato (3)	5,88	2,40-4,00	5,88	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	24,39
Strato (4)	18,90	4,00-8,20	18,90	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	31,84

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (MPa)
Strato (1)	9,56	0.00-0,80	9,56	Begemann (1974)	4,62
Strato (2)	8,82	0,80-2,40	8,82	Begemann (1974)	4,47
Strato (3)	5,88	2,40-4,00	5,88	Begemann (1974)	3,88
Strato (4)	18,90	4,00-8,20	18,90	Begemann (1974)	6,50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1)	9,56	0.00-0,80	9,56	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2)	8,82	0,80-2,40	8,82	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3)	5,88	2,40-4,00	5,88	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4)	18,90	4,00-8,20	18,90	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (kN/m³)
Strato (1)	9,56	0.00-0,80	9,56	Terzaghi-Peck 1948	14,44
Strato (2)	8,82	0,80-2,40	8,82	Terzaghi-Peck 1948	14,34
Strato (3)	5,88	2,40-4,00	5,88	Terzaghi-Peck 1948	13,97
Strato (4)	18,90	4,00-8,20	18,90	Terzaghi-Peck 1948	15,53

Peso unita' di volume saturo

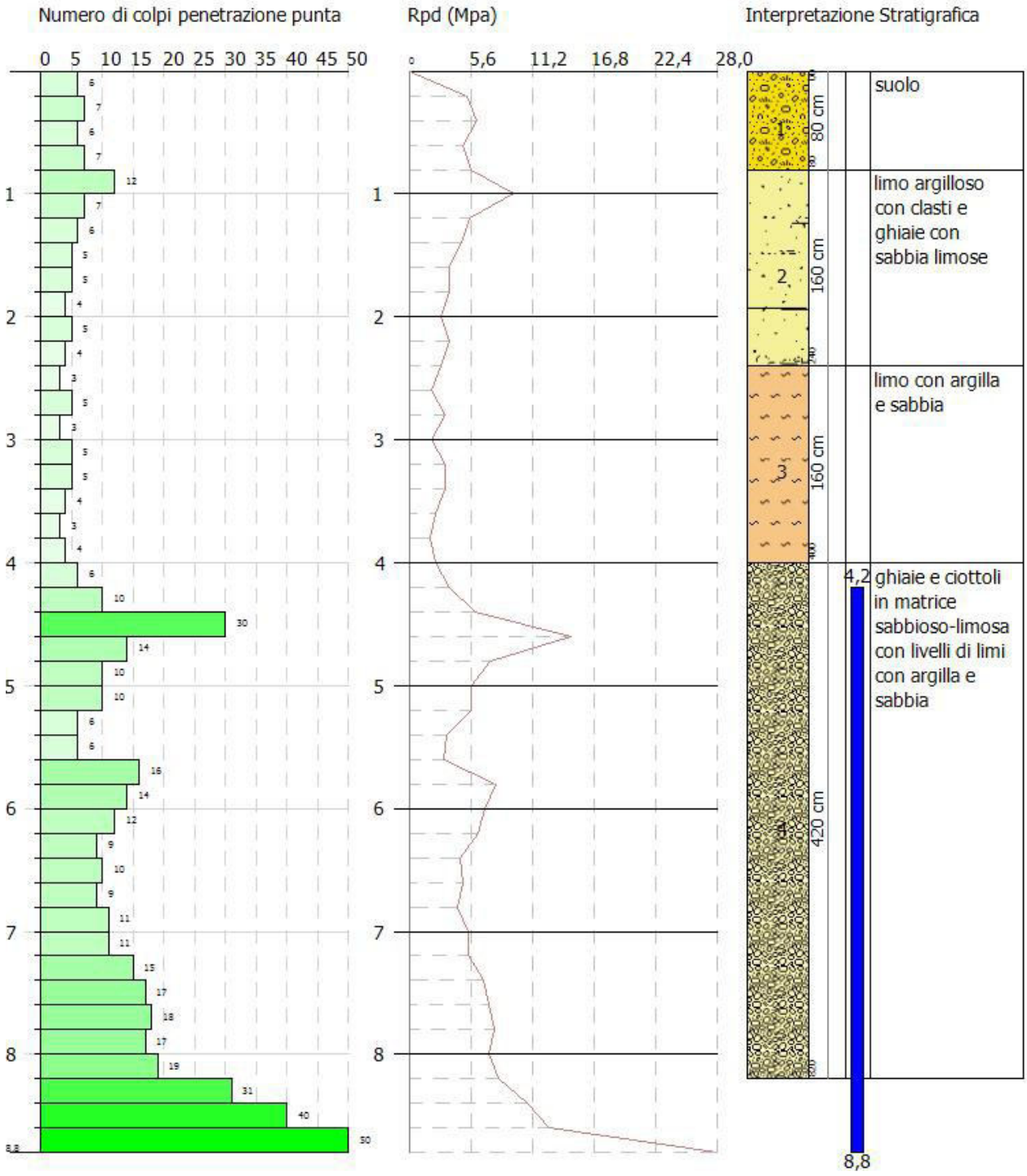
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (kN/m³)
Strato (1)	9,56	0.00-0,80	9,56	Terzaghi-Peck 1948	18,79
Strato (2)	8,82	0,80-2,40	8,82	Terzaghi-Peck 1948	18,74
Strato (3)	5,88	2,40-4,00	5,88	Terzaghi-Peck 1948	18,50
Strato (4)	18,90	4,00-8,20	18,90	Terzaghi-Peck 1948	19,47

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.5
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Lerici srl
Descrizione:
Localita': Ceparana

18/10/2023

Scala 1:50



PROVA ... Nr.6

Strumento utilizzato...DPSH TG 63-200 PAGANI
Prova eseguita in data 18/10/2023
Profondita' prova 13,60 mt
Falda rilevata
Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (MPa)	Res. dinamica (MPa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (kPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (kPa)
0,20	7	0,855	6,16	7,21	308,22	360,64
0,40	6	0,851	5,26	6,18	262,99	309,12
0,60	7	0,847	5,61	6,62	280,35	330,99
0,80	7	0,843	5,58	6,62	279,14	330,99
1,00	5	0,840	3,97	4,73	198,54	236,42
1,20	5	0,836	3,95	4,73	197,71	236,42
1,40	6	0,833	4,73	5,67	236,29	283,71
1,60	5	0,830	3,62	4,37	181,23	218,46
1,80	5	0,826	3,61	4,37	180,52	218,46
2,00	6	0,823	4,32	5,24	215,80	262,16
2,20	8	0,820	5,73	6,99	286,67	349,54
2,40	7	0,817	5,00	6,12	249,92	305,85
2,60	7	0,814	4,63	5,69	231,45	284,25
2,80	4	0,811	2,64	3,25	131,80	162,43
3,00	3	0,809	1,97	2,44	98,52	121,82
3,20	4	0,806	2,62	3,25	130,92	162,43
3,40	5	0,803	3,26	4,06	163,12	203,04
3,60	5	0,801	3,04	3,79	151,88	189,65
3,80	6	0,798	3,63	4,55	181,70	227,58
4,00	7	0,796	4,23	5,31	211,35	265,51
4,20	13	0,744	7,33	9,86	366,71	493,09
4,40	15	0,741	8,44	11,38	421,84	568,95
4,60	11	0,789	6,18	7,83	308,92	391,41
4,80	10	0,787	5,60	7,12	280,07	355,83
5,00	12	0,785	6,70	8,54	335,20	427,00
5,20	15	0,733	7,82	10,67	391,24	533,75
5,40	11	0,781	6,11	7,83	305,71	391,41
5,60	15	0,729	7,33	10,05	366,50	502,65
5,80	10	0,777	5,21	6,70	260,47	335,10
6,00	9	0,775	4,68	6,03	233,87	301,59
6,20	16	0,724	7,76	10,72	388,03	536,16
6,40	20	0,722	9,68	13,40	483,89	670,20
6,60	20	0,720	9,12	12,67	456,20	633,30
6,80	30	0,669	12,71	19,00	635,27	949,95
7,00	20	0,717	9,08	12,67	454,18	633,30
7,20	10	0,766	4,85	6,33	242,44	316,65
7,40	13	0,714	5,88	8,23	293,98	411,64
7,60	23	0,663	9,15	13,81	457,46	690,29

7,80	30	0,661	11,91	18,01	595,41	900,38
8,00	25	0,660	9,90	15,01	495,14	750,31
8,20	24	0,659	9,49	14,41	474,37	720,30
8,40	26	0,657	10,26	15,61	512,87	780,33
8,60	24	0,656	8,98	13,69	449,06	684,58
8,80	23	0,655	8,59	13,12	429,53	656,05
9,00	24	0,653	8,95	13,69	447,36	684,58
9,20	23	0,652	8,56	13,12	427,93	656,05
9,40	19	0,701	7,60	10,84	379,97	541,96
9,60	22	0,650	7,77	11,96	388,59	597,88
9,80	23	0,649	8,11	12,50	405,55	625,05
10,00	29	0,648	10,21	15,76	510,46	788,11
10,20	29	0,647	10,19	15,76	509,59	788,11
10,40	27	0,646	9,47	14,68	473,65	733,76
10,60	26	0,644	8,70	13,49	434,81	674,70
10,80	28	0,643	9,35	14,53	467,49	726,60
11,00	29	0,642	9,67	15,05	483,40	752,55
11,20	29	0,641	9,65	15,05	482,61	752,55
11,40	30	0,640	9,97	15,57	498,45	778,50
11,60	29	0,639	9,21	14,40	460,30	720,06
11,80	22	0,638	6,97	10,93	348,63	546,25
12,00	27	0,637	8,54	13,41	427,19	670,40
12,20	28	0,636	8,85	13,90	442,30	695,23
12,40	26	0,635	8,20	12,91	410,05	645,57
12,60	25	0,634	7,55	11,90	377,36	595,05
12,80	22	0,633	6,63	10,47	331,54	523,65
13,00	20	0,682	6,49	9,52	324,71	476,04
13,20	30	0,631	9,01	14,28	450,62	714,07
13,40	41	0,530	10,34	19,52	517,24	975,89
13,60	100	0,529	24,18	45,71	1209,01	2285,63

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.6

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (kPa)
Strato (3)	7,14	2,60-4,00	Terzaghi-Peck	43,74

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (MPa)
Strato (3)	7,14	2,60-4,00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	7,32

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (3)	7,14	2,60-4,00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (kN/m³)
Strato (3)	7,14	2,60-4,00	Meyerhof	18,24

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (kN/m³)
Strato (3)	7,14	2,60-4,00	Meyerhof	18,63

TERRENI INCOERENTI

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1)	9,92	0.00-0,80	9,92	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	27,2
Strato (2)	8,82	0,80-2,60	8,82	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	26,5
Strato (3)	7,14	2,60-4,00	7,14	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	25,35
Strato (4)	21,62	4,00-7,40	18,31	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	31,57
Strato (5)	37,62	7,40-13,20	26,31	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	34,87

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (MPa)
Strato (1)	9,92	0.00-0,80	9,92	Begemann (1974)	4,69
Strato (2)	8,82	0,80-2,60	8,82	Begemann (1974)	4,47
Strato (3)	7,14	2,60-4,00	7,14	Begemann (1974)	4,13
Strato (4)	21,62	4,00-7,40	18,31	Begemann (1974)	6,38
Strato (5)	37,62	7,40-13,20	26,31	Begemann (1974)	7,99

Classificazione AGI

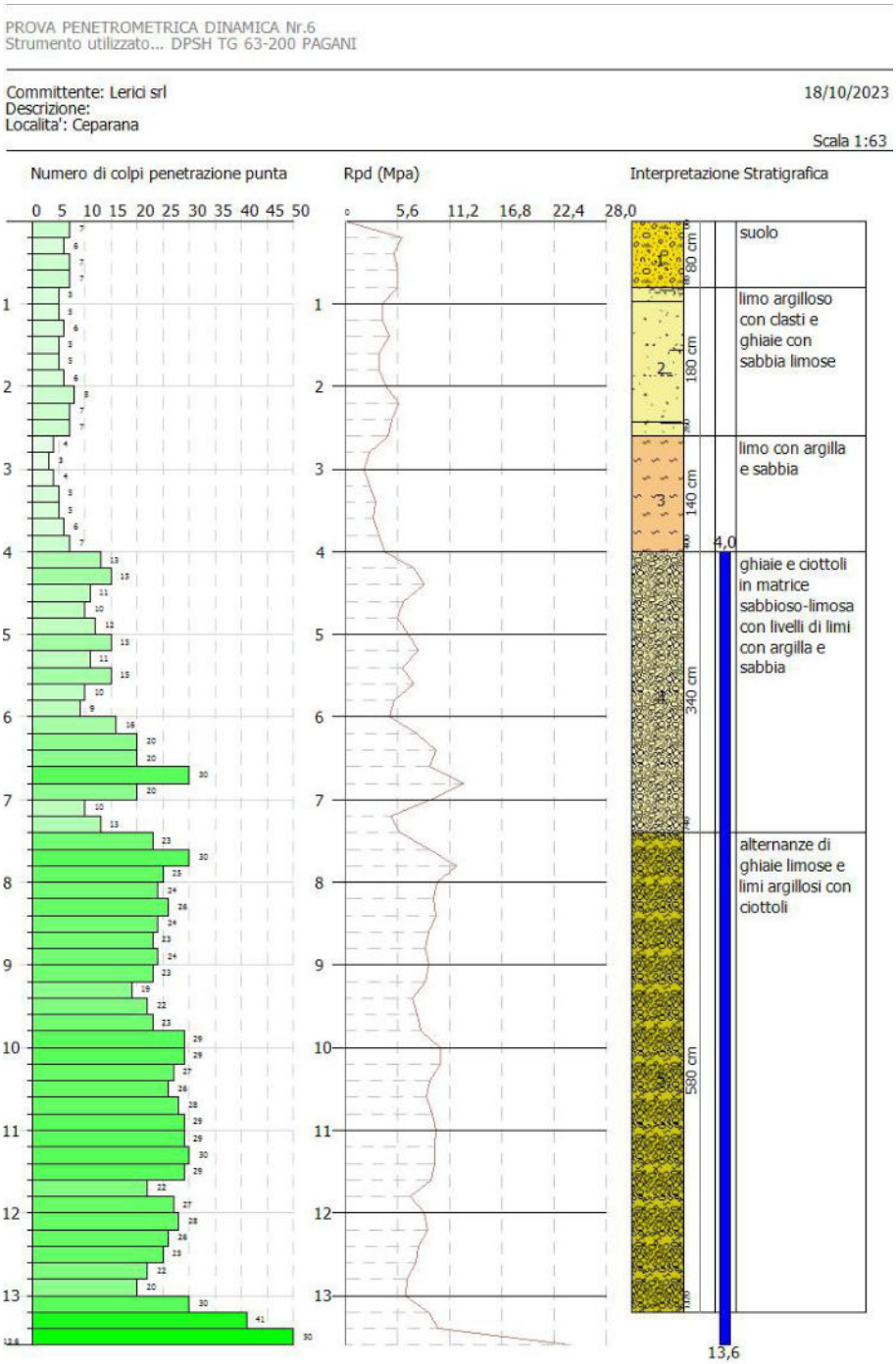
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1)	9,92	0.00-0,80	9,92	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2)	8,82	0,80-2,60	8,82	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3)	7,14	2,60-4,00	7,14	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4)	21,62	4,00-7,40	18,31	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (5)	37,62	7,40-13,20	26,31	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unita' di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' di Volume (kN/m³)
Strato (1)	9,92	0.00-0,80	9,92	Terzaghi-Peck 1948	14,48
Strato (2)	8,82	0,80-2,60	8,82	Terzaghi-Peck 1948	14,34
Strato (3)	7,14	2,60-4,00	7,14	Terzaghi-Peck 1948	14,13
Strato (4)	21,62	4,00-7,40	18,31	Terzaghi-Peck 1948	15,46
Strato (5)	37,62	7,40-13,20	26,31	Terzaghi-Peck 1948	16,30

Peso unita' di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (kN/m³)
Strato (1)	9,92	0.00-0,80	9,92	Terzaghi-Peck 1948	18,82
Strato (2)	8,82	0,80-2,60	8,82	Terzaghi-Peck 1948	18,74
Strato (3)	7,14	2,60-4,00	7,14	Terzaghi-Peck 1948	18,60
Strato (4)	21,62	4,00-7,40	18,31	Terzaghi-Peck 1948	19,43
Strato (5)	37,62	7,40-13,20	26,31	Terzaghi-Peck 1948	19,95



Stratigrafia Sondaggio

COMMITTENTE:	PROFONDITA':	QUOTA P.C.:	TIPO CAROTAGGIO:	INDAGINE:	PAGINA:	TIPO SONDA:	Impresa:	INIZIO / FINE:
Lerici srl	30 metri	30 metri s.l.m.	Carotaggio continuo	Piano Attuativo R11	1 di 1	Vissani	GAIA servizi srl	18.09.23 / 19.09.23

NOTE:

SONDAGGIO: **S1**

Foto cassette catalogatrici

Scala (m)	Piezometro	Inclinometro	Metodo perforaz.	Stratigrafia	Descrizione litologia	Quota livello strato (m)	Spess. strato (m)	Percent. di recupero	Quota livello falda (m)	SPT Profondità (m)	SPT Tipo	SPT (n°colpi) (ϕ / Cu)	Prelievo campioni n°	Prelievo campioni Prof. (m)	Prelievo campioni Tipo	Percentuali granulometriche (%) Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Modulo Edometrico Ed kPa	Modulo Edometrico σ kPa	Ip	γ kN/mc	Taglio diretto Φ' gradi	Taglio diretto c' kPa	W (%)	Down Hole vs m/s
0,0					suolo	0.80	0.80	40																			
0,5					ghiaia e sabbie con limi	1.60	0.80																				
1,0					argille grigie	1.80	0.20																				
1,5					ghiaia con argille e sabbia	2.40	0.60																				
2,0																											
2,5																											
3,0					argille grigie	4.00	1.60	95																			
3,5																											
4,0																											
4,5																											
5,0																											
5,5																											
6,0																											
6,5																											
7,0																											
7,5																											
8,0					ghiaia e ciottoli in matrice sabbioso-limosa nocciola	7.80	3.80	80																			
8,5																											
9,0																											
9,5																											
10,0																											
10,5																											
11,0																											
11,5																											
12,0																											
12,5					ghiaie compatte con sabbie e limi grigie	12.00	4.20																				
13,0																											
13,5																											
14,0																											
14,5																											
15,0																											
15,5																											
16,0																											
16,5																											
17,0																											
17,5																											
18,0																											
18,5																											
19,0																											
19,5																											
20,0					alternanze di straterelli di sabbie e ghiaie con argille grigie	29.95	17.95	95																			
20,5																											
21,0																											
21,5																											
22,0																											
22,5																											
23,0																											
23,5																											
24,0																											
24,5																											
25,0																											
25,5																											
26,0																											
26,5																											
27,0																											
27,5																											
28,0																											
28,5																											
29,0																											
29,5																											
30,0					FINE SONDAGGIO																						

TA (ø2 pollici), x Down Hole

CS (ø115), W, RM (ø140)

ghiaia con sabbia limosa - limo argilloso con ciottoletti ossidati

limo con argilla debolmente sabbioso

limo con argilla e sabbia

PROVE SPT: PA punta aperta, PC punta chiusa; PERMEABILITA': LE lefranc, LU Lugeon

CAMPIONI: S pareti sottili, O osterberg, M mazier, R rimaneggiato, RS rimaneggiato da SPT

PIEZOMETRI: TA aperto, C casagrande, E elettrico

PERFORAZIONE: CS carotiere semplice, CD carotiere doppio, EC elica continua, DN distruzione di nucleo, D corona diamante, W corona Widia

RIVESTIMENTO: RM rivestimento metallico, FB fanghi bentonitici

snc

OGGETTO: **INDAGINI GEOFISICHE PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'ASSETTO SISMOSTRATIGRAFICO DEI LIVELLI PIU' SUPERFICIALI DEL SOTTOSUOLO**	
TIPOLOGIA INDAGINI: **SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P e Sh** **MASW** **HVSR**	DATA **Maggio 2023**
LOCALITA': **COMUNE DI BOLANO (SP)** **FRAZIONE DI CEPARANA**	
RICHIEDENTE: **Dott. Geol. CARLO MALGAROTTO**	

codice documento:	**j23035.05.05_cpr.doc**
versione /revisione:	**01**
stato documento:	**definitivo**
autore:	**a.benvenuti**
revisione:	**v.carnicelli**
approvazione:	**v.carnicelli**
data:	**Maggio 2023**

P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22/23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

SOMMARIO

1 PREMESSA....2
2 TIPO D'INDAGINE....2
2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA....3
3 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P e Sh: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE....3
3.1 INDAGINE MASW: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE....4
3.2 INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE....6
4 RISULTATI....7
4.1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P e Sh....7
4.2 INDAGINE MASW....8
4.3 INDAGINI HVSR....9

P3 s.n.c
Piazza Martiri della Libertà, 22/23
56127 PISA
P. IVA 01923910507
tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

1 PREMESSA

Su richiesta del dott. Geol. Carlo Malgarotto è stata eseguita un'indagine geofisica nel Comune di Bolano (SP), nella frazione di Ceparana, finalizzata alla caratterizzazione dell'assetto sismostratigrafico dei livelli più superficiali del sottosuolo e alla determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di compressione (Onde P), di taglio (Onde Sh) e al calcolo del parametro $V_{S,eq}$.

La campagna di indagini, svolta nel mese di Maggio 2023, è stata condotta conformemente alla vigente normativa sismica.

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

L'ubicazione delle prove è riportata nelle tavole allegate; le indagini sono state posizionate sulla base CTR - Fonte dei dati Regione Liguria integrata con un rilievo ad hoc eseguito, con sistema GPS Leica modello RX1250.

2 TIPO D'INDAGINE

La caratterizzazione geofisica del sottosuolo è stata effettuata mediante prospezioni geofisiche di tipo sismico; in particolare, è stato eseguito uno stendimento in sismica a rifrazione in onde P e Sh, una prospezione sismica superficiale mediante la tecnica MASW e un'indagine puntuale in sismica passiva a stazione singola.

Attraverso la metodologia della sismica a rifrazione è possibile determinare il profilo di rigidezza del sito tramite la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di volume compressionali (vP) e delle onde di taglio (vSh) e quindi individuare le strutture sepolte delle litologie attraversate.

L'elaborazione delle indagini in sismica a rifrazione ha permesso di ricostruire le geometrie sepolte delle strutture presenti; i dati ottenuti sono stati restituiti con elaborazione tomografica.

Per la ricostruzione del profilo verticale di velocità delle onde S e per il calcolo del parametro $V_{S,eq}$ è stata inoltre eseguita, ortogonalmente all'allineamento in sismica a rifrazione, n. 1 prospezione sismica superficiale mediante la tecnica MASW ("Multichannel Analysis of Surface Waves") in onde di Rayleigh e una misura in sismica passiva a stazione singola (HVSR1), quest'ultima posizionata in corrispondenza dello stendimento geofonico.

L'indagine MASW ha avuto come scopo ricostruire il profilo verticale di velocità delle onde S e calcolare il parametro $V_{s,eq.}$ verificando i risultati ottenuti attraverso l'indagine in sismica a rifrazione e approfondendo di fatto i dati ottenuti attraverso le indagini in sismica a rifrazione.

Un'ulteriore acquisizione, denominata in seguito HVSR2, è stata effettuata più a ovest con il fine di estendere arealmente l'area di indagine e verificare l'omogeneità sismostratigrafica tra le due aree.

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

2.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata per la campagna d'indagine è costituita da:

• un sistema di acquisizione dati:

◇ Sismica a rifrazione: sismografo Ambrogeo mod. ECHO 48/2012 Seismc Unit a 48 canali + 1, 24 bits; un notebook PC Windows XP con software di acquisizione Ambrogeo;

◇ MASW: sismografo P.A.S.I. modello GEA24; un notebook PC Windows 10 con software di acquisizione P.A.S.I.;

• un sistema di energizzazione in grado di produrre onde elastiche ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali:

◇ Sismica a rifrazione in onde P / MASW - Sistema di energizzazione ad impatto verticale: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 kg battente verticalmente su piastra quadrata in Teflon® di dimensioni di 20 x 20 x 5 cm posta direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde sismiche compressionali;

◇ Sismica a rifrazione in onde Sh - Sistema di energizzazione ad impatto orizzontale: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 8 kg battente orizzontalmente su traversina in legno posta direttamente sul piano di campagna per la generazione di onde sismiche di taglio.

• un sistema di ricezione costituito da:

◇ sismica a rifrazione in onde P / MASW: 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4.5 Hz;

◇ sismica a rifrazione in onde Sh: 24 geofoni orizzontali con frequenza propria di 4.5 Hz

• un sistema di trigger: consistente in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui si colpisce la base di battuta.

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

3 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P e Sh: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo, giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde bi-rifratte (head wave): le onde analizzate sono quelle birifratte, cioè quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza. I contrasti di proprietà fisiche rilevabili con la sismica a rifrazione possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche.

La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche verticali per la generazione delle onde P e orizzontali per la generazione di onde S e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori solidali col terreno (geofoni).

L'interpretazione dei segnali rilevati e la conseguente stima del profilo di velocità delle onde sismiche è articolata nelle seguenti fasi fondamentali:

- Individuazione dei primi arrivi attraverso l'osservazione dei sismogrammi e l'operazione di picking, previa elaborazione dei segnali ed operazioni di filtraggio anche consecutivo con diverse tipologie di filtro digitale;
- Ricostruzione delle dromocrone e relativa interpretazione;
- Linearizzazione delle dromocrone, inversione dei dati e output tomografico.

Per le analisi interpretative è stato utilizzato il software Rayfract 3.32 (Intelligent Resources Inc.) sia per la restituzione tomografica che per l'elaborazione tradizionale.

Di seguito si riportano in modo sintetico i parametri configurazionali (spaziali e temporali) delle acquisizioni in sismica a rifrazione effettuate:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P E SH			
Coordinate GB Geofono G1	1570459.7	4891002.3	28.44
Coordinate GB Geofono G24	1570543.1	4891081.3	30.07
Orientazione	SW-NE (N47)		
Lunghezza stendimento	115 m		
Numero Geofoni	24		
Distanza intergeofonica	5 m		
Numero punti di energizzazione lungo lo stendimento	9		
Sorgenti	s1: -2.5 m G1; s2: G3-G4; s3: G6-G7; s4: G9-G10; s5: G12-G13; s6: G15- G16; s7: G18-G19; s8: G21-G22; s9: +2.5 m G24		
Durata acquisizione	0.5 s (onde P) – 0.74 s (onde Sh)		
Intervallo di campionamento	256 µs		

L'ubicazione dei singoli geofoni, necessaria per le successive elaborazioni via software, è stata effettuata, in fase di realizzazione delle indagini, attraverso un rilievo plano-altimetrico ad hoc realizzato con GPS Leica modello RX1250.

Nella tabella in calce alla relazione sono riportate le coordinate, nel sistema Gauss Boaga, dei geofoni e degli scoppi effettuati in metri s.l.m..

3.1 INDAGINE MASW: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio Vs, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o, detto in maniera equivalente, la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo; onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente allineata all'array geofonico) e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5-10 Hz e 70-100 Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30m-50m, in funzione della rigidezza del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

I fondamenti teorici del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°, sia della topografia sia delle diverse discontinuità elastiche.

La metodologia utilizzata consiste in quatto fasi:

• acquisizione dei dati di campagna energizzando a più riprese e alternativamente ai due estremi dello stendimento geofonico;

• determinazione dello spettro di velocità sperimentale dal campo di moto acquisito nel dominio spazio-tempo lungo lo stendimento;

• calcolo della curva di dispersione attraverso il picking o la modellazione diretta;

• inversione della curva di dispersione per l'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs e il parametro VS,eq.

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software winMASW® Academy 2019 (*Eliosoft*).

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

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA MASW	
Orientazione	N50 (SW-NE)
Coordinate GB geofono G1	X= 1576493 Y= 4884411
Coordinate GB geofono G18	X= 1576528 Y= 4884440
Lunghezza stendimento	46 m
Numero Geofoni	24
Distanza intergeofonica	2 m
Numero punti di energizzazione per estremo	3
sorgenti	2 m, 3 m, 5 m
Durata acquisizione	1 s
Intervallo di campionamento	0.5 ms

Per valutare la validità delle ipotesi di monodimensionalità (strati piani e paralleli) sono state eseguite acquisizioni coniugate con sorgenti a poste agli estremi dello stendimento.

Durante il processo di elaborazione, al fine di minimizzare le possibili soluzioni e cercare la più sensata coerenza tra lo spettro di velocità sperimentale e le curve di dispersione

teoriche che possono generare tale spettro, ci si è avvalsi dei dati acquisiti con l'acquisizione in sismica passiva eseguito lungo lo stendimento (HVSR1).

3.2 INDAGINE HVSR: METODOLOGIA E ACQUISIZIONE

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

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

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

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

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

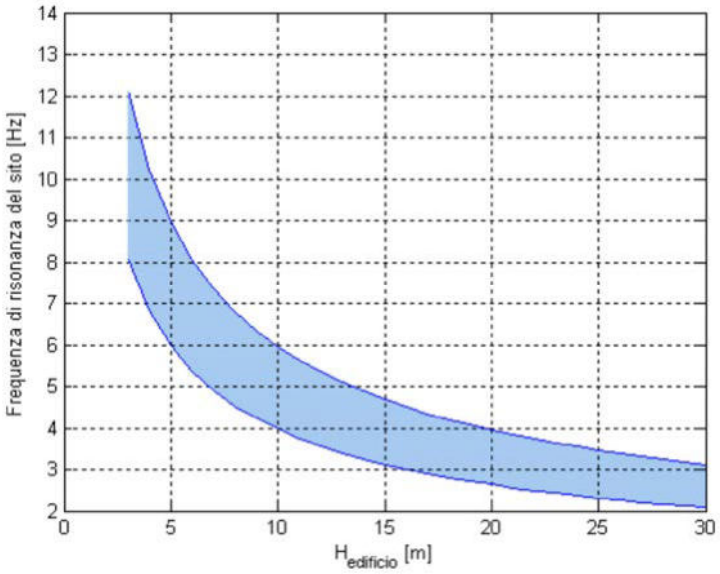
- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;

- la velocità media delle onde di taglio Vs calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la V_{s30} e la relativa categoria del suolo di fondazione;

- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

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

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



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

Durante questa campagna geofisica sono state eseguite due misure di microtremori ambientali (acquisizioni in sismica passiva a stazione singola) denominate in seguito HVSR1 e HVSR2, secondo la seguente configurazione spaziale e temporale:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE HVSR					
Denominazione	Coordinate Gauss Boaga			Durata acquisizione	Frequenza di campionamento
HVSR1	1570450.3	4891027.9	27.94	30 min	128 Hz
HVSR2	1570481.9	4890994.6	28.87	30 min	128 Hz

Le misure, orientate secondo il Nord e della durata di 30 minuti ciascuna, sono state effettuate con il tromografo digitale Tromino® di *Moho srl.*

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

I risultati ottenuti dall'esecuzione delle indagini tromografiche sono stati elaborati attraverso il software *Grilla 8.0* (MoHo srl).

4 RISULTATI

4.1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE P e Sh

Le sezioni tomografiche sono state restituite in due diversi elaborati sia per l'indagine in onde P (rif. **Figg. 5a** e **5b**) che per l'indagine in onde Sh (rif. **Figg. 6a** e **6b**).

In particolare nelle rappresentazioni delle **Figg. 5b** e **6b** sono sovrapposte alle tomografie le isolinee di uguale velocità.

La prospezione sismica ha raggiunto una profondità d'indagine massima, in corrispondenza della parte centrale della stessa, di poco superiore a a circa 35 m per le onde P e di circa 25 m per le onde Sh.

In termini di velocità tomografiche, le onde P, nello spessore di sottosuolo indagato, sono comprese in un range racchiuso tra 200 m/s in superficie fino a oltre 3000 m/s più in

profondità.

L'andamento delle isotachie sismiche, riportate nella **Fig. 5b**, indica che i primi 10 - 12 m circa di sottosuolo sono caratterizzati da un incremento veloce delle velocità con la profondità (le velocità delle onde sismiche aumentano piuttosto repentinamente con la profondità) fino al raggiungimento dell'isotachia di 2000 m/s – 2200 m/s.

A di sotto le velocità tomografiche crescono con un gradiente molto più basso fino al raggiungimento dei livelli più profondi.

La sezione evidenzia la presenza di alcune anomalie positive (velocità maggiori rispetto all'intorno) e negative (velocità inferiori rispetto all'intorno) nella parte centrale della sezione. Al di sotto dell'isolinea di 3000 m/s non è stata rilevata la presenza di ulteriori anomalie.

E' possibile che, nei primi metri, le velocità siano condizionate dalla presenza di acqua nel sottosuolo.

Le elaborazioni tomografiche delle acquisizioni in onde onde Sh (**Figg. 6a** e **6b**) indicano come il volume di sottosuolo indagato nei primi 5-6 m circa, sia caratterizzato da un aumento piuttosto repentino delle velocità tomografiche.

Le isolinee di uguale velocità, riportate nella **Fig. 6b**, evidenziano, in questo spessore di sottosuolo, un gradiente di velocità piuttosto accentuato con velocità che passano da 200 m/s fino a 450 m/s; al di sotto di questo livello, per uno spessore di circa 4 - 6 metri, le velocità crescono con un gradiente piuttosto basso fino a raggiungere, alla profondità di circa 8 - 10 m dal p.d.c., l'isolinea di circa 550 m/s.

Al di sotto, fino alla parte più profonda della sezione, riprendono a crescere con gradiente costante.

L'elaborazione rivela la presenza di alcune anomalie sia positive (in corrispondenza della parte centrale dello stendimento) che negative (localizzata al di sotto del tratto iniziale), individuate dall'isolinea di 500 – 550 m/s.

Dal punto di vista stratigrafico è possibile ascrivere il primo livello a terreno agricolo areato / rimaneggiato o comunque a depositi poco addensati.

A partire dall'isolinea di 500 m/s viene probabilmente intercettata la parte alterata e fratturata del substrato roccioso il cui grado di alterazione, fatto salvo le zone circoscritte in cui sono state rilevate le anomalie descritte poco sopra, decresce con la profondità.

4.2 INDAGINE MASW

Nel complesso le prospezioni geofisiche eseguite, per mezzo dell'analisi dell'indagine MASW e dell'acquisizione in sismica passiva HVSR1, hanno permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo del sito indagato sia il parametro $V_{S,eq}$: il modello di sottosuolo in termini di Vs è stato ottenuto dal fit congiunto delle curve H/V relative a HVSR1 e delle curve di dispersione ricavate dall'indagine MASW.

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_S).

Nella **Fig.7** è riportato il sismogramma, lo spettro di velocità e il modello di dispersione.

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

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

in cui

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

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

Il profilo verticale delle Onde S, in corrispondenza dell'indagine MASW, ricavato mediante elaborazione dei dati di campagna è risultato il seguente (rif. **Fig. 8**):

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	140
3.00	2.00	300
5.00	2.00	280
7.00	2.00	390
9.00	2.00	330
19.00	10.00	480
24.00	5.00	550
39.00	15.00	650
inf.	inf.	800

Vs_eq(0.0-30.0)=421m/s

Il profilo MASW individua una **$V_{S,eq}$, riferita al piano di campagna**, pari a **421 m/s**.

4.3 INDAGINI HVSR

Nella scheda relativa a ciascuna acquisizione in sismica passiva è riportato il grafico della curva sperimentale H/V e quello degli spettri delle tre componenti del moto in velocità.

Inoltre, per ogni verticale di misura è riportato, a titolo esplicativo, il confronto fra curva sperimentale H/V e la curva teorica relativa al modello di sottosuolo proposto (e, conseguentemente, il profilo delle Vs calcolato su ciascuna verticale).

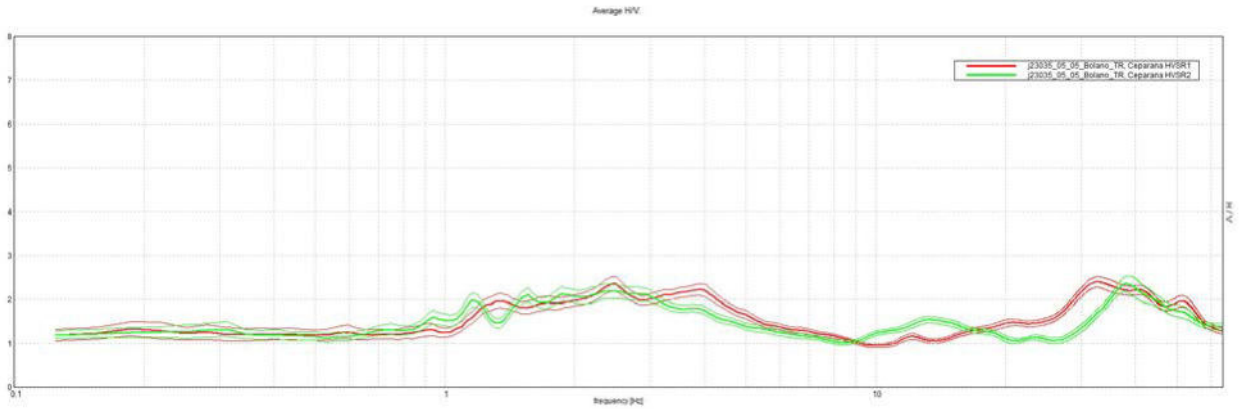
Le due registrazioni in sismica passiva, effettuate a poca distanza di tempo l'una dall'altra, presentano, a partire dalla frequenza di 10 Hz fino alle frequenze più basse, una curva H/V, simile su tutto l'intervallo spettrale misurato indicando una sostanziale omogeneità sismostratigrafica in corrispondenza delle due verticali di misura.

Dal confronto tra le due curve H/V sperimentali riportato nella figura sottostante, è possibile notare una differenza alle alte frequenze in cui il contrasto superficiale rilevato su HVSR1 (in rosso) è leggermente più profondo rispetto a quello rilevato su HVSR2 (in verde).

Per tutte le variabili introdotte con la metodologia utilizzata, le ricostruzioni sismostratigrafiche ottenute con questo tipo d'indagine e proposte nelle schede relative alle singole acquisizioni HVSR sono da considerarsi una delle possibili soluzioni che possono generare curve teoriche simili a quelle proposte.

È necessario inoltre precisare che, trattandosi di misure indirette, come per tutte le indagini geofisiche, i risultati ottenuti possono variare all'interno di un range pari a circa il 20%.

H/V SPERIMENTALE -CONFRONTO HVSR1 e HVSR2



Pisa, Maggio 2023

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

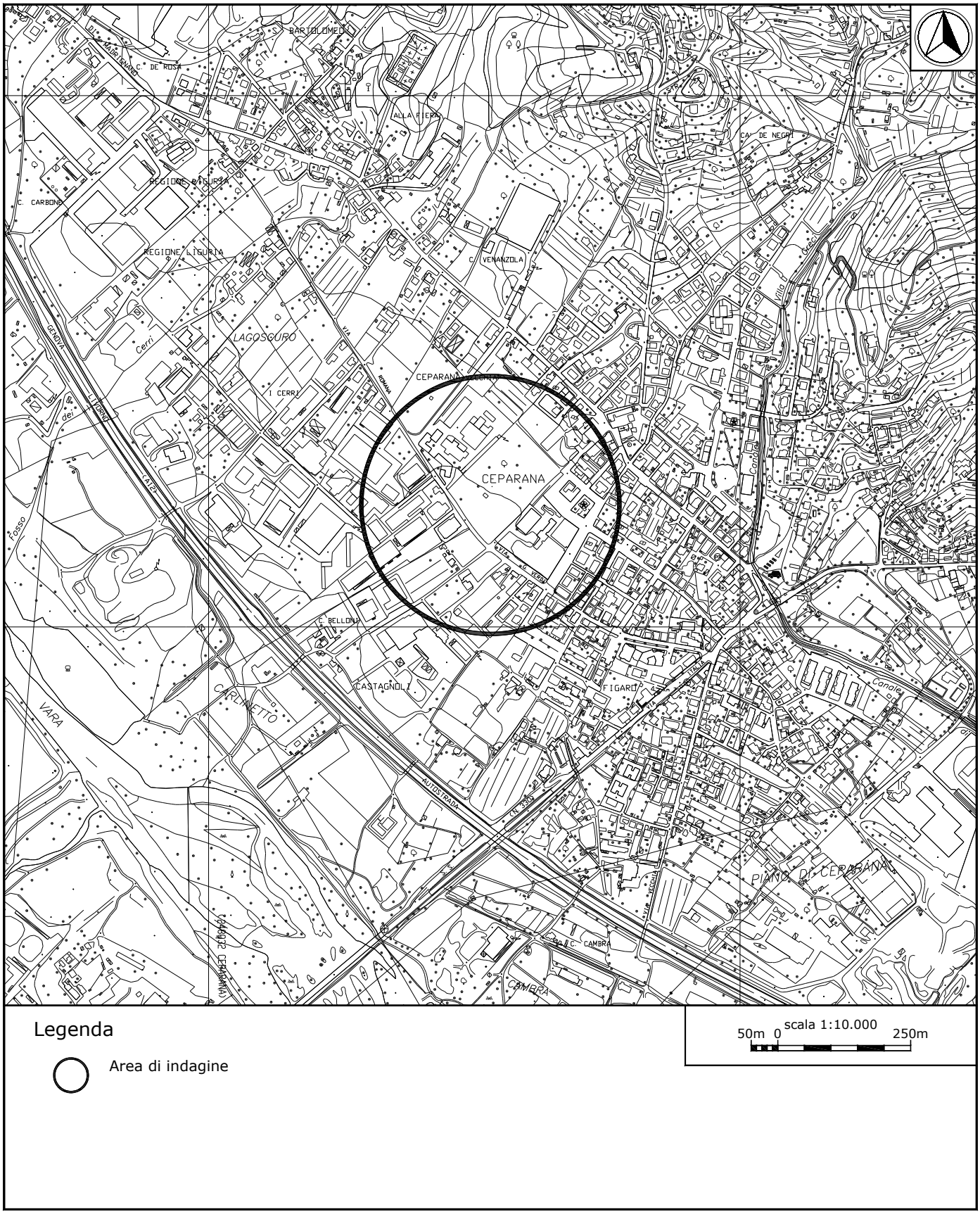


Figura n.1: Ubicazione indagini- Inquadramento generale.

P3 s.n.c
Piazza Martiri della Libertà, 22/23
56127 PISA
P. IVA 01923910507
tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

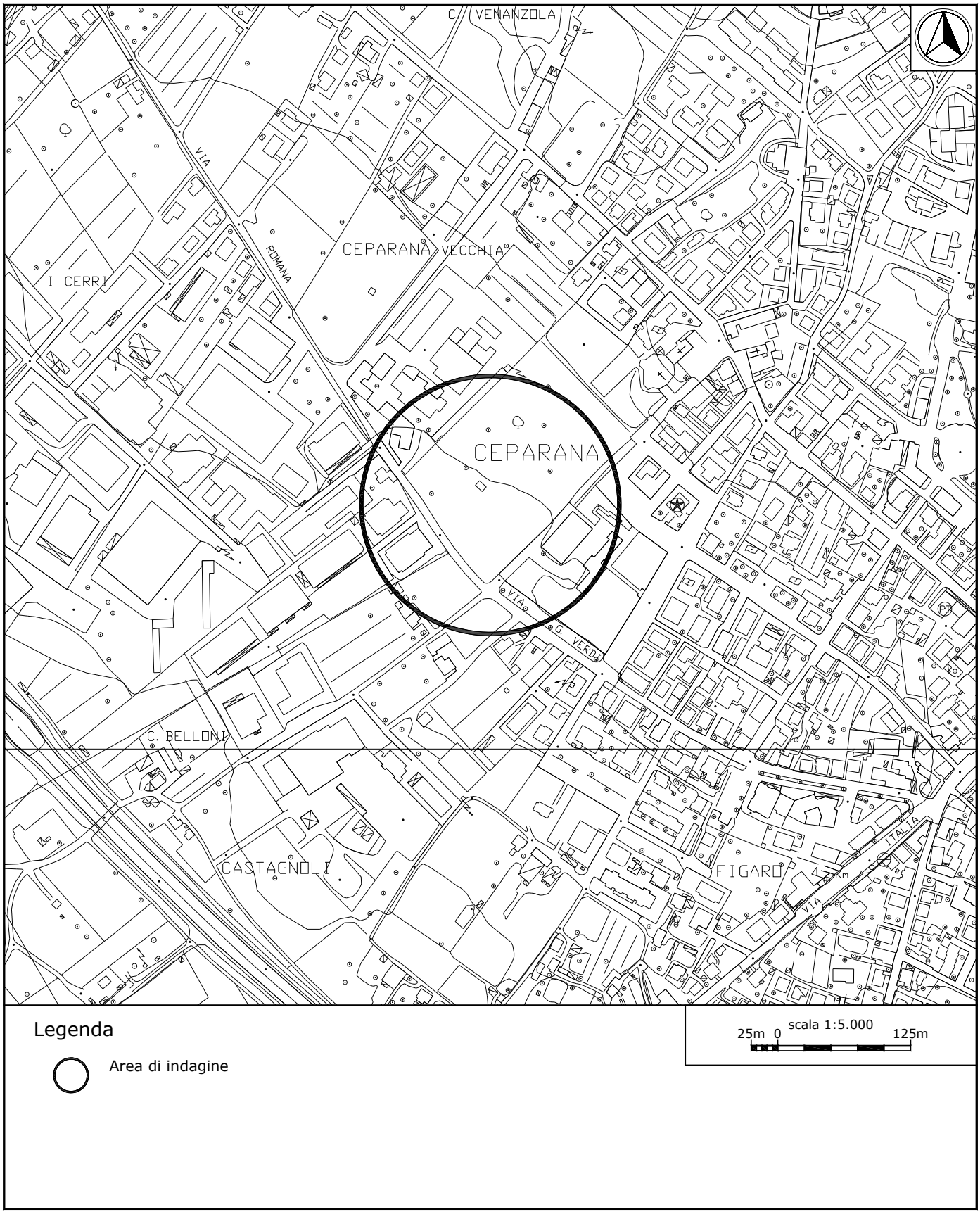


Figura n.2: Ubicazione indagini – Inquadramento di dettaglio.

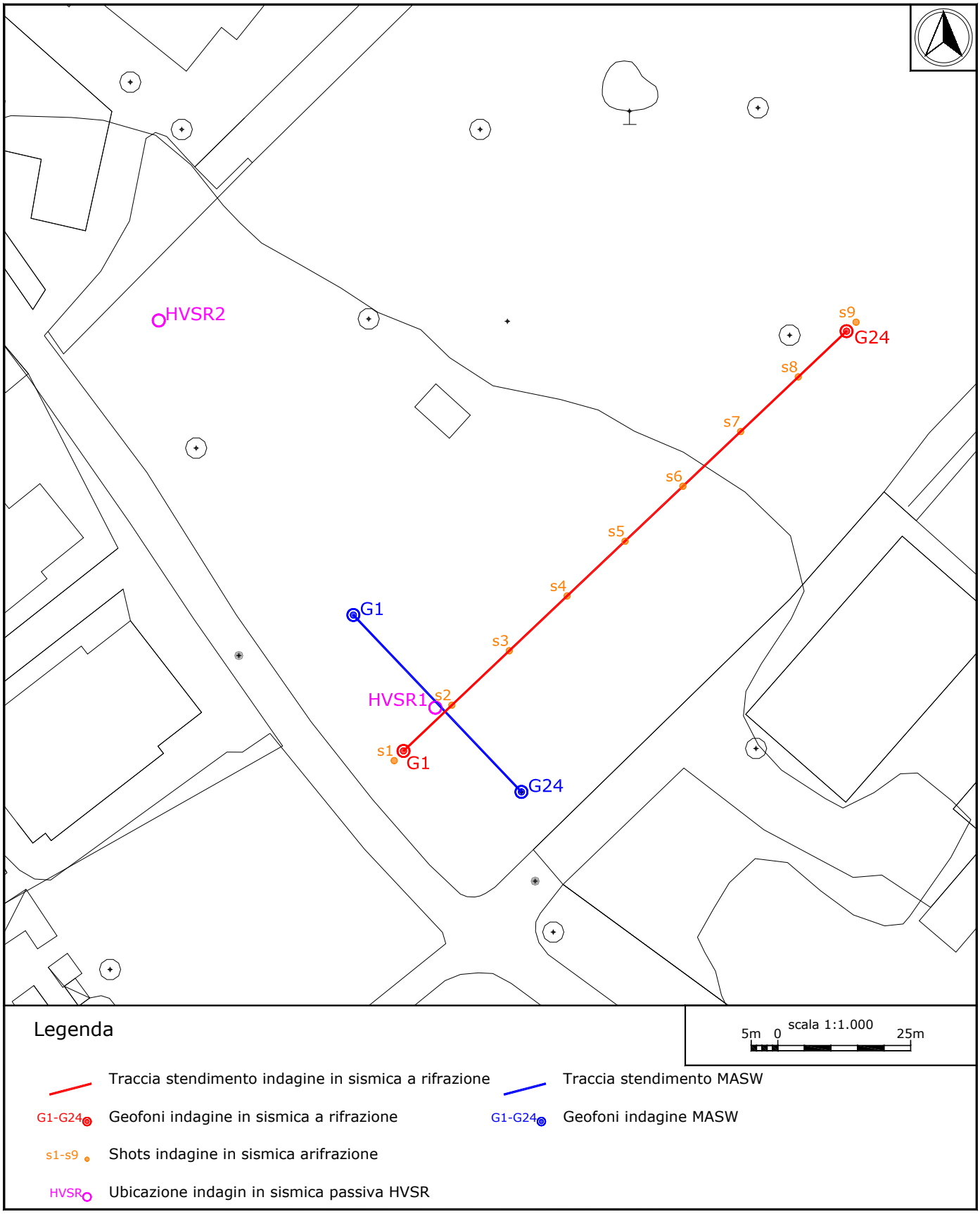


Figura n.3: Ubicazione indagini – Particolare su base CTR.

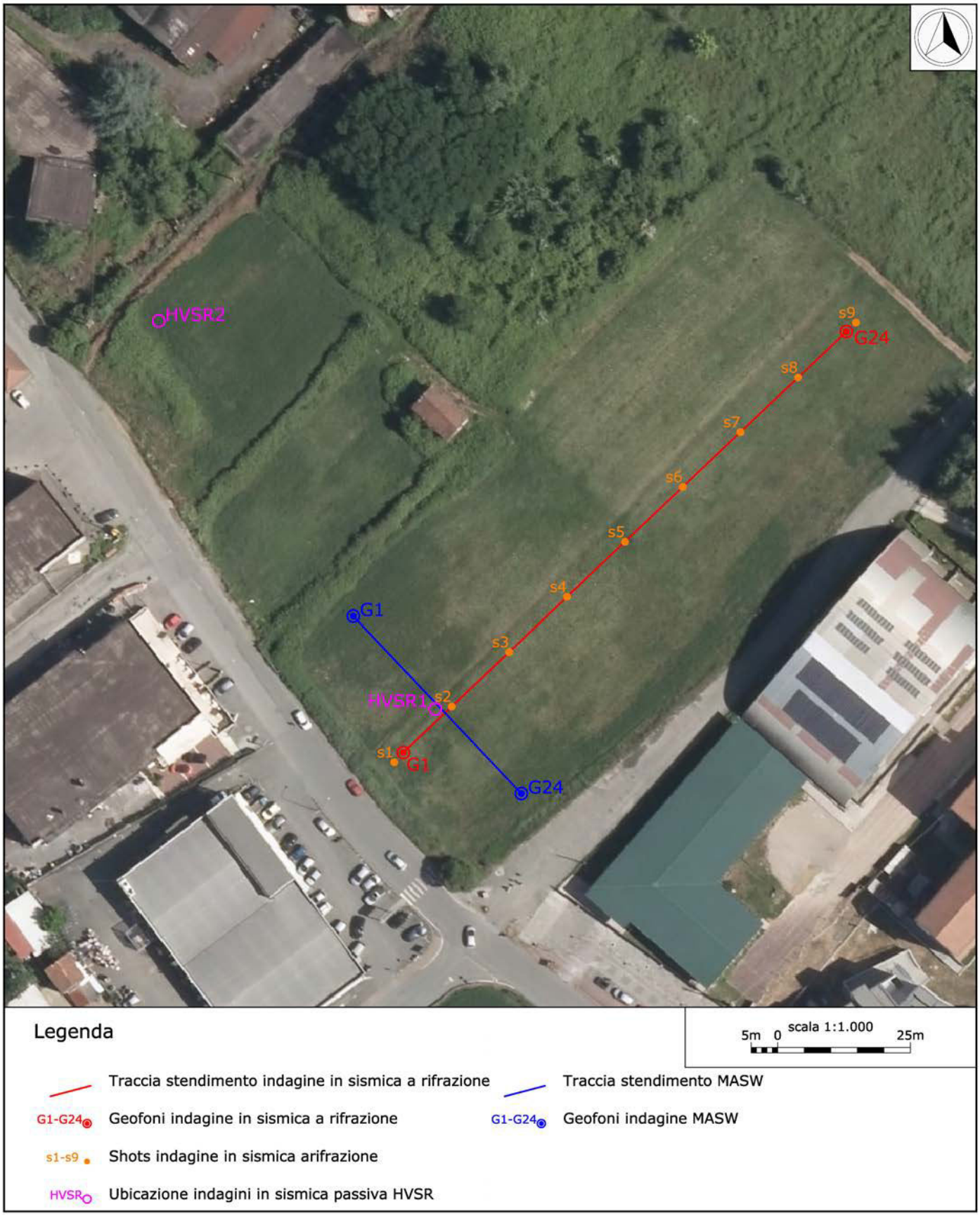


Figura n.4: Ubicazione indagini – Particolare su base Ortofoto.

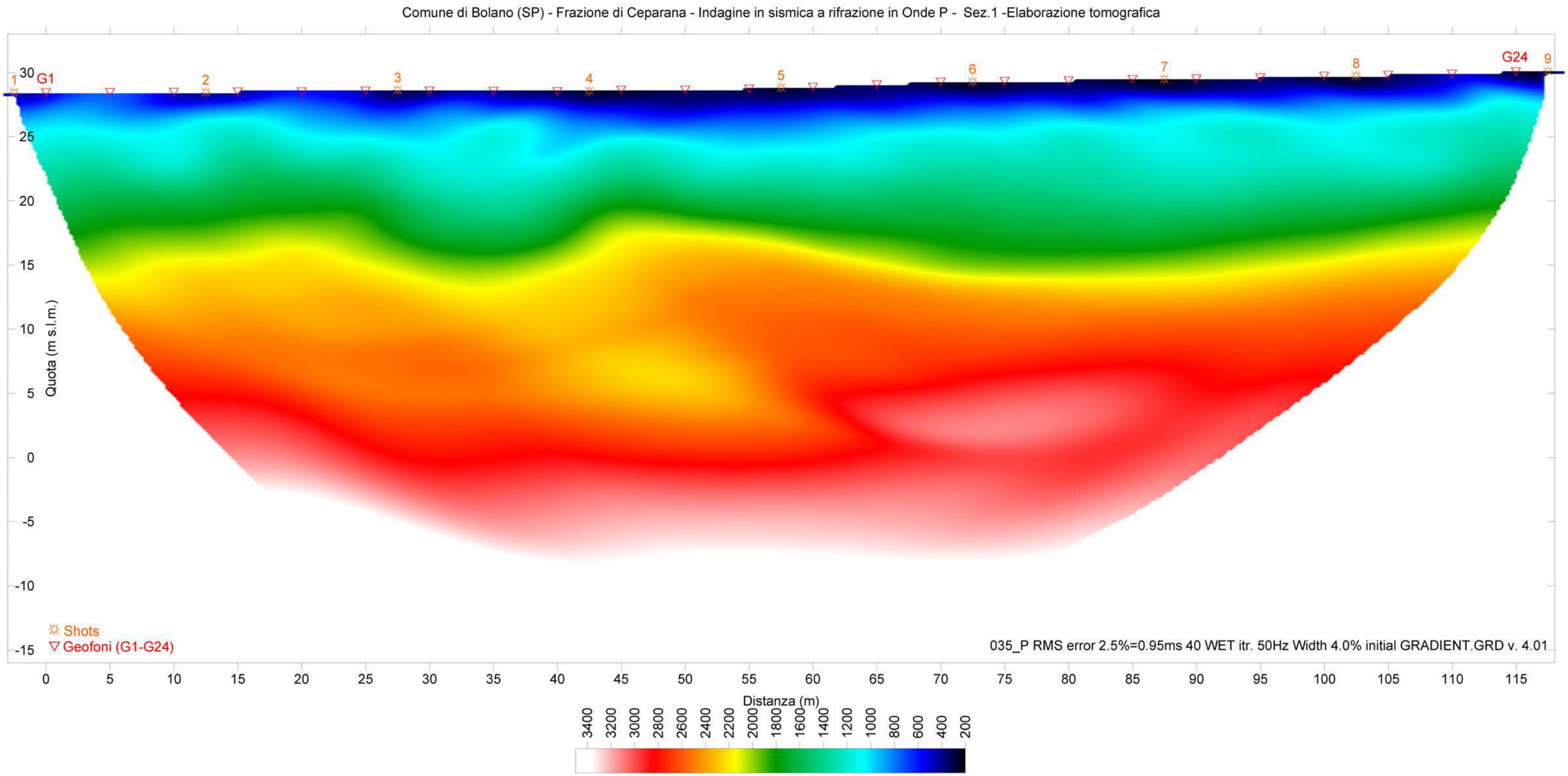


Fig.5a: Indagine in sismica a rifrazione in onde P – Elaborazione tomografica.

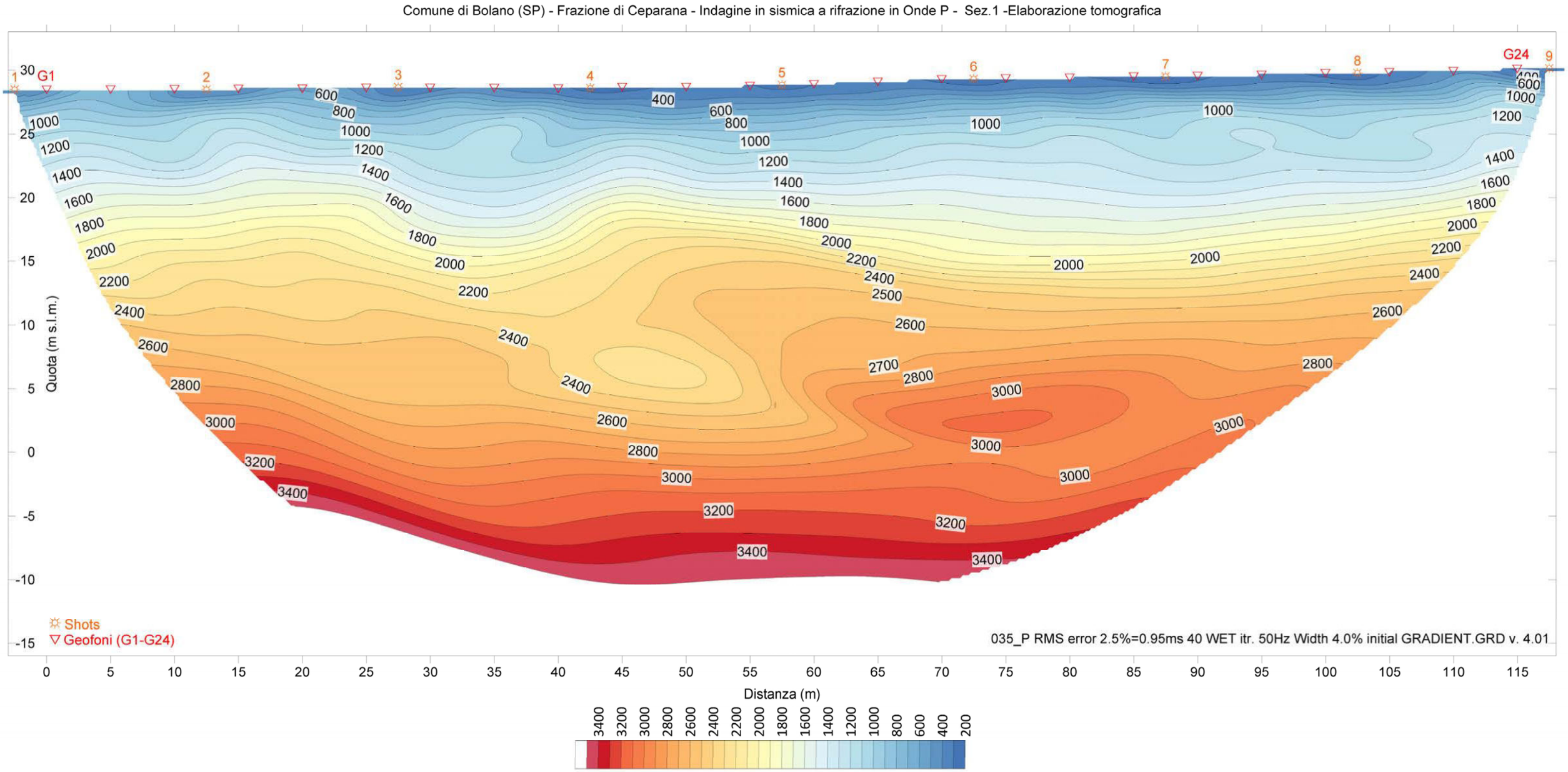


Fig.5b: Indagine in sismica a rifrazione in onde P – Elaborazione tomografica con isolinee di uguale velocità.

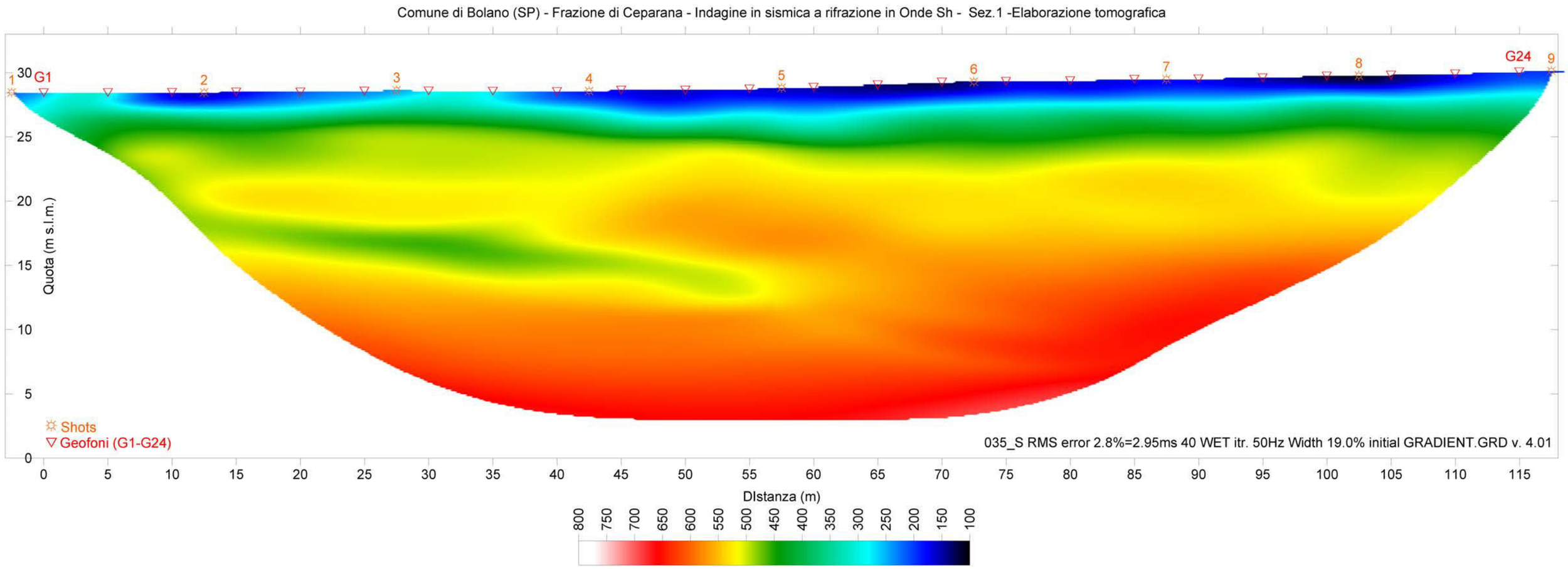


Fig.6a: Indagine in sismica a rifrazione in onde Sh – Elaborazione tomografica.

P3 s.n.c
Piazza Martiri della Libertà, 22/23
56127 PISA
P. IVA 01923910507
tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

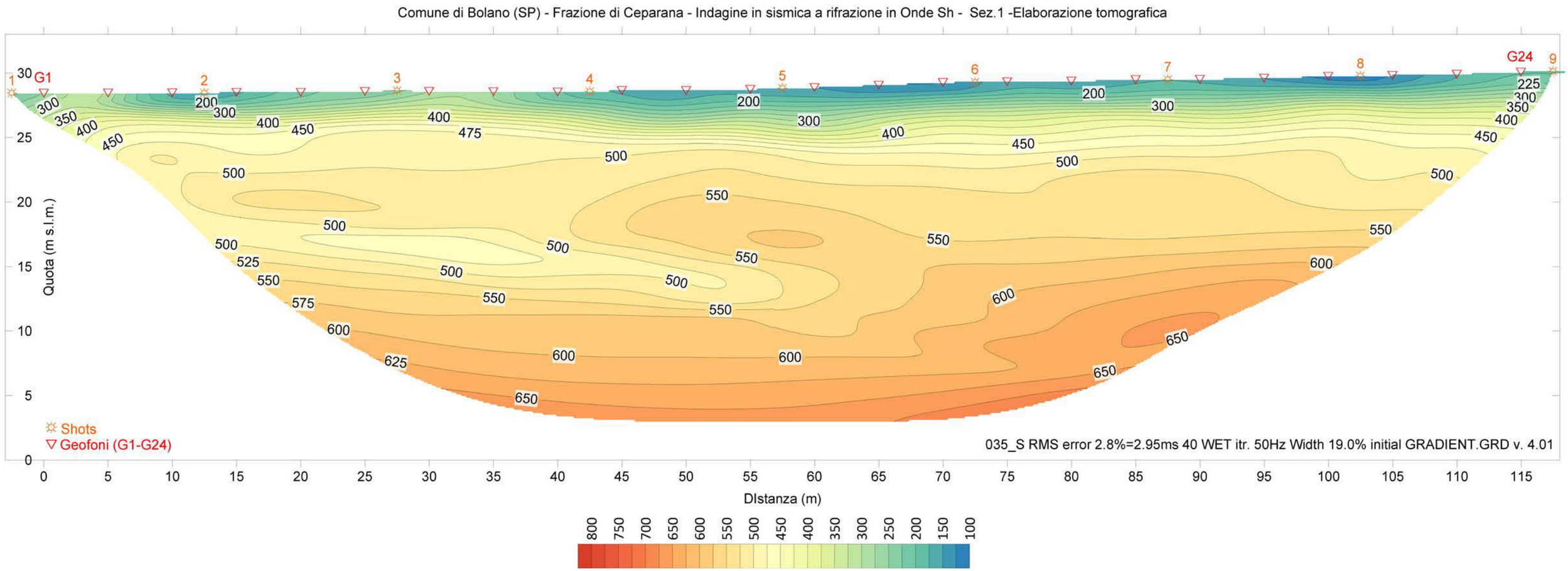


Fig.6b: Indagine in sismica a rifrazione in onde Sh – Elaborazione tomografica con isolinee di uguale velocità.

P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22/23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

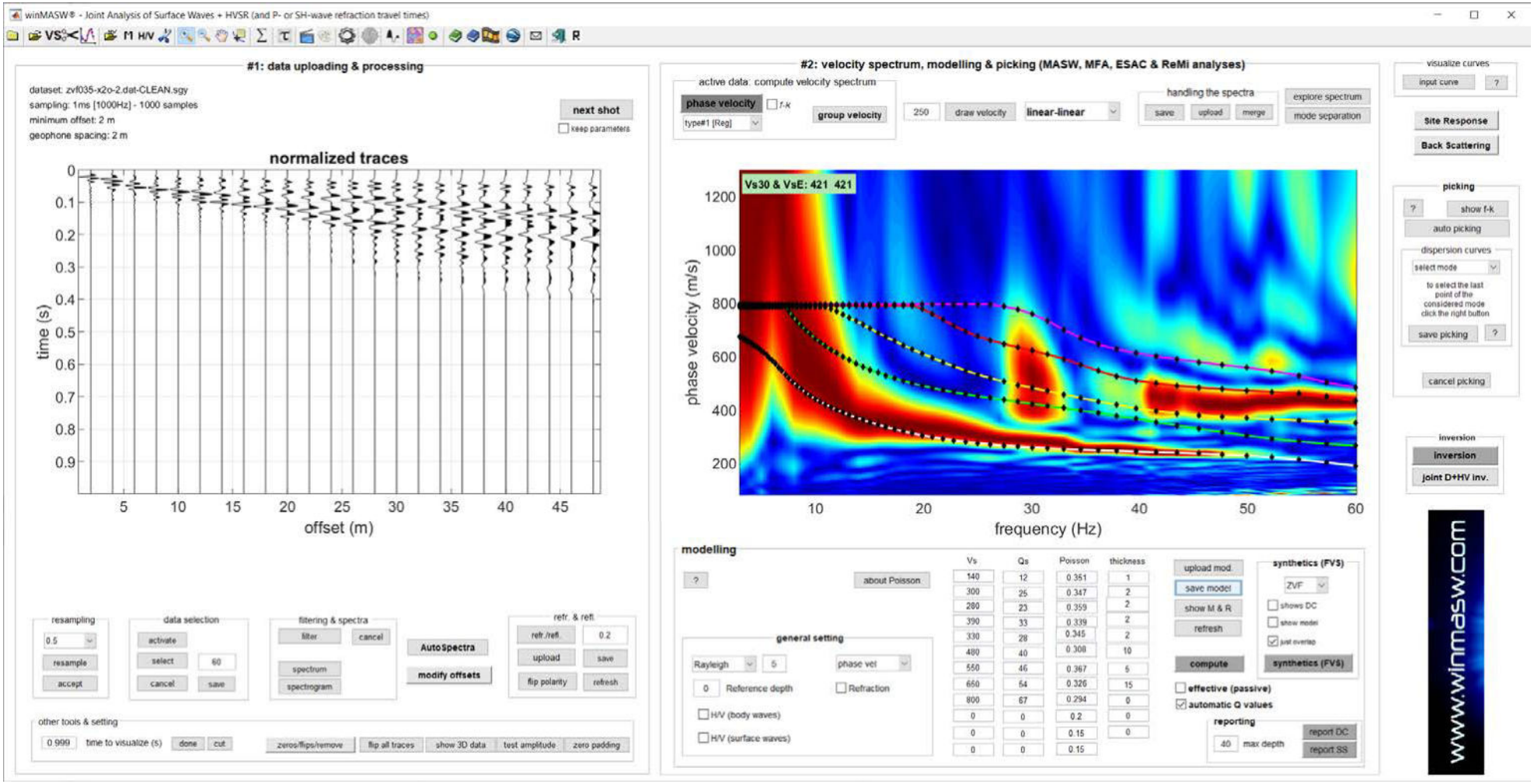


Figura 7: Indagine MASW. Sismogrammi, spettri di velocità e modelli di dispersione.

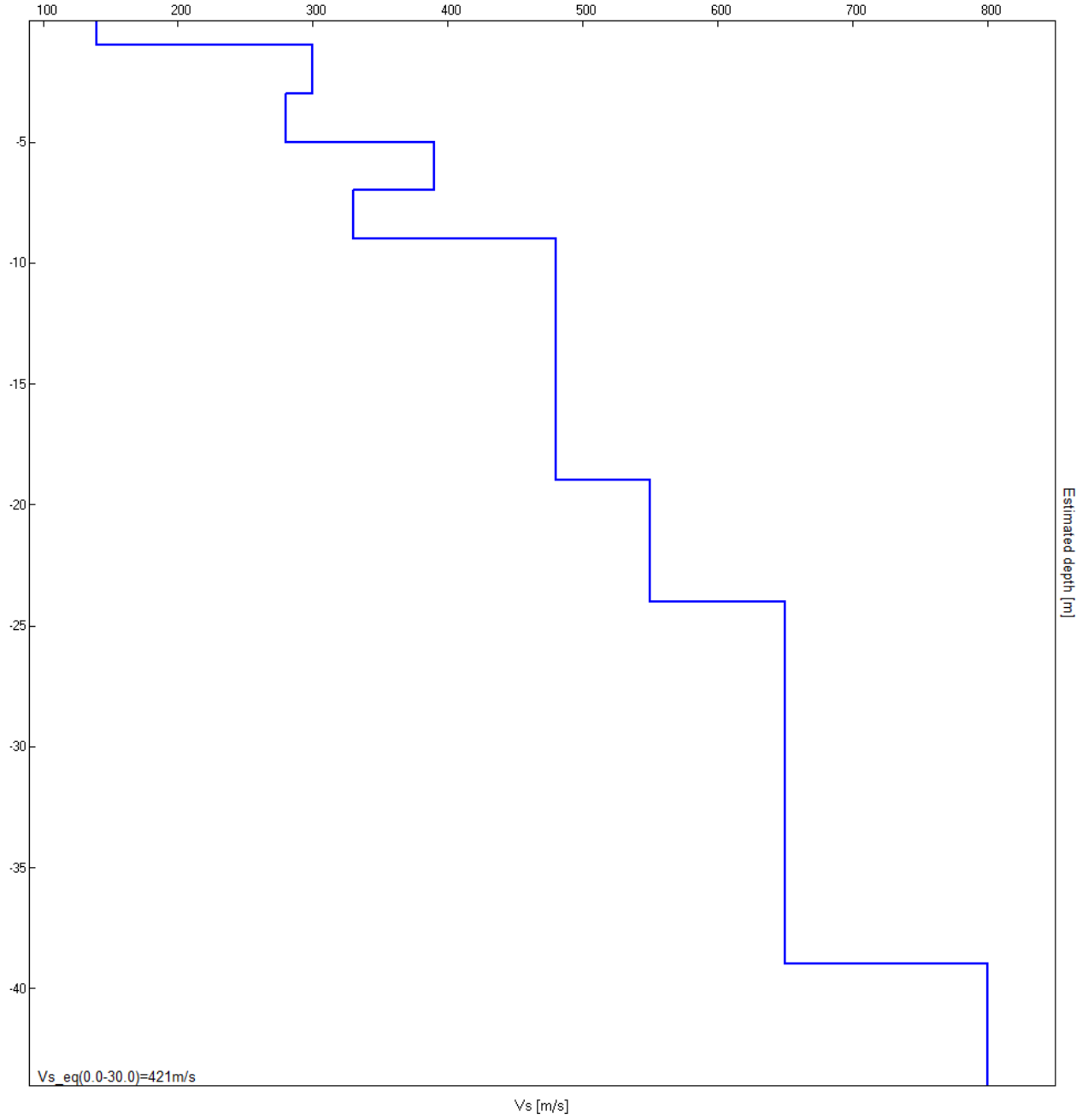


Figura 8: Indagine MASW. Profilo di Vs.

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	140
3.00	2.00	300
5.00	2.00	280
7.00	2.00	390
9.00	2.00	330
19.00	10.00	480
24.00	5.00	550
39.00	15.00	650
inf.	inf.	800

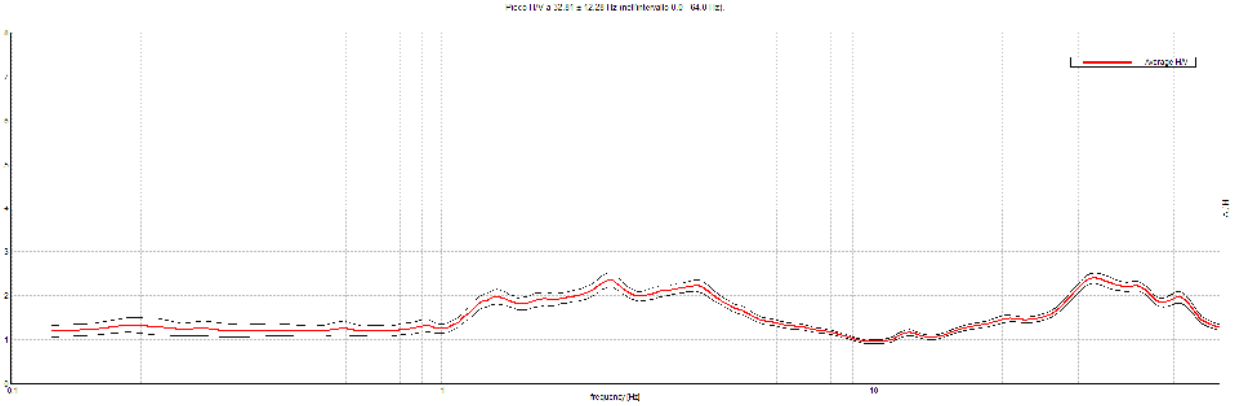
Vs_eq(0.0-30.0)=421m/s

J23035_05_05_BOLANO_TR, CEPARANA HVSR1

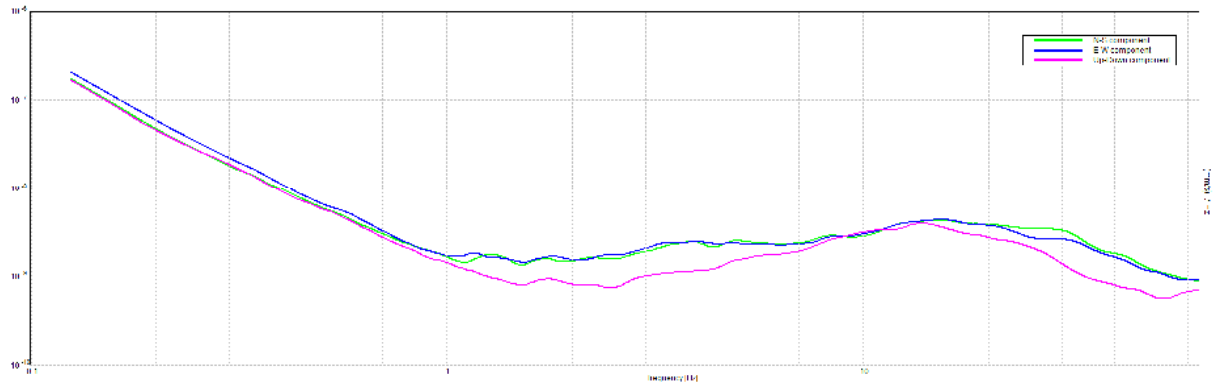
Strumento: TEP-0085/01-10
Formato dati: 16 byte
Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 05/05/23 10:20:24 Fine registrazione: 05/05/23 10:50:23
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 99% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

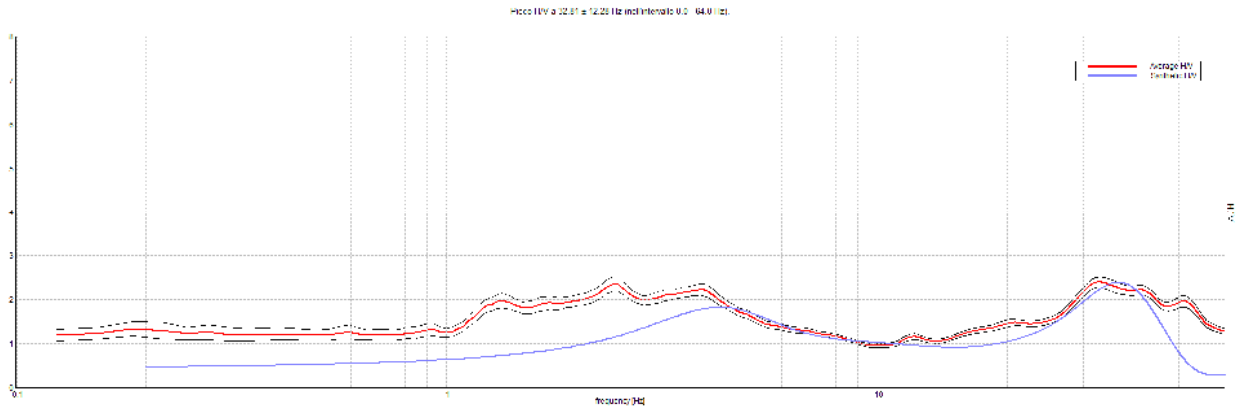


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



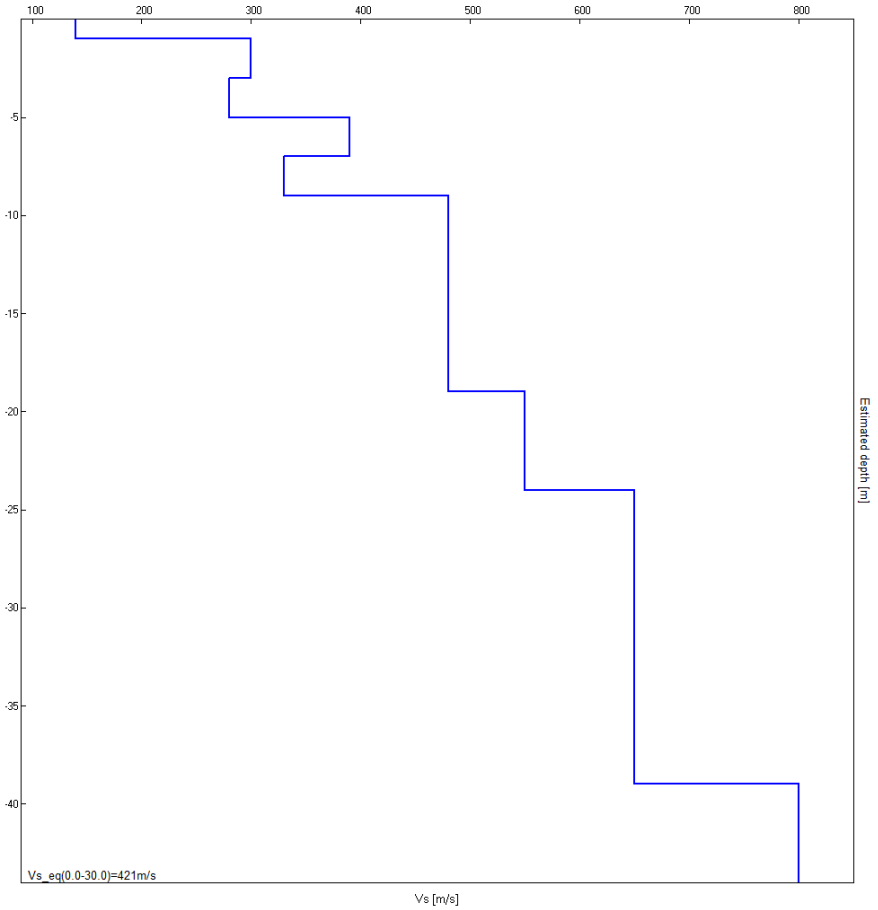
P3 s.n.c
Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507
tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.00	1.00	140
3.00	2.00	300
5.00	2.00	280
7.00	2.00	390
9.00	2.00	330
19.00	10.00	480
24.00	5.00	550
39.00	15.00	650
inf.	inf.	800

Vs_eq(0.0-30.0)=421m/s



P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

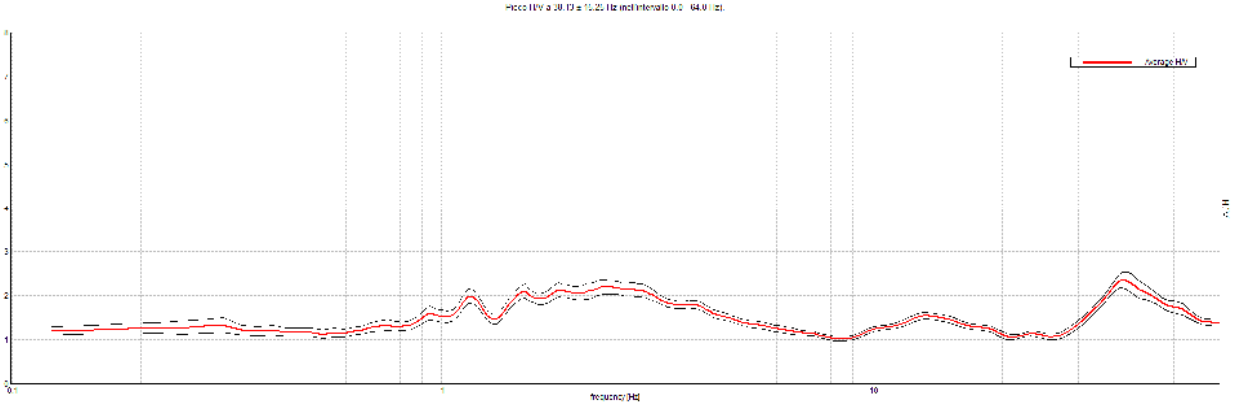
tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

J23035_05_05_BOLANO_TR, CEPARANA HVSR2

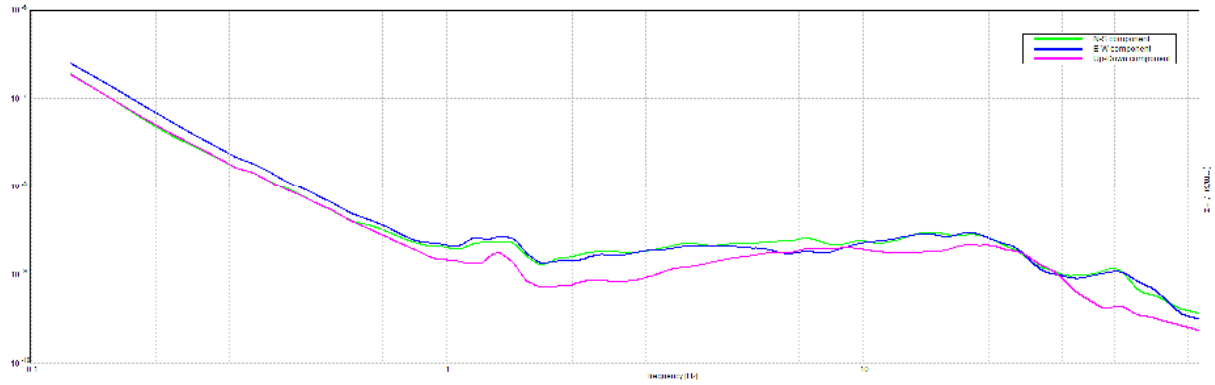
Strumento: TEP-0085/01-10
Formato dati: 16 byte
Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 05/05/23 14:06:58 Fine registrazione: 05/05/23 14:36:57
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

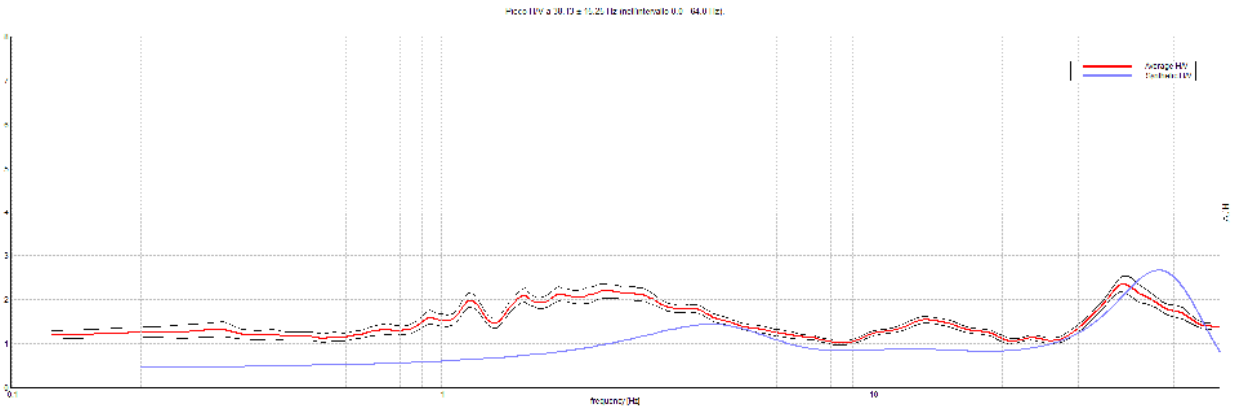


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



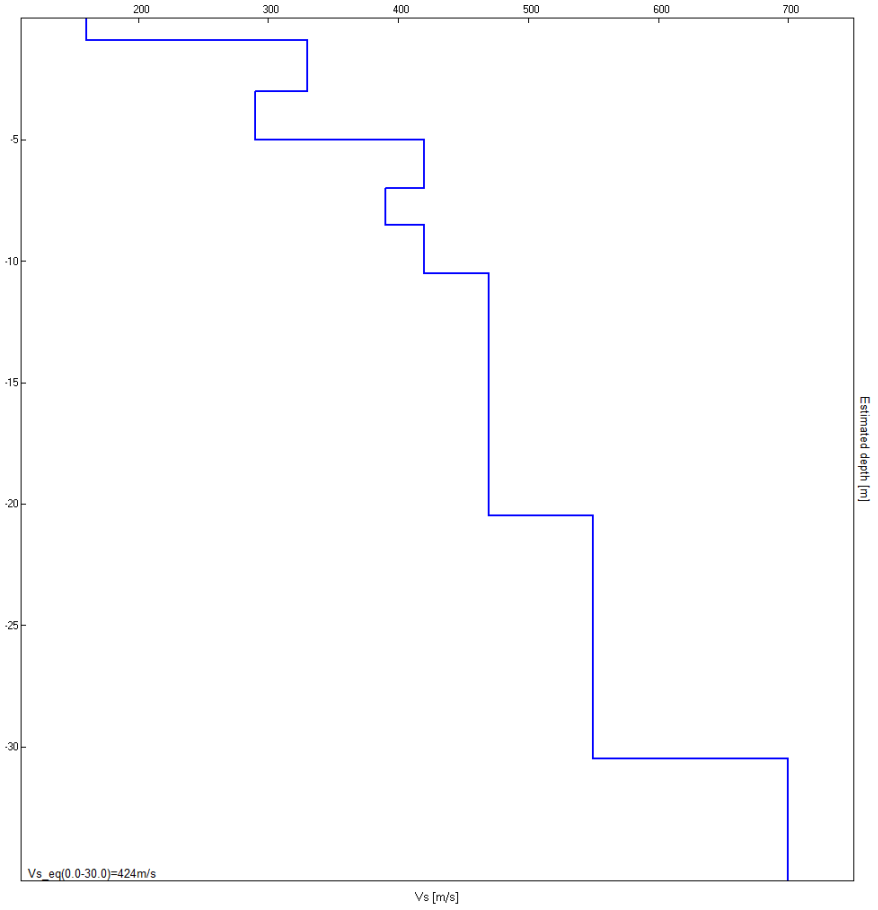
P3 s.n.c
Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507
tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.90	0.90	160
3.00	2.10	330
5.00	2.00	290
7.00	2.00	420
8.50	1.50	390
10.50	2.00	420
20.50	10.00	470
30.50	10.00	550
inf.	inf.	700

Vs_eq(0.0-30.0)=424m/s



Indagine in sismica a rifrazione in onde P e Sh - Documentazione fotografica

P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

Indagine in sismica a rifrazione in onde Sh: energizzazione - Documentazione fotografica

P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

Indagine MASW - Documentazione fotografica

P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

Indagine in sismica a passiva a stazione singola HVSR1 - Documentazione fotografica

Indagine in sismica a passiva a stazione singola HVSR2 - Documentazione fotografica

P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

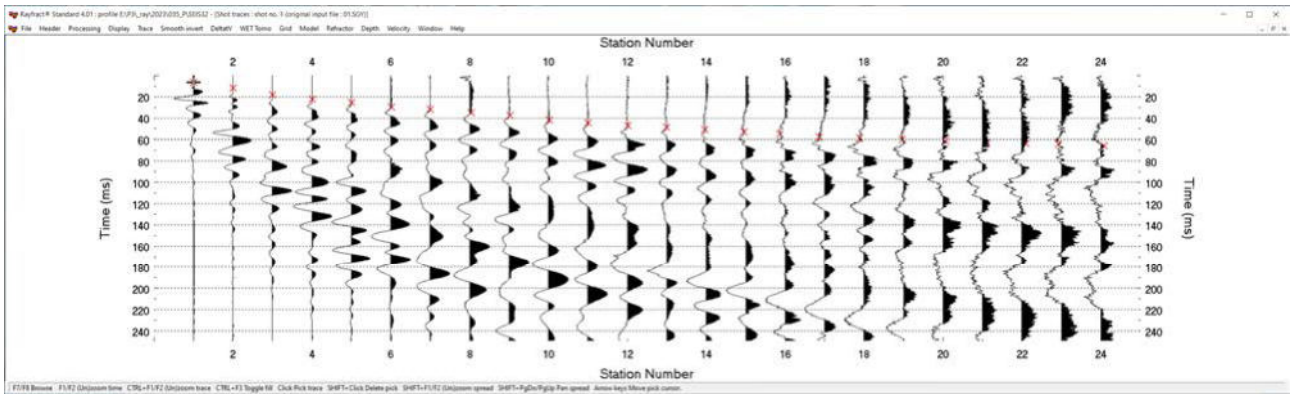
Allegato A

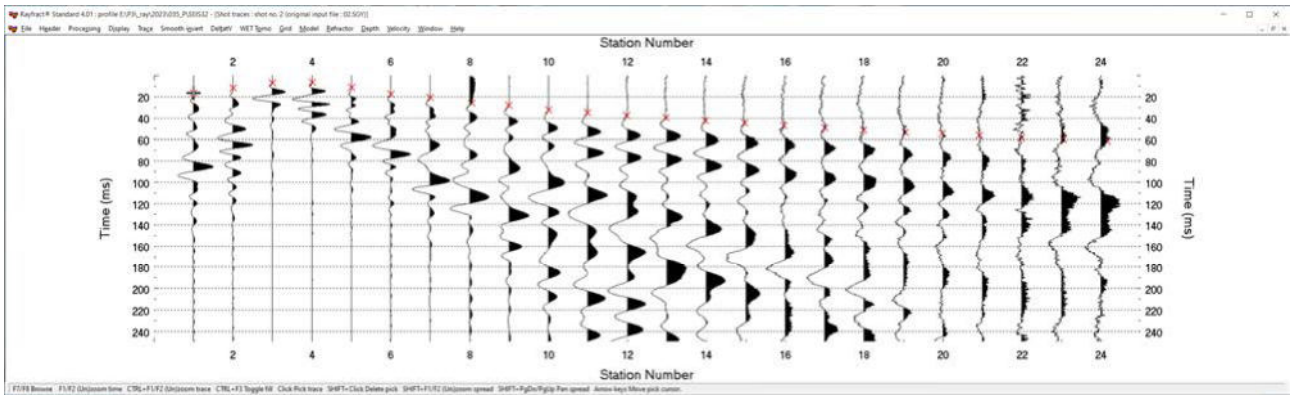
Indagine in sismica a rifrazione

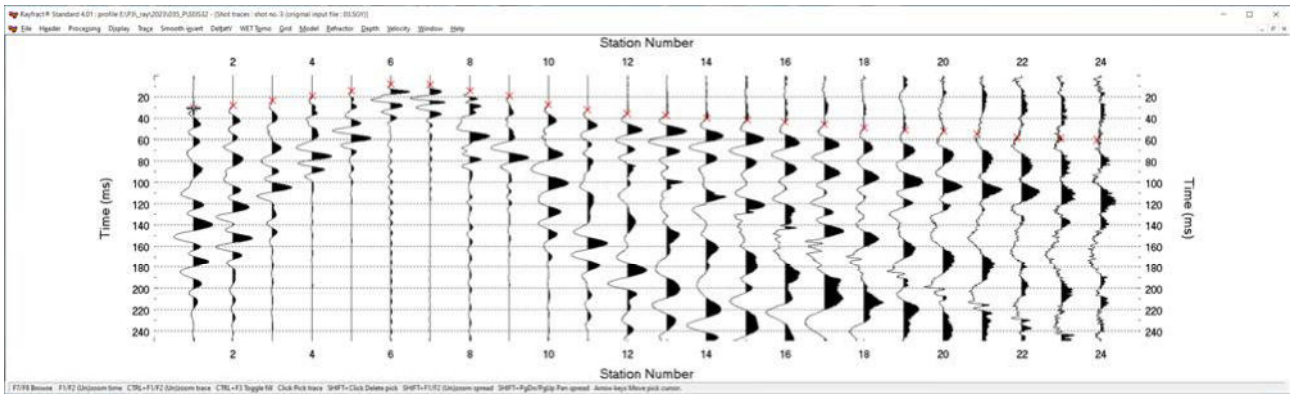
- Sismogrammi -

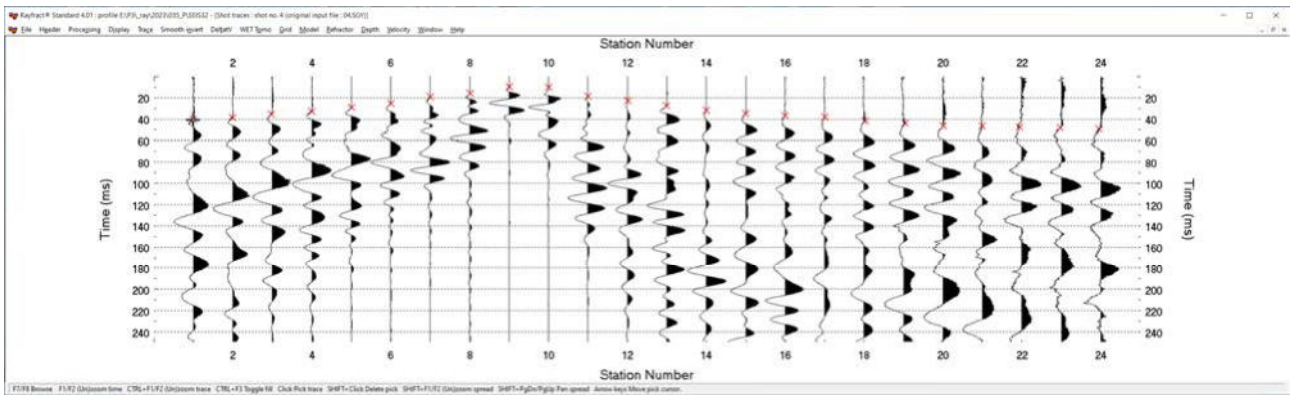
P3 s.n.c
Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507
tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

Sismica a rifrazione in onde P – Sismogrammi e dromocrone





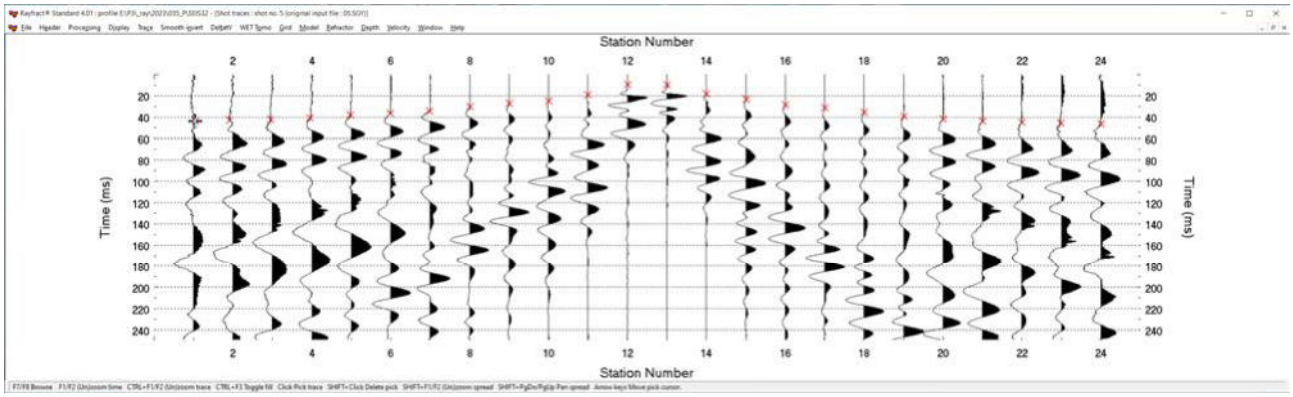


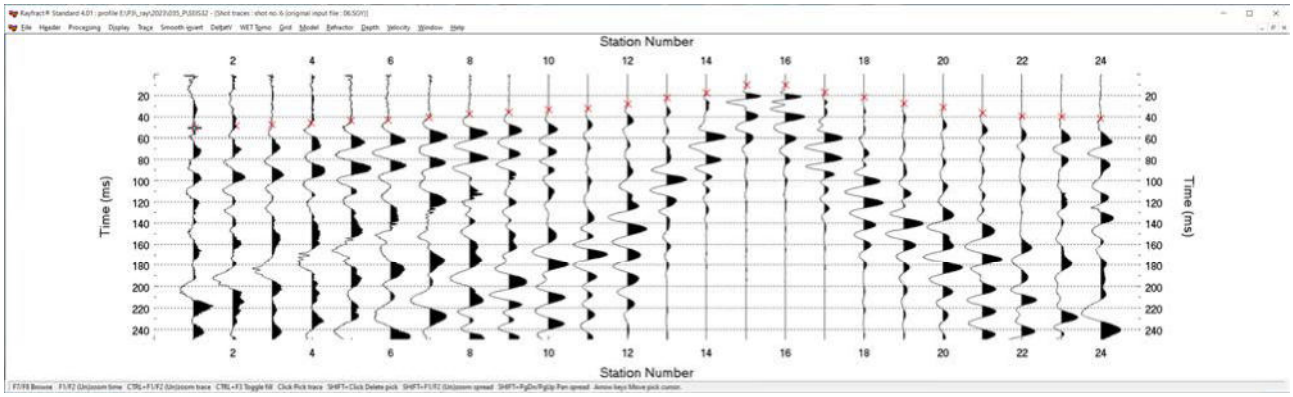


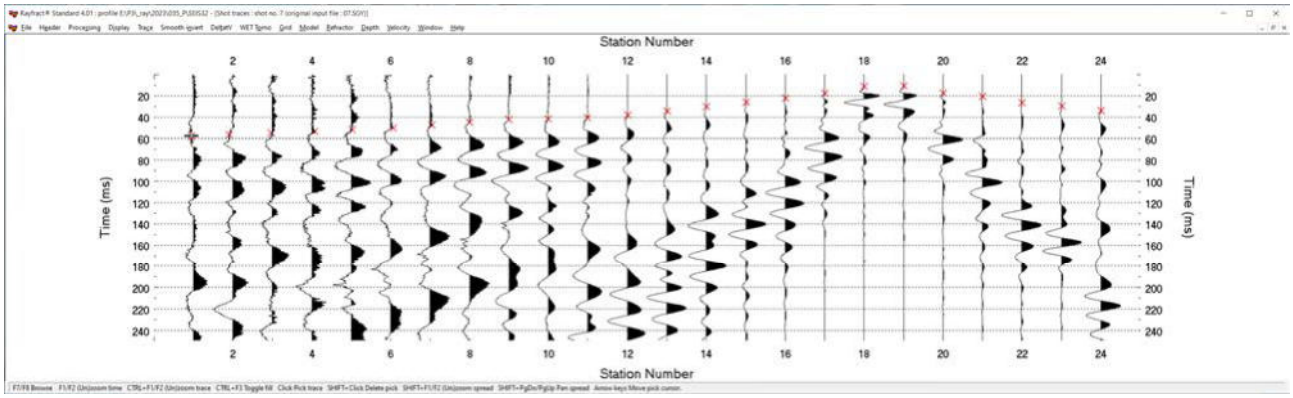
P3 s.n.c

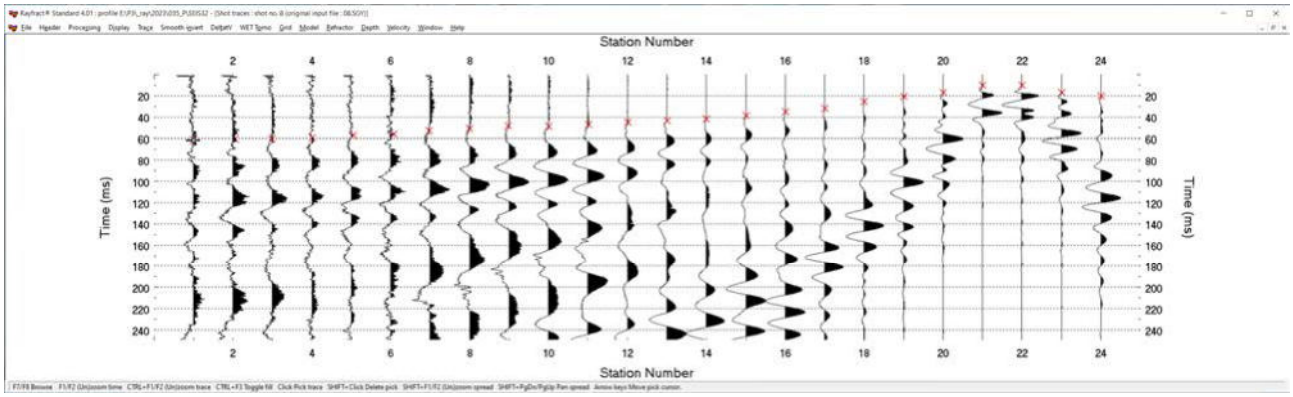
Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu





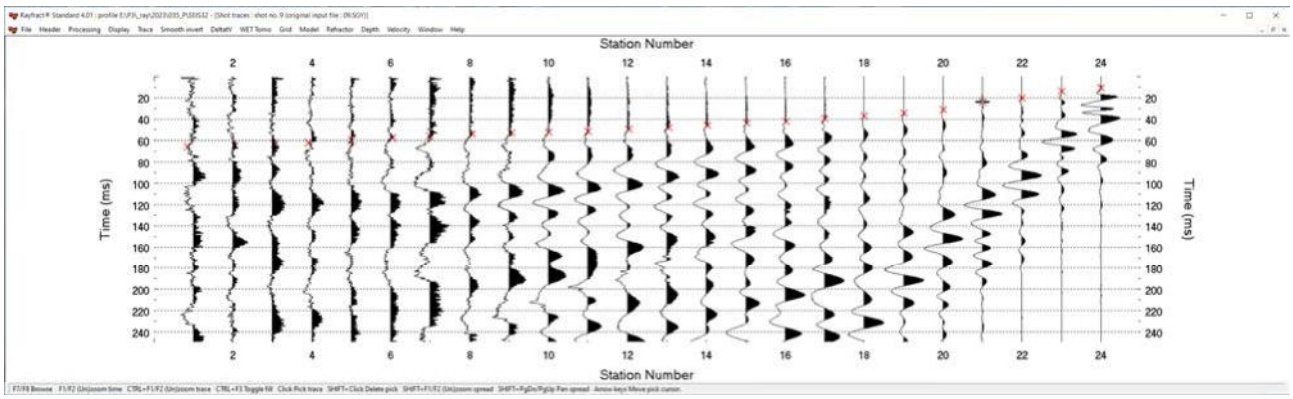


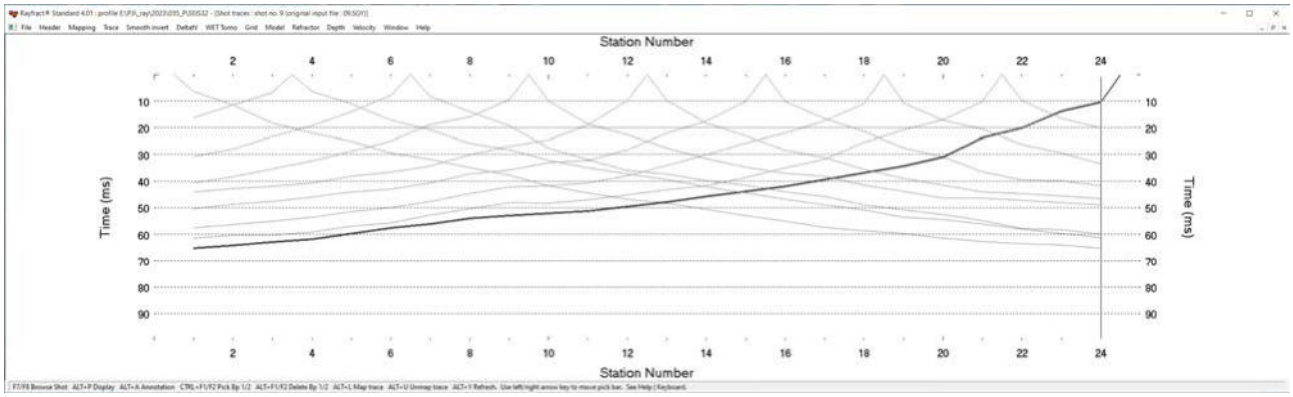


P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu



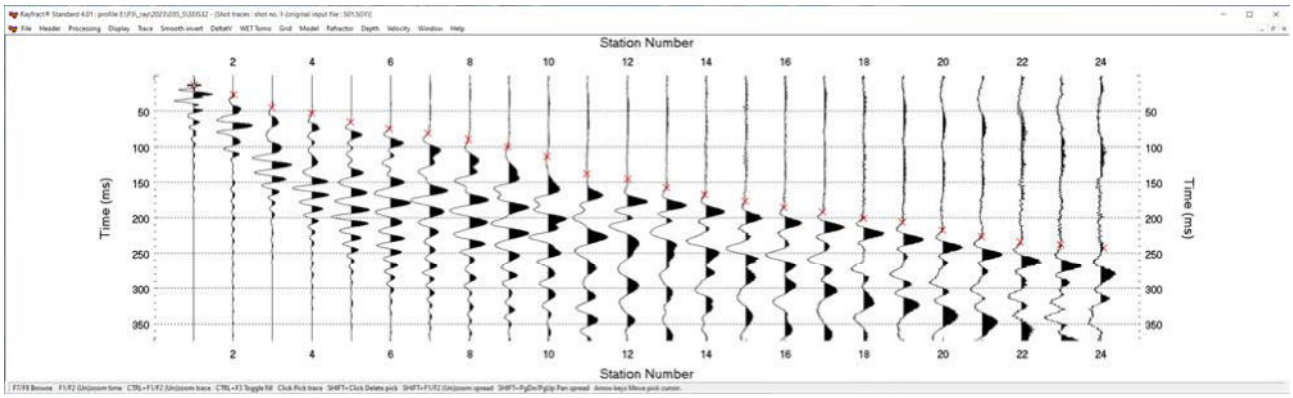


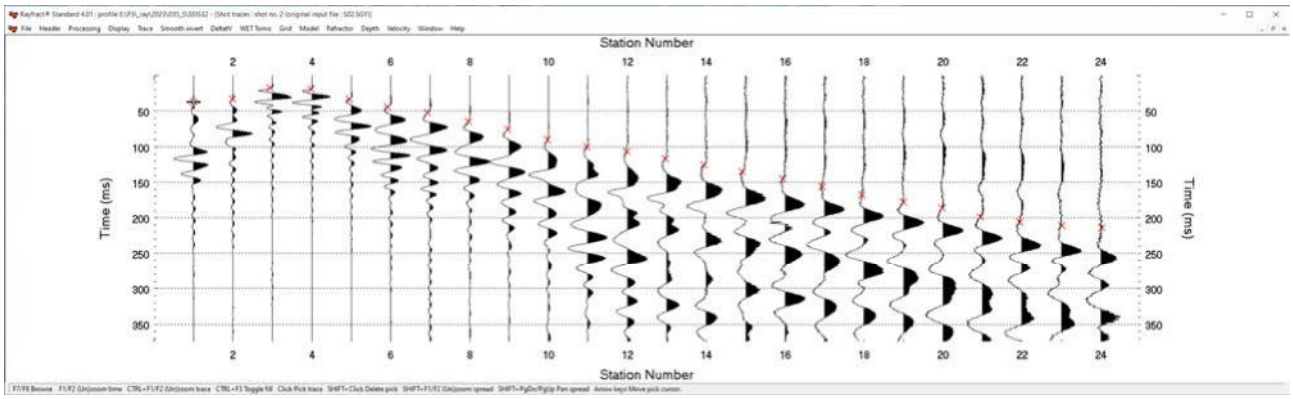
P3 s.n.c

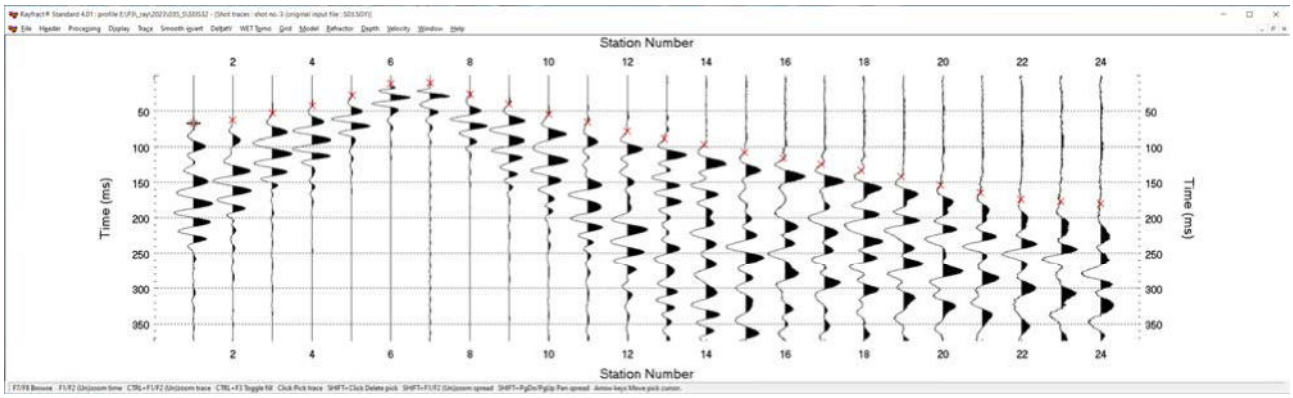
Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

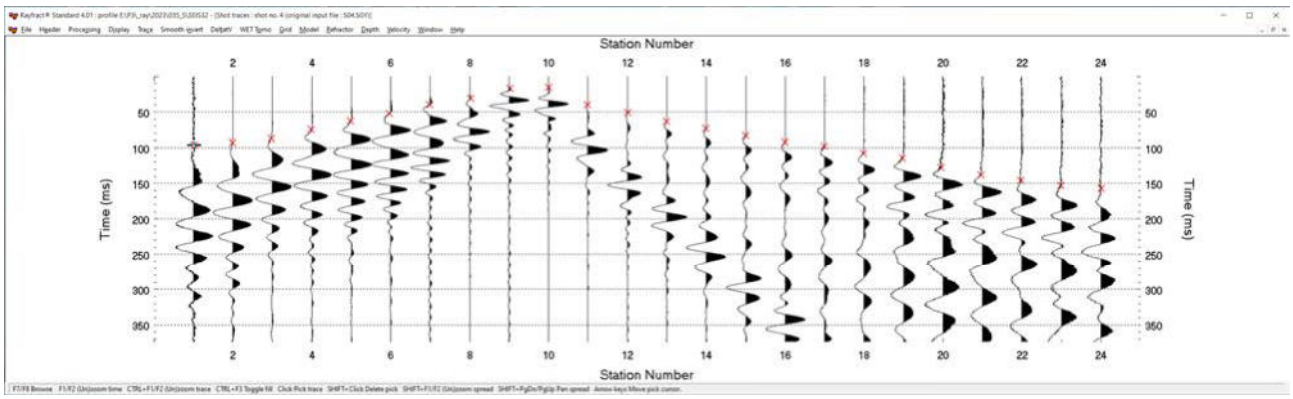
tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

Sismica a rifrazione in onde Sh – Sismogrammi e dromocrone





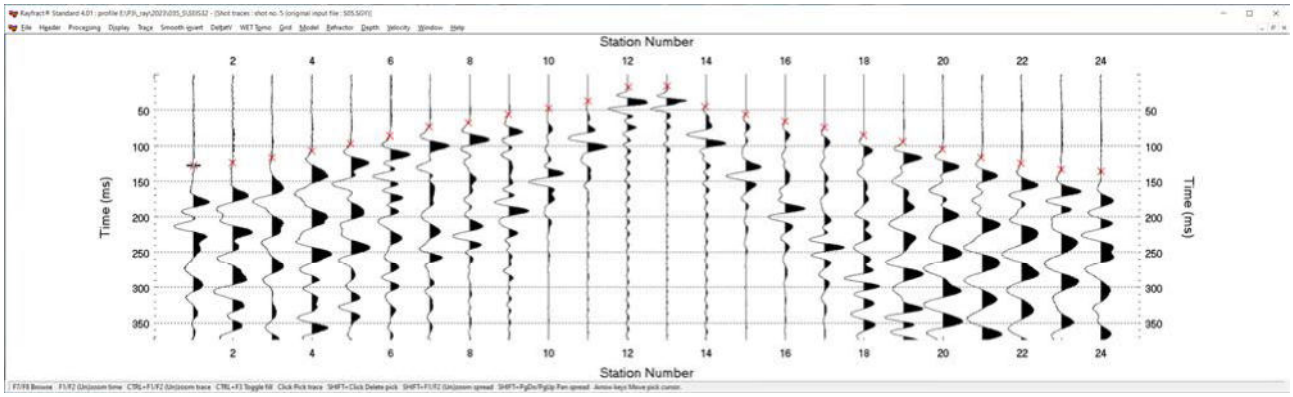


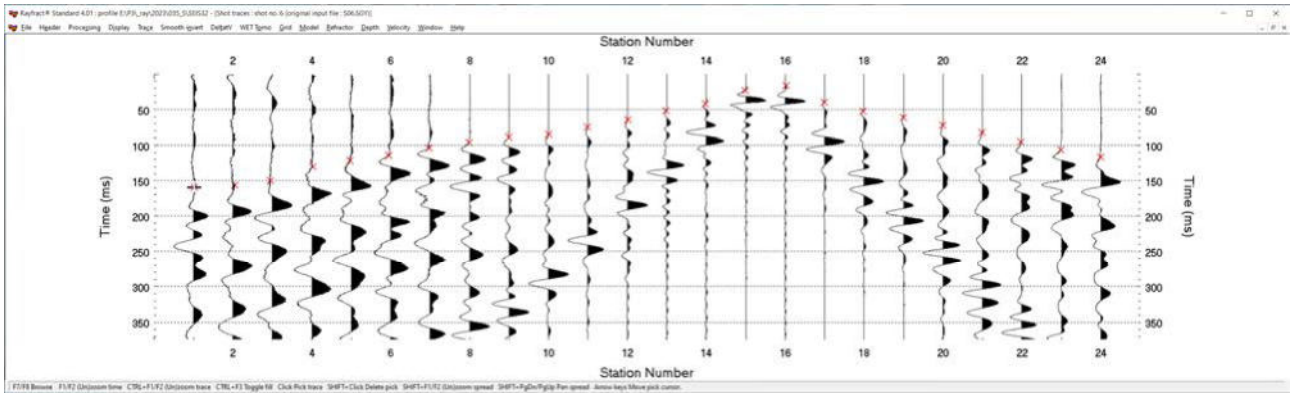


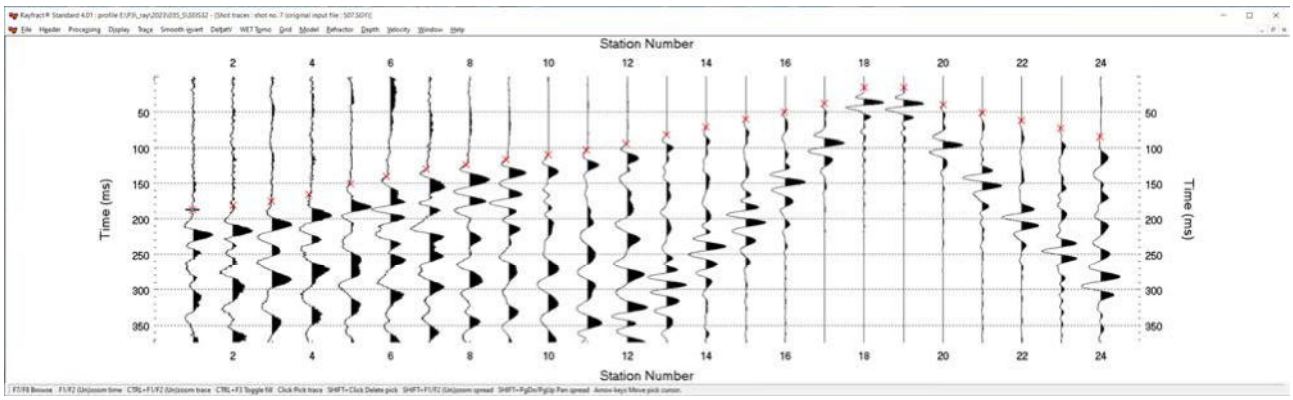
P3 s.n.c

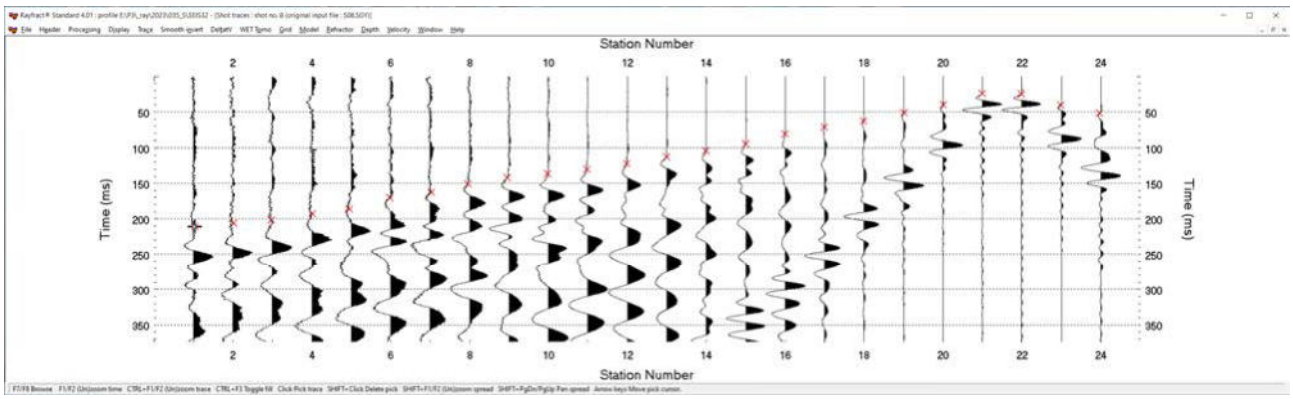
Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu





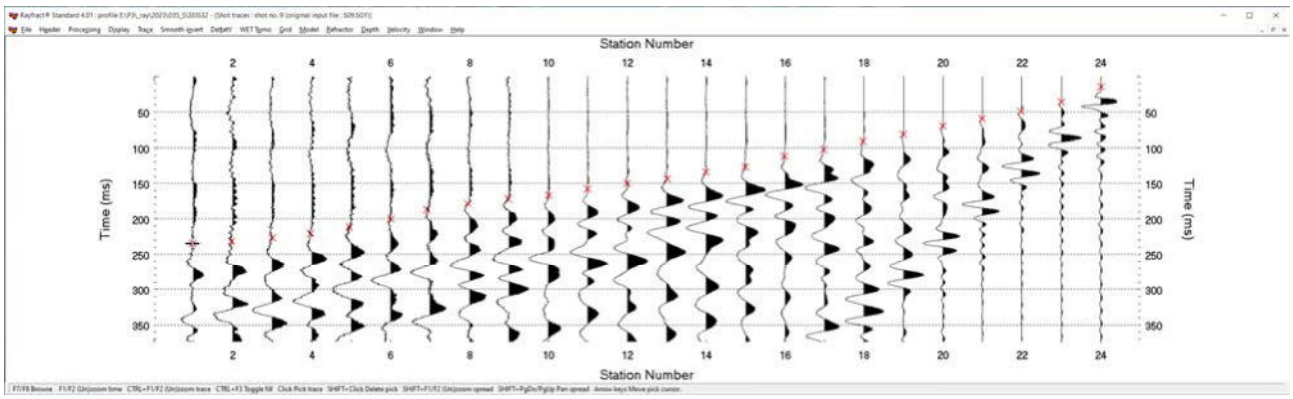


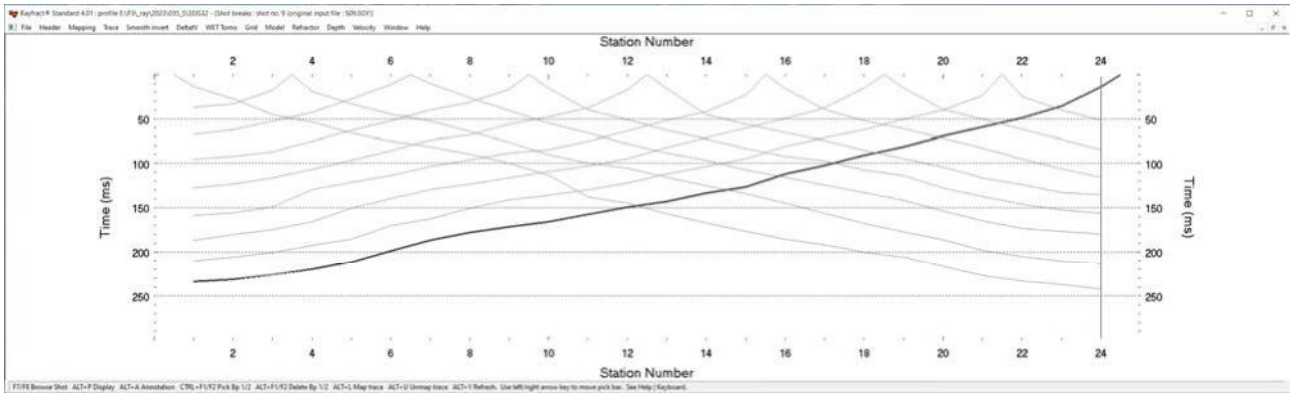


P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu





P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22-23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

snc

OGGETTO: **INDAGINI GEOFISICHE**		
TIPOLOGIA: **INDAGINE IN FORO TIPO DOWN HOLE PER IL CALCOLO DEL PROFILO DELLE Vp, DELLE Vs E DEL PARAMETRO $V_{S,eq}$**	DATA INDAGINE: **Ottobre 2023**	
LOCALITA': **COMUNE DI BOLANO (SP)** **FRAZIONE DI CEPARANA**		
RICHIEDENTE: **Dott. Geol. CARLO MALGAROTTO**		

codice documento:	**j23086.10.13_cpr_dh_.doc**
versione /revisione:	**02**
stato documento:	**definitivo**
autore:	**a.benvenuti**
revisione:	**v.carnicelli**
approvazione:	**v.carnicelli**
data:	**Ottobre 2023**

P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22/23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

SOMMARIO

1 PREMESSA....2
2 TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA....2
2.1 ACQUISIZIONI....3
2.2 RISULTATI....3

P3 s.n.c
Piazza Martiri della Libertà, 22/23
56127 PISA
P. IVA 01923910507
tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

1 PREMESSA

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame in data 13 Ottobre 2023 è stata effettuata, nel Comune di Bolano (SP), nella frazione di Ceparana, una serie di acquisizioni in foro (Down Hole) utili a definire il profilo verticale delle Vp e delle Vs (velocità di propagazione nel sottosuolo delle onde di compressione e delle onde di taglio).

Le procedure adottate sono state eseguite in accordo con le norme tecniche per le costruzioni con le norme tecniche per le costruzioni del DM 17 Gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni». Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_S).

L'analisi dei dati ha consentito di definire i valori del profilo verticale delle V_P, del profilo verticale delle V_S e di stimare il parametro $V_{S,eq}$.

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

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

In cui

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

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

L'ubicazione delle prove è riportata nelle tavole allegate; le indagini sono state posizionate sulla base CTR - Fonte dei dati Regione Liguria.

2 TIPO D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione Down Hole è avvenuta tramite un sistema di acquisizione dati costituito da un sismografo Ambrogeo mod. ECHO 48/2012 Seismc Unit 24 bits, a 48 + 1 canali, 6 dei quali sono stati collegati al geofono da foro gemellato. Questo è costituito da 2 geofoni a tre dimensioni aventi frequenza propria di 10Hz, posti in asse, distanziati tra loro di 1 m e resi solidali per mezzo di una barra in acciaio inox. Il sensore è collegato al sismografo con 50 metri di cavo metrato con tubi per aria integrati e sistema di ancoraggio pneumatico.

Per la generazione delle onde P è stata utilizzata una sorgente ad impatto verticale costituita da una mazza da 8 kg, battente su piastra in teflon®.

Le onde S sono state generate utilizzando un parallelepipedo di legno solidale al terreno, gravato da un carico addizionale (automezzo), e colpito lateralmente con la medesima mazza.

2.1 ACQUISIZIONI

Le acquisizioni in foro sono state eseguite secondo la seguente configurazione:

PARAMETRI CONFIGURAZIONALI INDAGINE SISMICA DOWN HOLE	
Coordinate GB	X= 1570478 Y= 4891047
Profondità di perforazione	30.5 m
Distanza dello sparo dal boccaforo	3 m
Numero di registrazioni Onde P	30
Numero di registrazioni Onde S	30
Distanza intergeofonica	1 m
Durata acquisizione	0.2 s
Intervallo di campionamento	0.256 ms

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software InterSism 2.2 (Geo&Soft).

Per le analisi dei dati acquisiti sono stati utilizzati i software InterSism 2.2 (Geo&Soft) e DownHole 2023 (Gesotru).

2.2 RISULTATI

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita ha permesso di ricavare sia il modello di distribuzione della velocità delle onde "P", sia il modello di distribuzione della velocità delle onde "S" la velocità equivalente relativa al sottosuolo del sito indagato per la lunghezza utile del foro di sondaggio.

Il profilo Down Hole indica una $\mathbf{V_{S,eq}}$ ($V_{S,30}$) **riferita al piano di campagna**, pari a **444.45 m/s**.

Pisa, Ottobre 2023

P3 s.n.c.
Via delle Sette Volte, 21 - 56126 PISA
C.F./P.IVA 01923910507

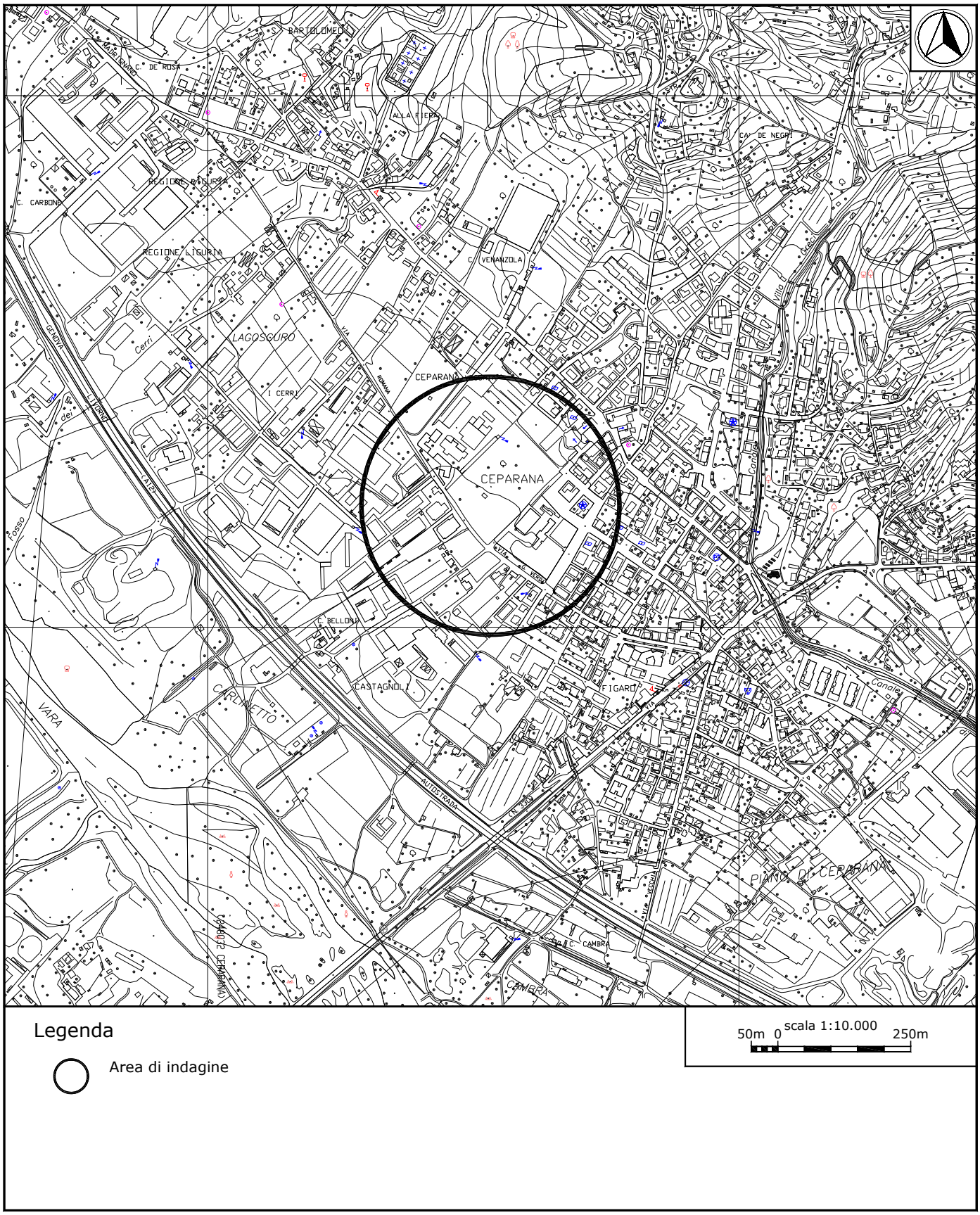


Figura 1. Ubicazione indagini – Inquadramento generale.

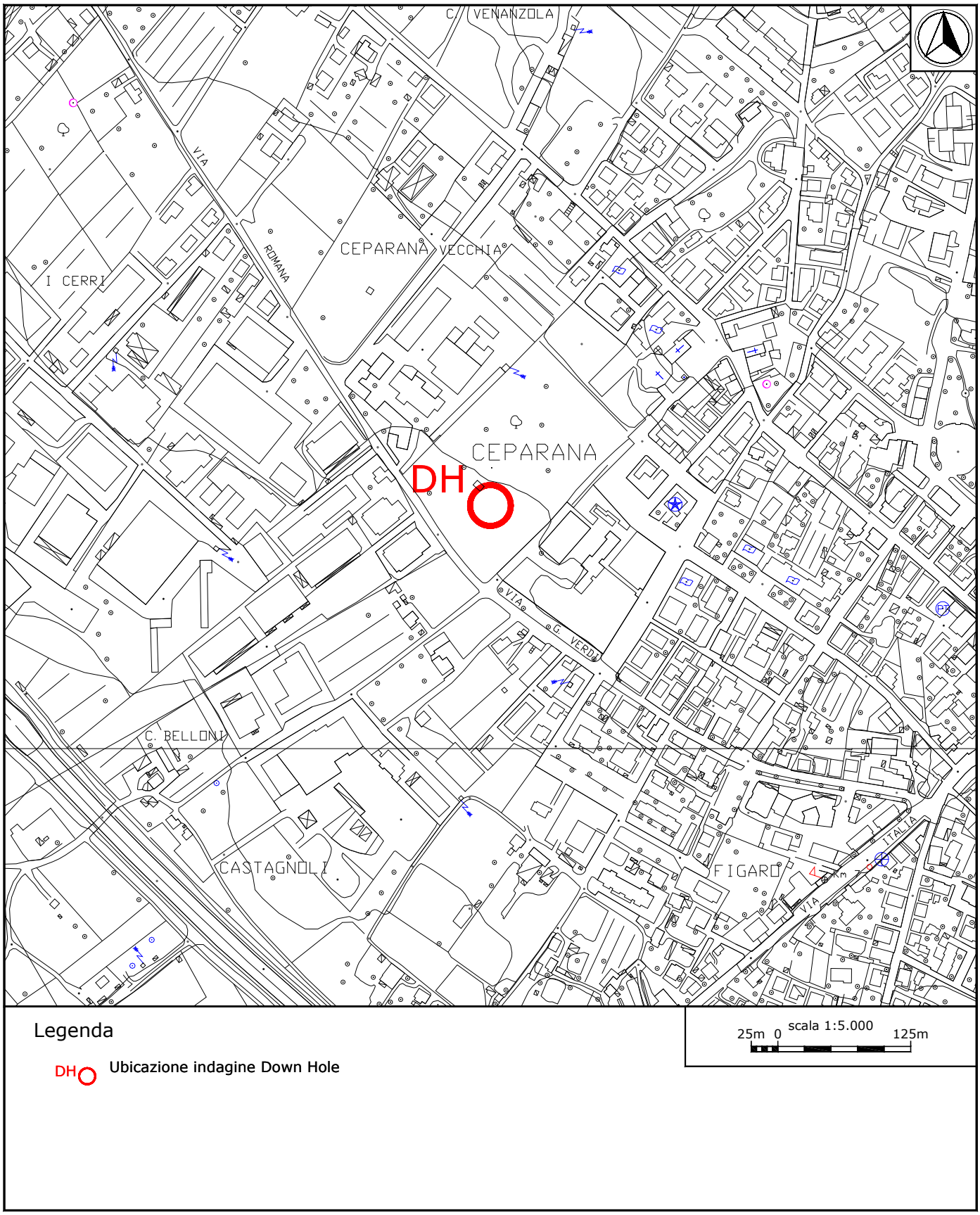


Figura 2. Ubicazione indagini – Inquadramento di dettaglio.

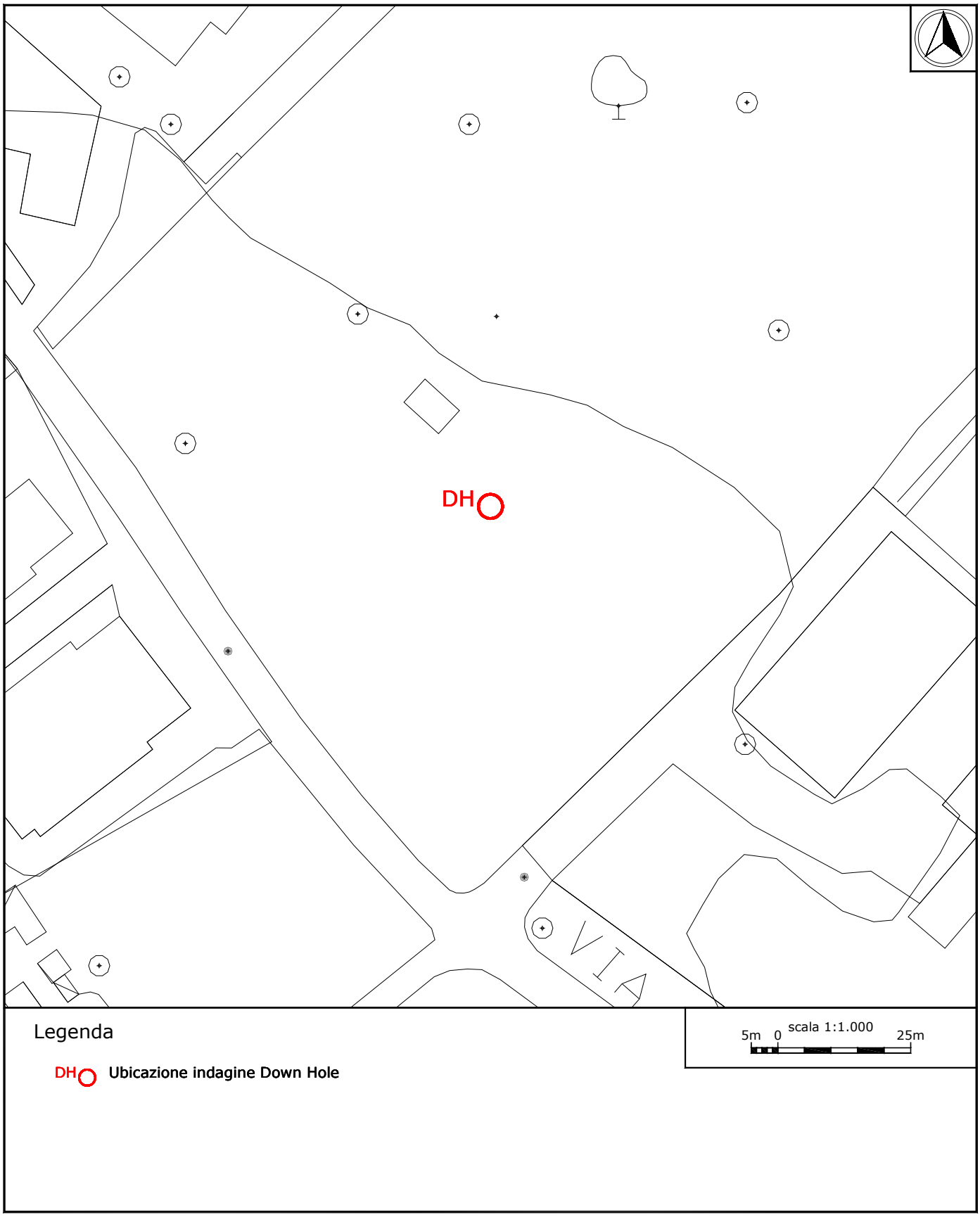


Figura 3a. Ubicazione indagini – Particolare su base CTR 2.000

P3 s.n.c
Piazza Martiri della Libertà, 22/23
56127 PISA
P. IVA 01923910507
tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

Figura 3b. Ubicazione indagini – Particolare su base ortofoto

P3 s.n.c
Piazza Martiri della Libertà, 22/23
56127 PISA
P. IVA 01923910507
tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

ANALISI SISMICA DOWN-HOLE
Down Hole Ceparana
DISTANZA DELLO SPARO DA BOCCA FORO = 3.00 [m]

PRIMI ARRIVI

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]
1	1.00	10.50	18.70	3.32	5.91
2	2.00	10.20	17.70	5.66	9.82
3	3.00	10.20	18.40	7.21	13.01
4	4.00	10.20	19.70	8.16	15.76
5	5.00	10.60	21.80	9.09	18.69
6	6.00	11.50	23.60	10.29	21.11
7	7.00	12.00	25.30	11.03	23.25
8	8.00	12.50	27.10	11.70	25.37
9	9.00	13.10	28.70	12.43	27.23
10	10.00	13.30	30.00	12.74	28.73
11	11.00	13.60	31.50	13.12	30.39
12	12.00	13.80	32.90	13.39	31.92
13	13.00	14.30	34.70	13.93	33.81
14	14.00	14.60	36.80	14.28	35.98
15	15.00	14.80	38.80	14.51	38.05
16	16.00	15.40	40.30	15.14	39.61
17	17.00	15.90	41.70	15.66	41.07
18	18.00	16.40	42.80	16.18	42.22
19	19.00	16.90	45.30	16.69	44.75
20	20.00	17.20	47.60	17.01	47.07
21	21.00	17.90	49.20	17.72	48.71
22	22.00	18.40	51.00	18.23	50.53
23	23.00	18.70	53.30	18.54	52.85
24	24.00	19.20	55.60	19.05	55.17
25	25.00	20.00	58.60	19.86	58.18
26	26.00	20.50	61.20	20.36	60.80
27	27.00	20.70	63.20	20.57	62.81
28	28.00	21.20	65.00	21.08	64.63
29	29.00	21.80	66.80	21.68	66.45
30	30.00	22.00	68.10	21.89	67.76

VELOCITA' ONDE P

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3.35	444.3
2	7.41	1076.92
3	11.07	2000
4	14.52	2738.1
5	20.35	2038.46
6	25.73	1811.45
7	30	2662.65

VELOCITA' ONDE S

Strato	Profondità [m]	Velocità [m/s]
1	3.35	239.8
2	7.41	400
3	11.07	573.67
4	14.52	525.91
5	20.35	551.04
6	25.73	432.13
7	30	576.27

VELOCITA' MEDIE VS, eq

Geofono	VS30 [m/s]
orizzontale Sx	444.45

PARAMETRI CALCOLATI

Strato	Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
1	444.3	239.8	19.51	0.29	114.41	392.74	296.19	240.19
2	1076.92	400	21.16	0.42	345.19	2502.09	980.32	2041.84
3	2000	573.67	22.32	0.46	749.02	9103.98	2179.9	8105.29
4	2738.1	525.91	22.12	0.48	623.95	16912.82	1847.94	16080.89
5	2038.46	551.04	21.88	0.46	677.5	9271.4	1979.08	8368.07
6	1811.45	432.13	21.18	0.47	403.36	7087.95	1185.75	6550.13
7	2662.65	576.27	22.2	0.48	751.77	16049.48	2218.37	15047.12

In cui:

Coefficiente di Poisson medio:

$$\nu_{medio} = 0.5\frac{\left(\frac{V_p}{v_s}\right)^2 - 2}{\left(\frac{v_p}{v_s}\right)^2 - 1}$$

Modulo di deformazione a taglio medio:

$$G_{medio} = \rho \cdot v_s^2$$

Modulo di compressibilità edometrica medio:

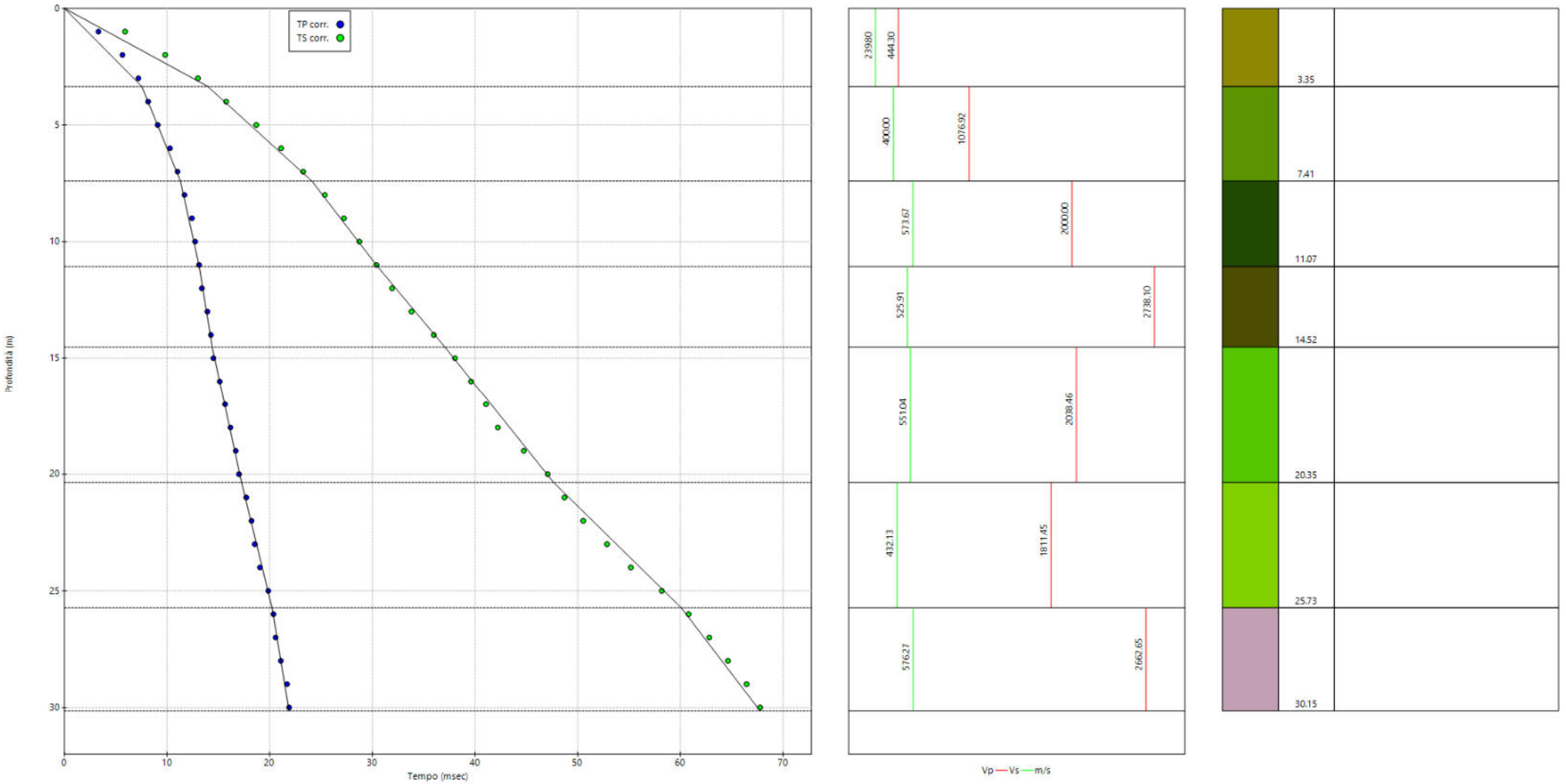
$$E_{d_{medio}} = \rho v_p^2$$

Modulo di Young medio:

$$E_{medio} = 2 \cdot \rho v_s^2 (1 + \nu)$$

Modulo di compressibilità volumetrica medio:

$$E_{v_{medio}} = \rho\left(v_p^2 - \frac{4}{3}v_s^2\right)$$

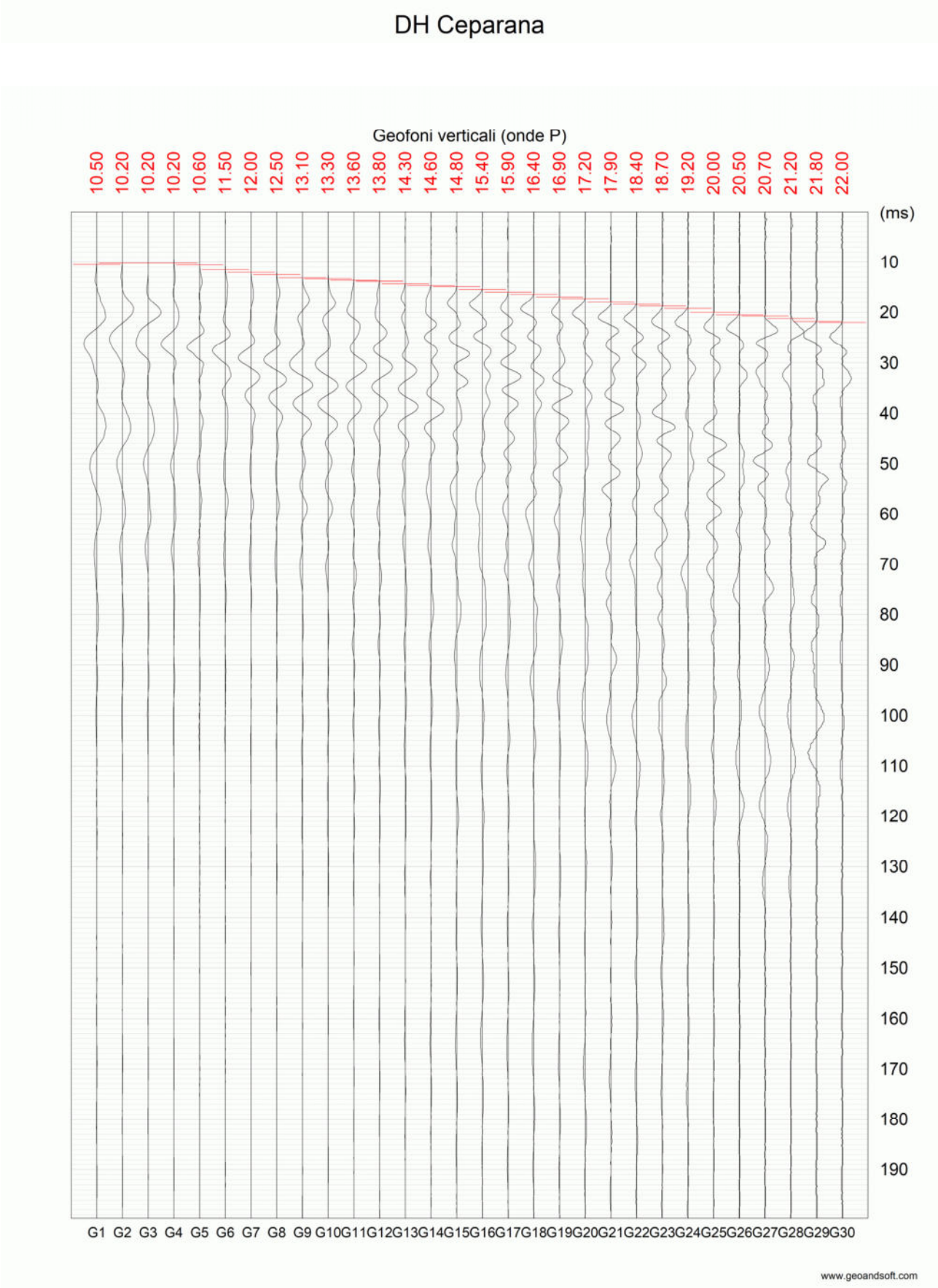


Indagine DH. Dromocrone, profili di velocità e ricostruzione sismostrati.

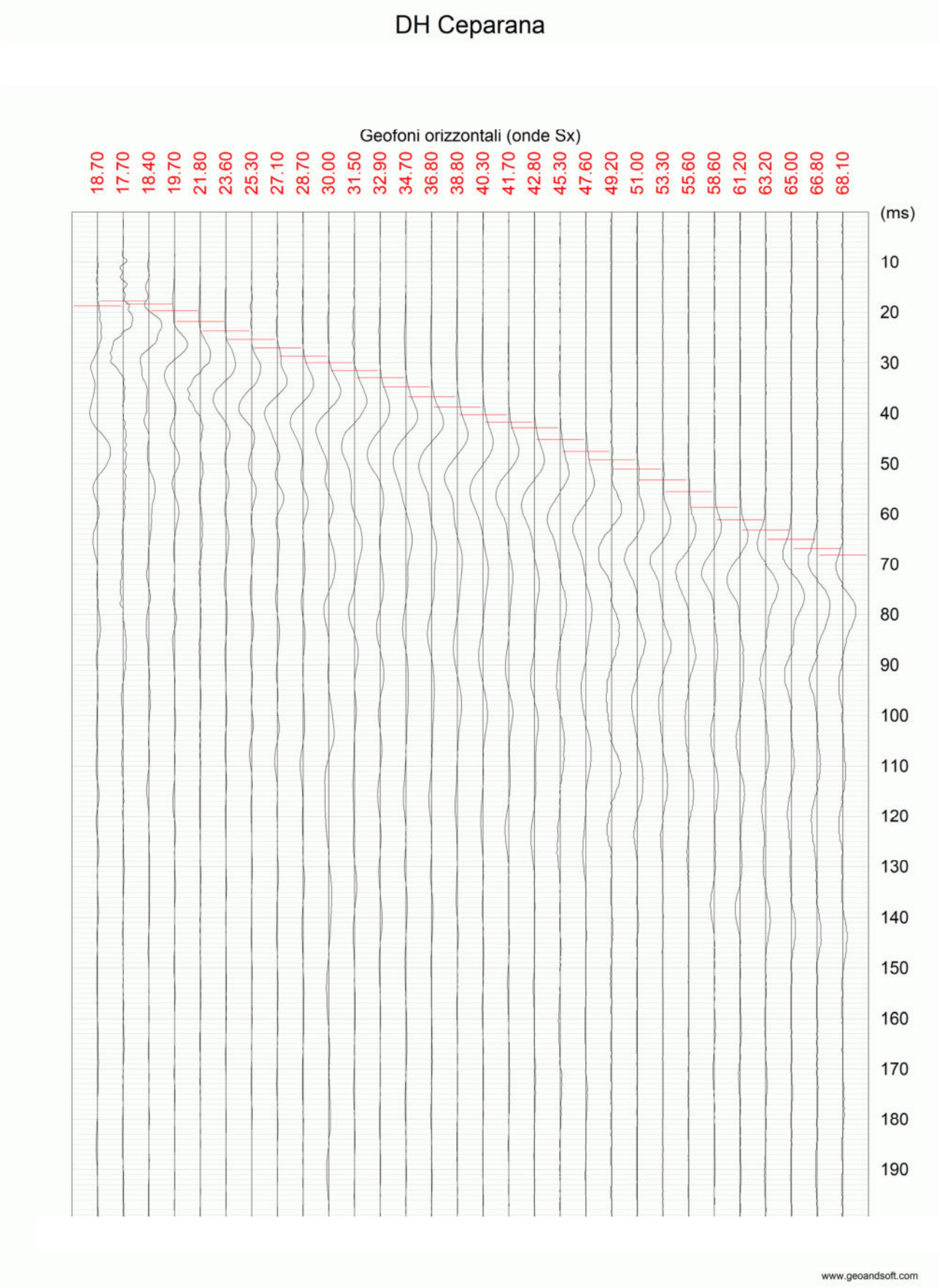
P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22/23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu



Indagine DH. Sismogrammi Onde P.



Indagine DH. Sismogrammi Onde Sh.

Indagine Down Hole - Documentazione fotografica.

P3 s.n.c

Piazza Martiri della Libertà, 22/23
56127 PISA
P. IVA 01923910507

tel: 345 88 41 046 (dott. Benvenuti)
tel: 346 43 25 044 (dott. Carnicelli)
e.mail: posta@p3online.eu
pec: posta@pec.p3online.eu

Autorizzazione del *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti*
Settore A – Prove di laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 – ART. 59 DPR 380/2001 – Circolare 7618/STC 2010

LABOTER Srl
Lab. Geotecnico - C.S.LL.PP. Decr. 2436/13

Committente :	**GAIA Servizi**
Cantiere :	**Ceparana di Malgarotto - La Spezia**
Verbale Accettazione n° :	**445 del 21/09/2023**
Data Certificazione :	**07/11/2023**
Campioni n°:	**3**
Certificati da n° a n° :	**05445 a 05457**

LABORATORIO GEOTECNICO
AUTORIZZAZIONE MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI DECR. N° 2436
LABOTER - PISTOIA

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 2.0-2.4

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	15,1	%
Peso di volume	19,4	kN/m³
Peso di volume secco	16,9	kN/m³
Peso di volume saturo	20,4	kN/m³
Peso specifico	26,5	kN/m³
Indice dei vuoti	0,569	
Porosità	36,3	%
Grado di saturazione	71,7	%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		
Passante al set. n° 40		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	56,3	%
Sabbia	28,1	%
Limo	10,8	%
Argilla	4,8	%
D 10	0,015572	mm
D 50	2,769135	mm
D 60	4,352682	mm
D 90	22,211770	mm
Passante set. 10	43,7	%
Passante set. 42	25,7	%
Passante set. 200	16,7	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec

COMPRESSIONE

σ	kPa
c_u	kPa
σ_{Rim}	kPa
$c_{u\ Rim}$	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta

c'	20,3	kPa
ϕ'	29,7	°
c'_{Res}		kPa
ϕ'_{Res}		°

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	c_d	kPa	ϕ_d	°
C.U.	c'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu}	°
	c_{cu}	kPa	ϕ_{cu}	°
U.U.	c_u	kPa	ϕ_u	°

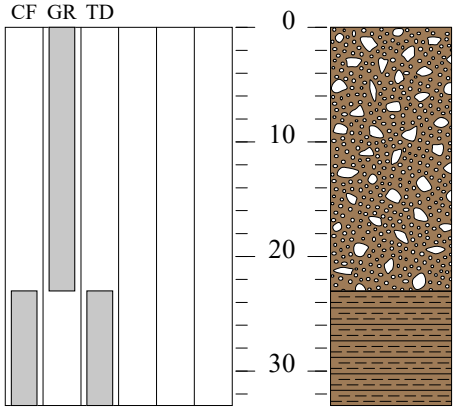
PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	Cv cm²/sec	k cm/sec

FOTOGRAFIA

OSSERVAZIONI

Tipo di campione: Cilindrico Qualità del campione: Q 5



Rp kPa	VT kPa	cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
			Ghiaia con sabbia limosa
275		23	Limo argilloso con ciottoletti ossidati MUNSELL SOIL COLOR: 2.5Y 5/4 Light olive brown
		33	Classificazione del terreno in base alla resistenza al pocket penetrometer e vane test < 24.5 kPa molto molle 24.5 - 49.1 kPa molle 49.1 - 98.1 kPa plastico 98.1 - 196.2 kPa consistente 196.2 - 392.4 kPa molto consistente >392,4 kPa duro

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05445	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	07/11/23	Inizio analisi:	19/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23		Apertura campione:	19/10/23	Fine analisi:	20/10/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 2.0-2.4

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216-10

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 15,1 %

Struttura del materiale:
- ☐ Omogeneo
- ☑ Stratificato
- ☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05446	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	07/11/23	Inizio analisi:	19/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23		Apertura campione:	19/10/23	Fine analisi:	19/10/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 2.0-2.4

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 19,4 kN/m³

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05447 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi:	20/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23	Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi:	25/10/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

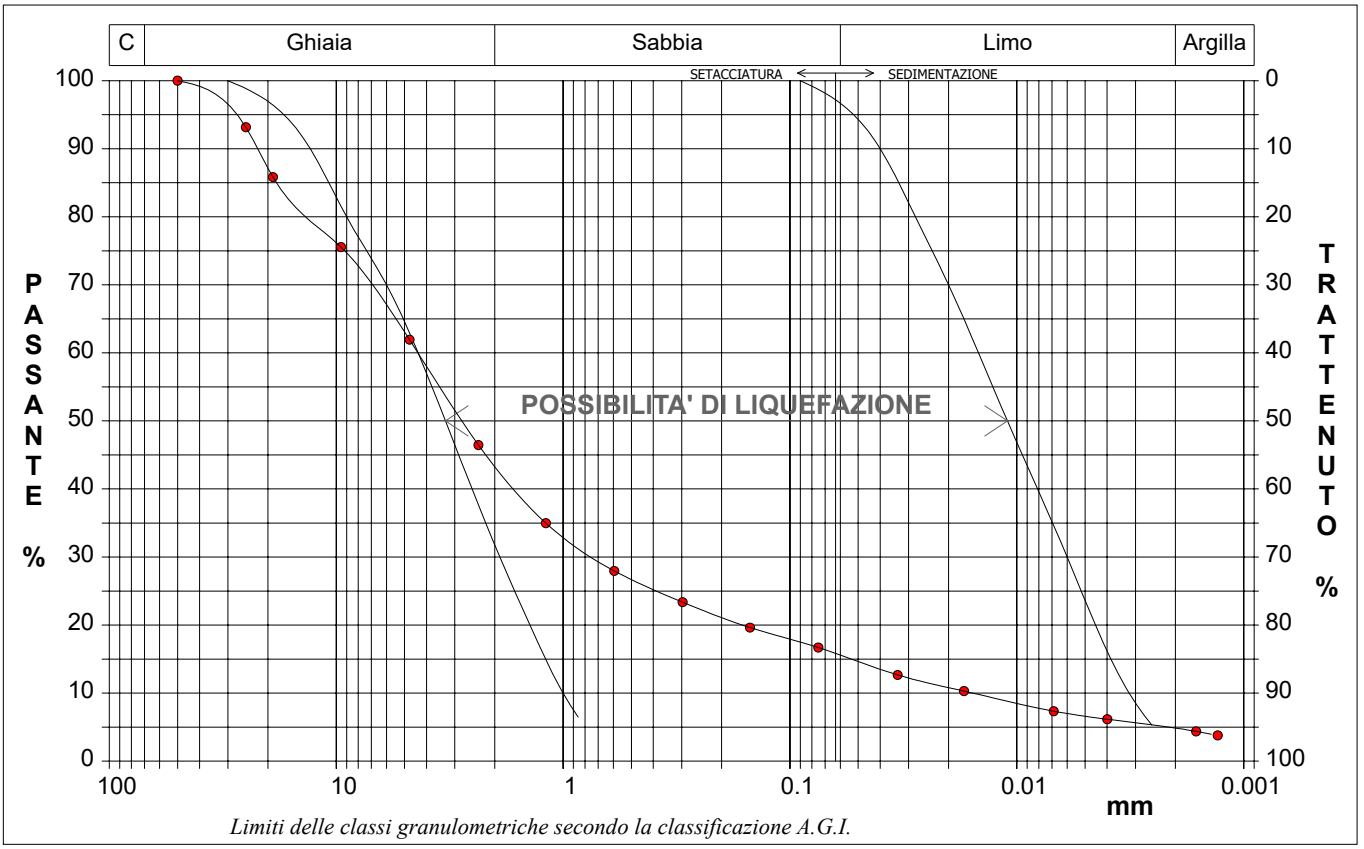
RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 2.0-2.4

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma A.G.I. 1977

Ghiaia	56,3 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	43,7 %	D_{10}	0,01557 mm
Sabbia	28,1 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	25,7 %	D_{30}	0,72788 mm
Limo	10,8 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	16,7 %	D_{50}	2,76914 mm
Argilla	4,8 %			D_{60}	4,35268 mm
Coefficiente di uniformità	279,52	Coefficiente di curvatura	7,82	D_{90}	22,21177 mm



Limiti delle classi granulometriche secondo la classificazione A.G.I.

Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
50,0000	100,00	2,3600	46,46	0,0750	16,70	0,0016	4,38		
25,0000	93,15	1,1900	34,96	0,0335	12,67	0,0013	3,79		
19,0000	85,84	0,5950	27,96	0,0171	10,30				
9,5200	75,54	0,2970	23,36	0,0069	7,34			Setacci	10
4,7500	61,93	0,1500	19,63	0,0040	6,16			Punti sediment.	6

Lo sperimentatore
Dott. Geol. Chiara Colarusso

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05448 Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi:	31/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23	Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi:	06/11/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 2.0-2.4

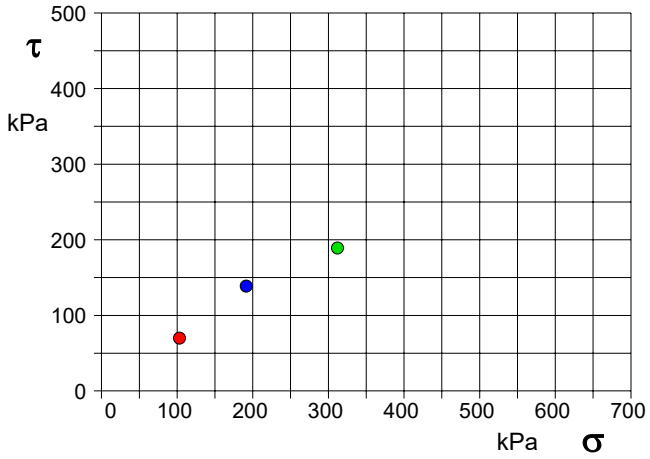
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	70	139	189
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	3,23	3,46	5,54
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,24	0,27	0,54
Umidità iniziale e umidità finale (%):	- - - 23,2	- - - 22,9	- - - 21,8
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	18,8 23,2	19,6 24,1	19,8 26,0

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale



Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0,007 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24

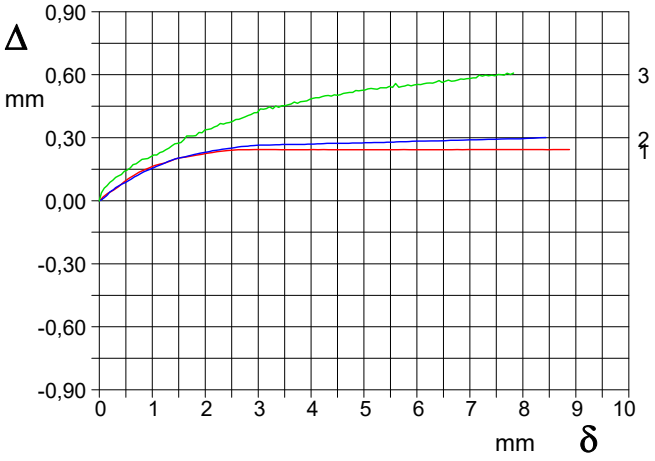


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

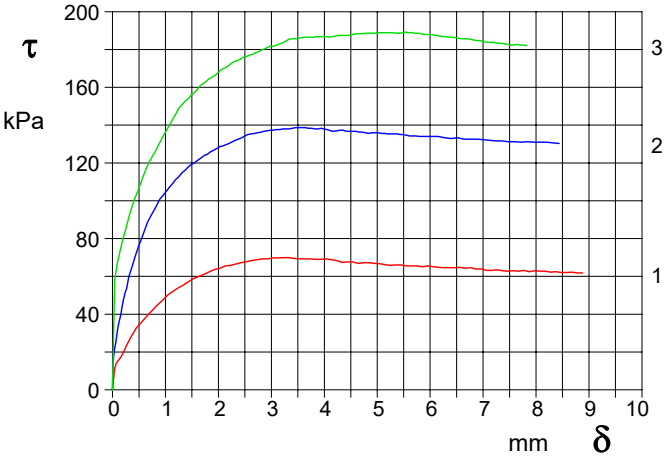


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05448	Pagina 0/4	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi: 31/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23		Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi: 06/11/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 2.0-2.4

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,040	11,4	0,01	0,006	12,8	0,00	0,041	58,5	0,04
0,210	19,8	0,04	0,056	24,2	0,01	0,199	79,9	0,09
0,456	32,9	0,09	0,109	33,9	0,02	0,360	95,9	0,12
0,752	42,0	0,14	0,174	43,0	0,04	0,526	108,7	0,15
1,043	50,1	0,17	0,218	49,0	0,05	0,695	120,6	0,18
1,333	55,3	0,19	0,264	53,4	0,05	0,975	135,1	0,21
1,631	59,9	0,21	0,431	70,9	0,08	1,143	143,5	0,23
1,932	63,7	0,22	0,609	84,6	0,10	1,314	150,9	0,25
2,228	65,8	0,23	0,785	95,0	0,13	1,482	155,6	0,27
2,829	69,3	0,24	0,962	103,1	0,15	1,651	160,7	0,31
3,135	69,7	0,24	1,135	109,1	0,17	1,882	165,4	0,33
3,430	69,5	0,24	1,310	114,8	0,19	2,055	169,3	0,34
3,731	69,3	0,24	1,493	119,2	0,20	2,228	172,3	0,36
4,041	69,3	0,24	1,669	122,6	0,21	2,401	174,7	0,37
4,335	67,4	0,24	1,848	125,9	0,22	2,579	177,0	0,39
4,637	66,9	0,24	2,023	128,6	0,23	2,811	179,7	0,41
4,943	66,9	0,24	2,200	130,3	0,24	2,984	181,8	0,42
5,245	65,8	0,24	2,377	132,6	0,25	3,156	183,0	0,44
5,551	65,5	0,24	2,558	135,0	0,25	3,331	185,3	0,45
5,855	65,1	0,24	2,738	136,0	0,26	3,509	185,9	0,45
6,160	64,8	0,24	2,918	137,0	0,26	3,683	186,5	0,47
6,457	64,6	0,24	3,101	137,7	0,27	3,856	186,8	0,47
6,760	64,6	0,24	3,277	138,0	0,27	4,034	186,8	0,49
7,065	63,2	0,24	3,459	138,7	0,27	4,207	187,1	0,50
7,362	63,0	0,24	3,643	138,7	0,27	4,383	187,4	0,50
7,666	62,7	0,24	3,819	138,0	0,27	4,554	188,0	0,51
7,974	63,0	0,24	3,987	138,0	0,27	4,727	188,3	0,52
8,272	62,3	0,24	4,176	136,7	0,27	4,900	188,6	0,52
8,578	62,0	0,24	4,355	137,3	0,27	5,075	188,9	0,53
8,880	61,8	0,24	4,530	136,7	0,27	5,248	188,9	0,53
			4,714	136,3	0,27	5,425	188,6	0,54
			4,899	136,0	0,28	5,596	188,9	0,56
			5,072	135,7	0,28	5,770	188,6	0,55
			5,251	135,3	0,28	5,948	188,0	0,55
			5,434	135,0	0,28	6,126	187,4	0,56
			5,610	134,3	0,28	6,299	186,8	0,56
			5,792	134,0	0,28	6,475	186,2	0,56
			6,034	134,0	0,28	6,651	185,6	0,57
			6,396	133,0	0,29	6,826	185,1	0,58
			6,766	132,6	0,29	6,999	184,5	0,58
			7,120	132,0	0,29	7,177	183,9	0,60
			7,480	131,3	0,29	7,353	183,3	0,60
			7,831	131,3	0,30	7,533	182,4	0,60
			8,198	131,0	0,30	7,705	182,4	0,61

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05448	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE:	07/11/23	Inizio analisi:	31/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23		Apertura campione:	19/10/23	Fine analisi:	06/11/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 2.0-2.4

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	103
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,919
Sezione (cm²):	28,27
T_{50} (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

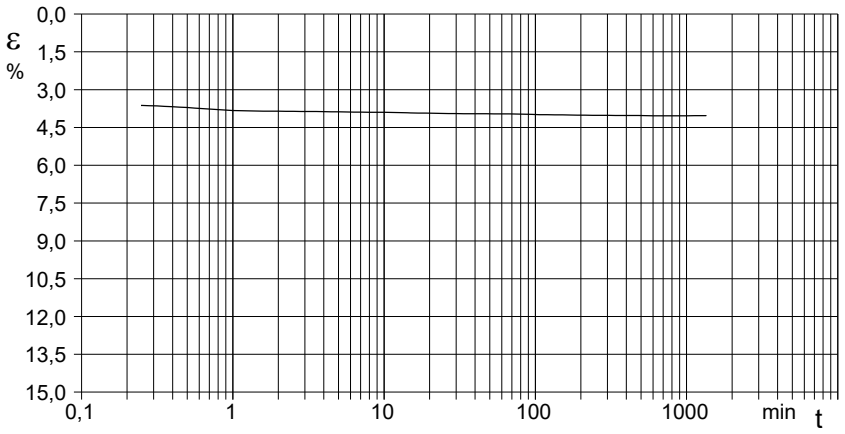


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	191
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,798
Sezione (cm²):	28,27
T_{50} (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

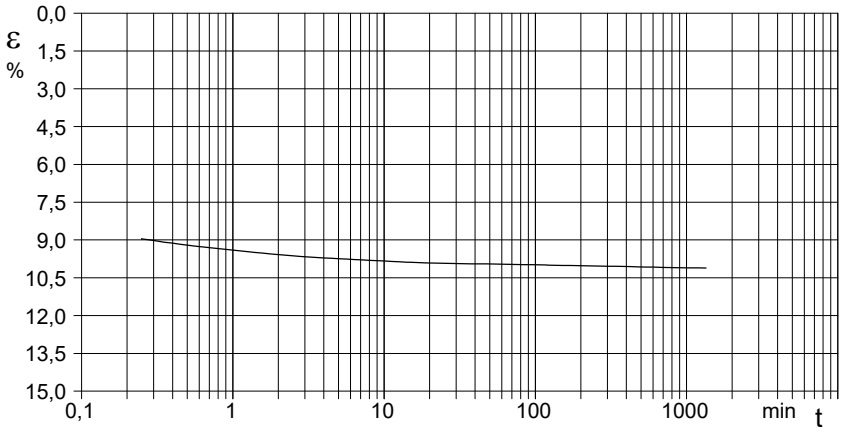
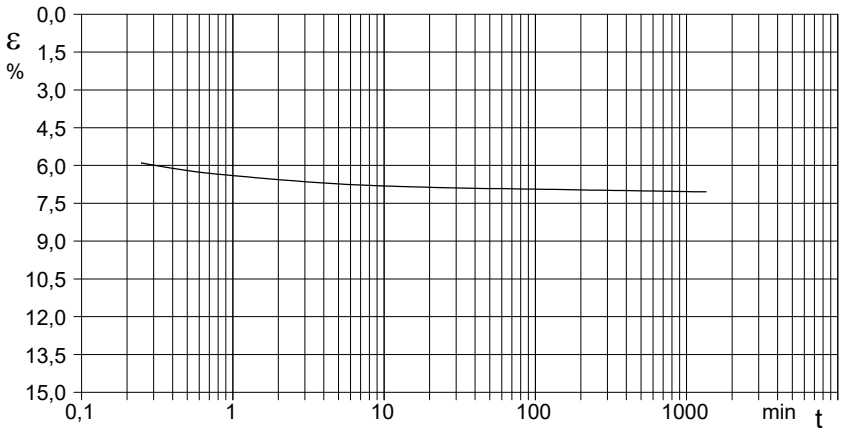


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	312
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,859
Sezione (cm²):	28,27
T_{50} (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata $tf = 50 \times T_{50}$ $Vs = Df / tf$

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05448	Pagina 4/4	DATA DI EMISSIONE:	07/11/23	Inizio analisi:	31/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:	445 del 21/09/23	Apertura campione:	19/10/23	Fine analisi:	06/11/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 1 PROFONDITA': m 2.0-2.4

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Tempo	Cedim.	Cedim.	Tempo	Cedim.	Cedim.	Tempo	Cedim.	Cedim.
minuti	mm/100	%	minuti	mm/100	%	minuti	mm/100	%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	72,50	3,63	0,25	179,10	8,96	0,25	118,10	5,91
0,50	74,20	3,71	0,50	184,10	9,21	0,50	124,00	6,20
1,00	76,50	3,83	1,00	188,00	9,40	1,00	128,00	6,40
2,00	77,10	3,86	2,00	191,60	9,58	2,00	131,20	6,56
4,00	77,50	3,88	4,00	194,20	9,71	4,00	133,90	6,70
8,00	77,90	3,90	8,00	196,10	9,81	8,00	135,80	6,79
15,00	78,40	3,92	15,00	197,70	9,89	15,00	136,90	6,85
30,00	79,00	3,95	30,00	198,70	9,93	30,00	137,80	6,89
60,00	79,20	3,96	60,00	199,20	9,96	60,00	138,40	6,92
120,00	79,90	4,00	120,00	199,90	10,00	120,00	138,90	6,95
240,00	80,30	4,02	240,00	200,60	10,03	240,00	139,50	6,98
480,00	80,60	4,03	480,00	201,30	10,07	480,00	140,10	7,01
900,00	80,80	4,04	900,00	202,00	10,10	900,00	140,60	7,03
1200,00	80,70	4,04	1200,00	202,20	10,11	1200,00	140,80	7,04
1440,00	80,70	4,04	1440,00	202,30	10,12	1440,00	140,90	7,05

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

COMMITTENTE:	GAIA Servizi	
RIFERIMENTO:	Ceparana di Malgarotto - La Spezia	
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 1	PROFONDITA': m 2.0-2.4

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

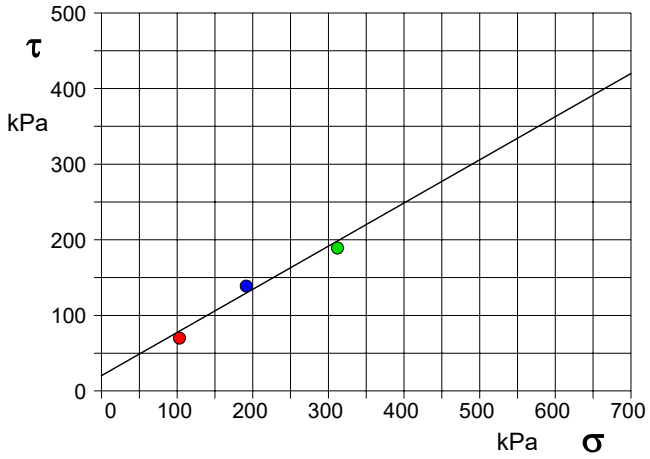
Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	70	139	189
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	3,23	3,46	5,54
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,24	0,27	0,54
Umidità iniziale e umidità finale (%):	- - - 23,2	- - - 22,9	- - - 21,8
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	18,8 23,2	19,6 24,1	19,8 26,0

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale

Coesione:	20,3 kPa
Angolo di attrito interno:	29,7 °

Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0,007 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24



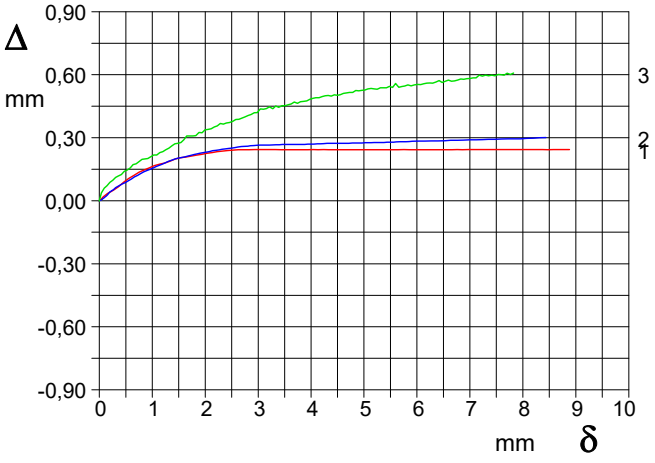


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

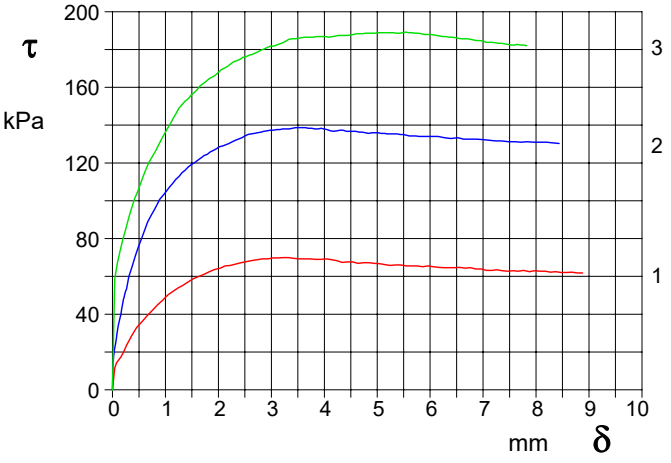


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 2 R PROFONDITA': m 3.2-3.6

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	21,0	%
Peso di volume	19,9	kN/m³
Peso di volume secco	16,4	kN/m³
Peso di volume saturo	20,1	kN/m³
Peso specifico	26,5	kN/m³
Indice dei vuoti	0,612	
Porosità	38,0	%
Grado di saturazione	92,4	%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		
Passante al set. n° 40		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia		%
Sabbia	9,4	%
Limo	62,5	%
Argilla	28,1	%
D 10	0,000265	mm
D 50	0,008038	mm
D 60	0,014227	mm
D 90	0,058543	mm
Passante set. 10	100,0	%
Passante set. 42	99,8	%
Passante set. 200	96,0	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec

COMPRESSIONE

σ	kPa
c_u	kPa
σ_{Rim}	kPa
$c_{u\ Rim}$	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta

c'	24,8	kPa
ϕ'	23,6	°
c'_{Res}		kPa
ϕ'_{Res}		°

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	c_d	kPa	ϕ_d	°
C.U.	c'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu}	°
	c_{cu}	kPa	ϕ_{cu}	°
U.U.	c_u	kPa	ϕ_u	°

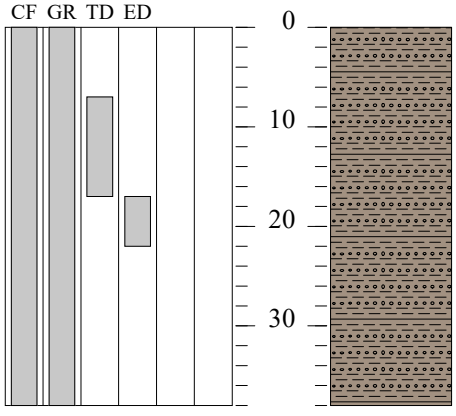
PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	Cv cm²/sec	k cm/sec
24,6 ÷ 49,2	1154	0,001030	8,75E-08
49,2 ÷ 98,4	2730	0,000326	1,17E-08
98,4 ÷ 196,8	5319	0,000485	8,95E-09
196,8 ÷ 393,6	9218	0,000496	5,28E-09
393,6 ÷ 787,2	15226	0,000528	3,40E-09
787,2 ÷ 1574,4	27476	0,000492	1,76E-09

FOTOGRAFIA

OSSERVAZIONI

Tipo di campione: Cilindrico Qualità del campione: Q 5



Rp kPa	VT kPa	cm
250		
250		
250		
		38

DESCRIZIONE DEL CAMPIONE

Limo con argilla debolmente sabbioso
MUNSELL SOIL COLOR: 2.5Y 6/2 Light brownish gray

Classificazione del terreno in base alla resistenza al pocket penetrometer e vane test

< 24.5 kPa	molto molle
24.5 - 49.1 kPa	molle
49.1 - 98.1 kPa	plastico
98.1 - 196.2 kPa	consistente
196.2 - 392.4 kPa	molto consistente
>392,4 kPa	duro

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05449 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi:	19/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23	Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi:	20/10/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 2 R PROFONDITA': m 3.2-3.6

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216-10

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 21,0 %

Struttura del materiale:
- ☉ Omogeneo
- ☐ Stratificato
- ☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05450	Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE:	07/11/23	Inizio analisi:	19/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23		Apertura campione:	19/10/23	Fine analisi:	19/10/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 2 R PROFONDITA': m 3.2-3.6

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 19,9 kN/m³

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05451 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi:	20/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23	Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi:	25/10/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

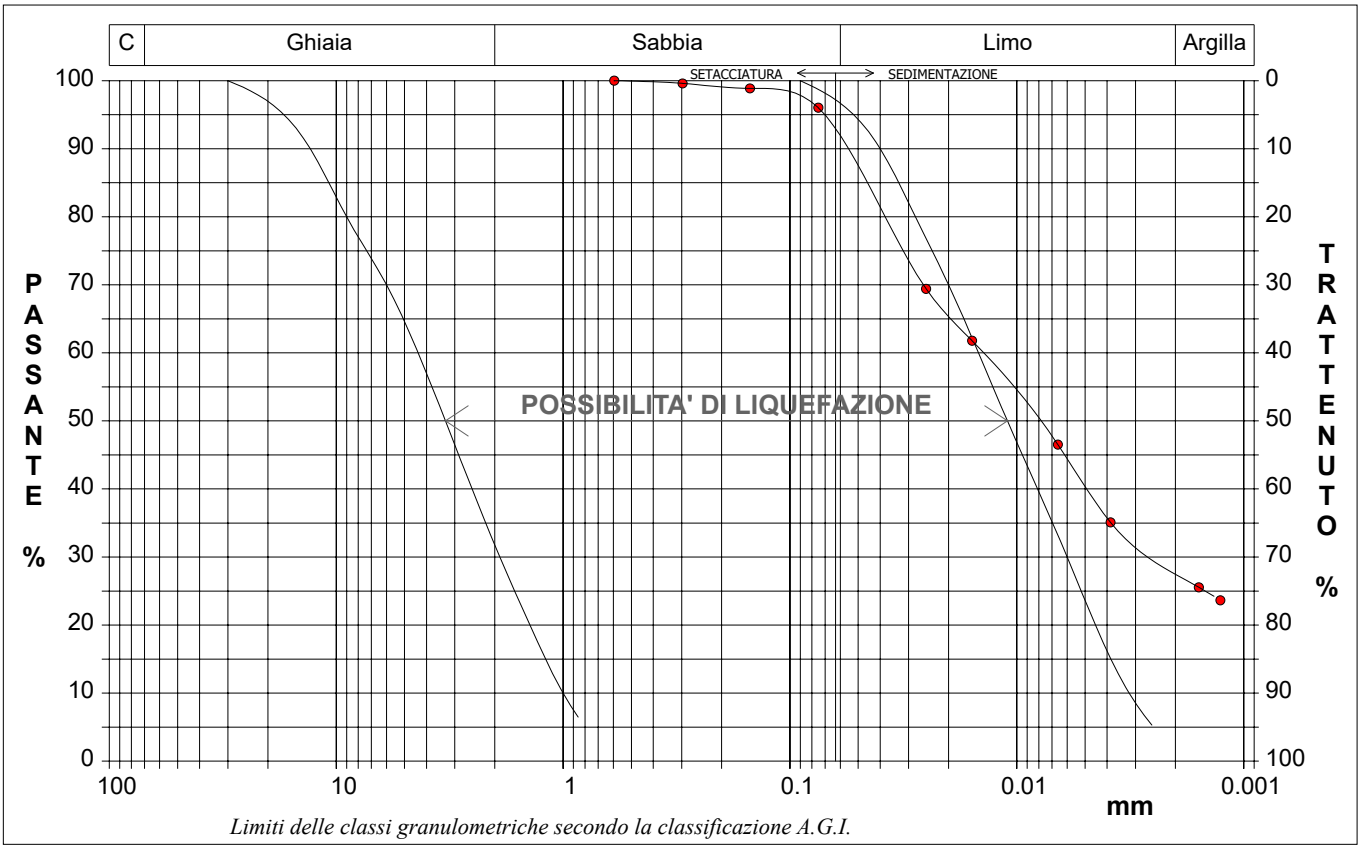
RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 2 R PROFONDITA': m 3.2-3.6

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma A.G.I. 1977

Ghiaia	0,0 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	100,0 %	D_{10}	0,00027 mm
Sabbia	9,4 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	99,8 %	D_{30}	0,00240 mm
Limo	62,5 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	96,0 %	D_{50}	0,00804 mm
Argilla	28,1 %			D_{60}	0,01423 mm
Coefficiente di uniformità	53,65	Coefficiente di curvatura	1,52	D_{90}	0,05854 mm



Limiti delle classi granulometriche secondo la classificazione A.G.I.

Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
0,5950	100,00	0,0157	61,78						
0,2970	99,60	0,0066	46,53						
0,1500	98,86	0,0039	35,08						
0,0750	96,02	0,0016	25,55					Setacci	3
0,0251	69,41	0,0013	23,64					Punti sediment.	6

Lo sperimentatore
Dott. Geol. Chiara Colarusso

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05452 Pagina 1/2	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi:	20/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23	Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi:	31/10/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 2 R PROFONDITA': m 3.2-3.6

PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435-11

Caratteristiche del campione

Peso di volume (kN/m³)	20,18
Umidità (%)	21,0
Peso specifico (kN/m³)	26,47
Altezza provino (cm)	2,00
Diametro provino (cm)	5,00
Sezione provino (cm²)	19,63
Volume provino (cm³)	39,27
Volume dei vuoti (cm³)	14,53
Indice dei vuoti	0,59
Porosità (%)	37,00
Saturazione (%)	96,5

DIAGRAMMA PRESSIONE - INDICE DEI VUOTI

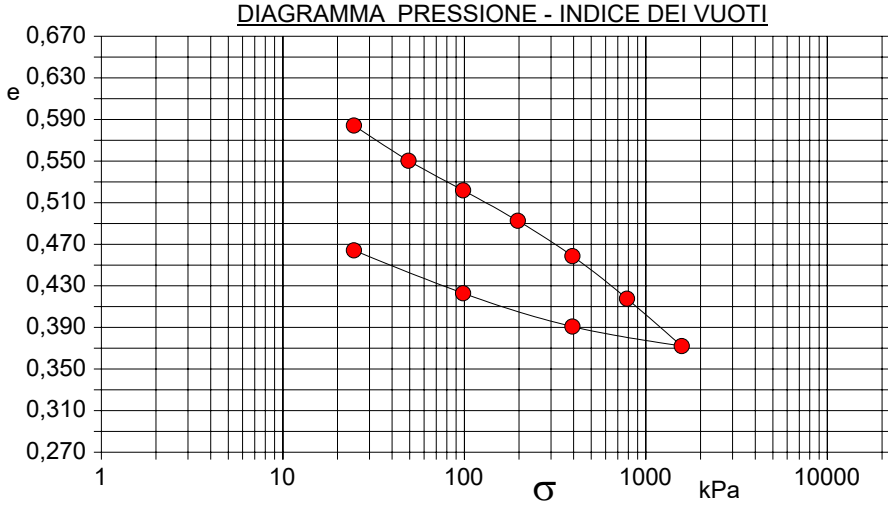
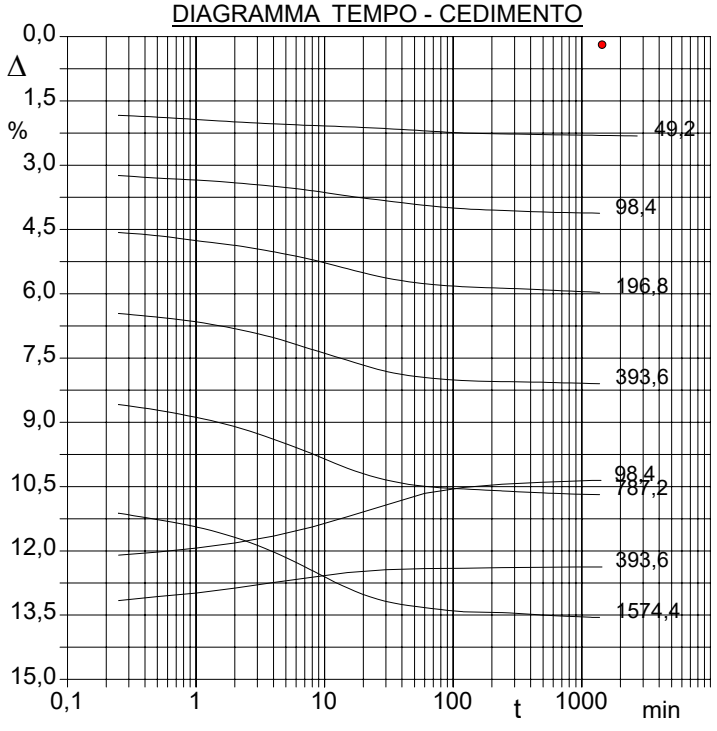
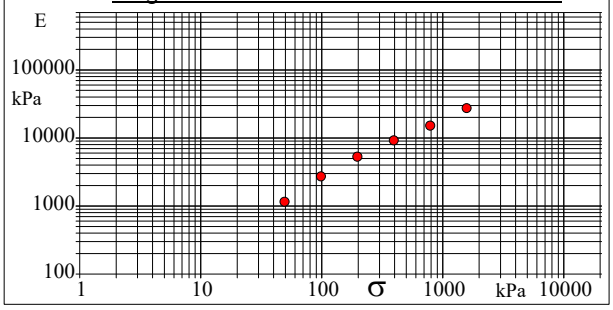


DIAGRAMMA TEMPO - CEDIMENTO



Pressione kPa	Cedim. mm/100	Indice Vuoti	Cc	Modulo kPa	Cv cm²/sec	k cm/sec
24,6	3,7	0,584				
49,2	46,4	0,550	0,024	1154	0,001030	8,75E-08
98,4	82,4	0,522	0,017	2730	0,000326	1,17E-08
196,8	119,4	0,492	0,015	5319	0,000485	8,95E-09
393,6	162,1	0,459	0,015	9218	0,000496	5,28E-09
787,2	213,8	0,418	0,016	15226	0,000528	3,40E-09
1574,4	271,1	0,372	0,016	27476	0,000492	1,76E-09
393,6	247,5	0,391				
98,4	207,1	0,423				
24,6	155,2	0,464				

Diagramma Pressione - Modulo edometrico



SGEO - Laboratorio 6.2 - 2020

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05452	Pagina 2/2	DATA DI EMISSIONE:	07/11/23	Inizio analisi:	20/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23		Apertura campione:	19/10/23	Fine analisi:	31/10/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 2 R PROFONDITA': m 3.2-3.6

PROVA EDOMETRICA

Modalità di prova: Norma ASTM D 2435-11

LETTURE INTERMEDIE - TABELLE RIASSUNTIVE

Pressione 49,2 kPa				Pressione 98,4 kPa				Pressione 196,8 kPa				Pressione 393,6 kPa			
Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100
0,02	3,7	2160,02	46,3	0,02	46,4			0,02	82,4			0,02	119,4		
0,25	36,7	2400,02	46,3	0,25	64,8			0,25	91,4			0,25	129,2		
0,50	37,5	2700,02	46,3	0,50	66,0			0,50	92,9			0,50	130,9		
1,00	38,6	2880,02	46,3	1,00	66,9			1,00	95,2			1,00	133,1		
2,00	39,7			2,00	68,2			2,00	97,4			2,00	136,3		
4,00	40,7			4,00	69,8			4,00	100,4			4,00	140,5		
8,00	41,4			8,00	71,9			8,00	104,1			8,00	146,0		
15,00	42,1			15,00	74,3			15,00	108,3			15,00	151,0		
30,00	42,9			30,00	76,6			30,02	112,6			30,00	156,2		
60,00	43,9			60,00	78,7			60,02	115,3			60,00	159,1		
120,02	45,0			120,00	80,3			120,02	116,7			120,00	160,5		
240,02	45,3			240,00	81,1			240,02	117,4			240,00	161,0		
480,02	45,7			480,00	81,8			480,02	118,1			480,00	161,3		
900,02	45,9			900,00	82,2			900,02	118,9			900,00	161,7		
1200,02	46,0			1200,00	82,3			1200,02	119,2			1200,00	161,9		
1440,02	46,1			1440,00	82,4			1437,15	119,4			1440,00	162,1		
1920,02	46,2														

Pressione 787,2 kPa				Pressione 1574,4 kPa				Pressione 393,6 kPa				Pressione 98,4 kPa			
Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100	Tempo min	Cedim. mm/100
0,02	162,1			0,02	213,8			0,02	271,1			0,02	247,5		
0,25	171,7			0,25	222,4			0,25	263,2			0,25	242,0		
0,50	174,3			0,50	225,4			0,50	261,4			0,50	240,6		
1,00	177,7			1,00	228,8			1,00	259,7			1,00	238,7		
2,00	182,0			2,00	233,7			2,00	257,4			2,00	236,3		
4,00	187,9			4,00	240,5			4,00	254,8			4,00	233,1		
8,00	194,7			8,00	249,2			8,00	252,3			8,00	228,8		
15,00	201,4			15,00	257,3			15,00	250,1			15,00	224,1		
30,00	206,9			30,00	263,6			30,00	248,8			30,00	218,6		
60,00	209,9			60,00	266,5			60,00	248,3			60,00	213,2		
120,00	211,1			120,00	268,4			120,00	248,1			120,00	210,4		
240,00	212,0			240,00	268,8			240,00	247,8			240,00	208,9		
480,00	212,9			480,00	269,9			480,00	247,7			480,00	208,0		
900,00	213,5			900,00	270,7			900,00	247,5			900,00	207,4		
1200,00	213,7			1200,00	271,0			1200,00	247,5			1200,00	207,1		
1427,57	213,8			1440,00	271,1			1440,00	247,5			1410,78	207,1		

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05453 Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi:	31/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23	Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi:	07/11/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 2 R PROFONDITA': m 3.2-3.6

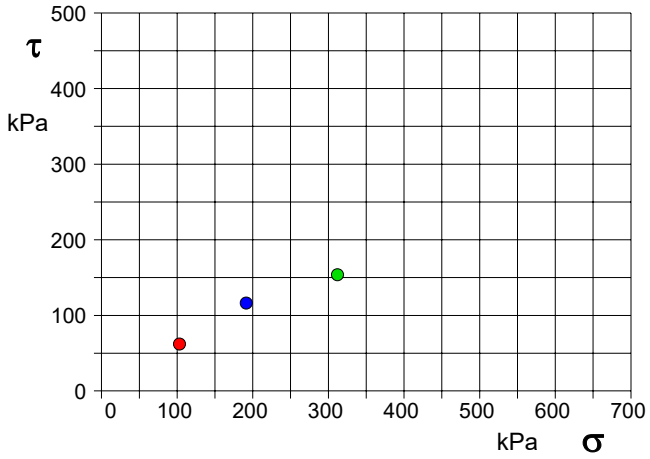
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	62	116	154
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	2,63	1,92	3,03
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,20	0,16	0,39
Umidità iniziale e umidità finale (%):	- - - 21,4	- - - 20,9	- - - 20,0
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	19,8 25,9	19,7 26,0	20,1 26,6

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale



Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0,007 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24

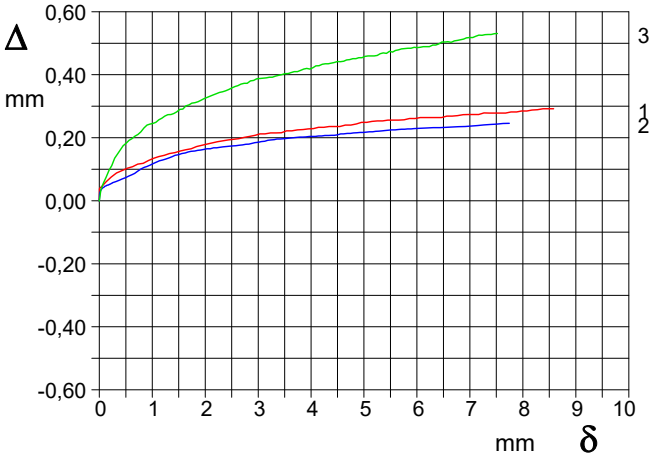


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

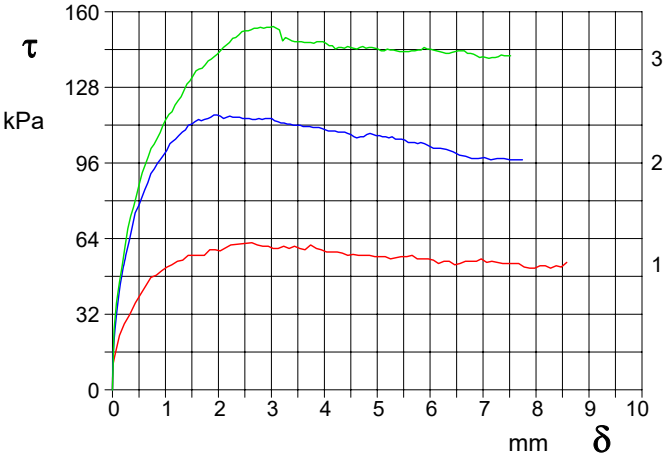


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05453	Pagina 0/4	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi: 31/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23		Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi: 07/11/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 2 R PROFONDITA': m 3.2-3.6

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,002	4,9	0,04	0,005	9,2	0,02	0,029	25,4	0,04
0,132	23,0	0,06	0,047	25,8	0,04	0,183	52,7	0,10
0,430	36,8	0,10	0,105	37,5	0,05	0,342	73,5	0,15
0,726	47,5	0,12	0,174	48,2	0,05	0,504	86,9	0,18
1,030	51,9	0,14	0,216	53,0	0,05	0,673	98,6	0,21
1,325	54,9	0,15	0,250	56,9	0,06	0,843	106,4	0,23
1,634	56,8	0,16	0,429	75,0	0,07	1,009	114,5	0,25
1,941	59,3	0,18	0,610	84,7	0,08	1,181	120,5	0,26
2,432	61,7	0,19	0,788	93,4	0,10	1,352	126,9	0,27
2,838	60,8	0,20	0,963	99,3	0,11	1,520	132,9	0,29
3,129	59,8	0,21	1,136	105,1	0,13	1,692	136,0	0,30
3,436	60,8	0,22	1,317	109,0	0,14	1,864	139,9	0,31
3,741	61,3	0,23	1,496	112,4	0,15	2,038	143,5	0,33
4,044	58,3	0,23	1,679	113,9	0,16	2,210	147,0	0,34
4,342	57,8	0,24	1,858	115,3	0,16	2,386	150,2	0,35
4,647	56,8	0,24	2,037	115,8	0,17	2,563	151,9	0,36
4,953	56,4	0,25	2,214	115,8	0,17	2,736	153,0	0,37
5,250	55,4	0,25	2,400	115,3	0,17	2,914	153,4	0,38
5,558	56,4	0,26	2,579	114,9	0,18	3,093	153,0	0,39
5,861	55,4	0,26	2,767	114,9	0,18	3,269	149,1	0,39
6,159	53,4	0,26	2,936	114,9	0,18	3,444	147,3	0,40
6,463	52,9	0,26	3,127	113,4	0,19	3,622	147,0	0,41
6,767	54,4	0,27	3,303	112,4	0,19	3,802	146,6	0,41
7,067	53,9	0,27	3,490	111,9	0,20	3,975	147,3	0,42
7,369	53,4	0,28	3,669	111,5	0,20	4,153	145,6	0,43
7,673	53,4	0,28	3,846	111,0	0,20	4,323	144,9	0,44
7,976	51,5	0,29	4,024	110,0	0,20	4,497	144,9	0,44
8,276	51,5	0,29	4,202	109,5	0,21	4,672	144,9	0,45
8,580	53,9	0,29	4,387	109,0	0,21	4,845	144,9	0,45
			4,561	107,1	0,21	5,017	144,2	0,46
			4,744	107,1	0,21	5,191	144,2	0,46
			4,925	108,0	0,22	5,365	143,5	0,47
			5,099	107,1	0,22	5,538	143,1	0,47
			5,282	107,1	0,22	5,710	143,5	0,48
			5,461	106,1	0,22	5,885	144,9	0,48
			5,640	104,6	0,23	6,061	143,8	0,49
			5,823	104,6	0,23	6,235	142,8	0,49
			6,063	102,2	0,23	6,412	142,8	0,50
			6,432	100,7	0,23	6,587	143,5	0,51
			6,785	97,8	0,24	6,762	142,4	0,51
			7,147	97,3	0,24	6,937	140,6	0,52
			7,507	97,3	0,24	7,110	140,3	0,52
						7,286	141,0	0,53
						7,460	141,3	0,53

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05453 Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi:	31/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23	Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi:	07/11/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 2 R PROFONDITA': m 3.2-3.6

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	103
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,860
Sezione (cm²):	28,27
T_{50} (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

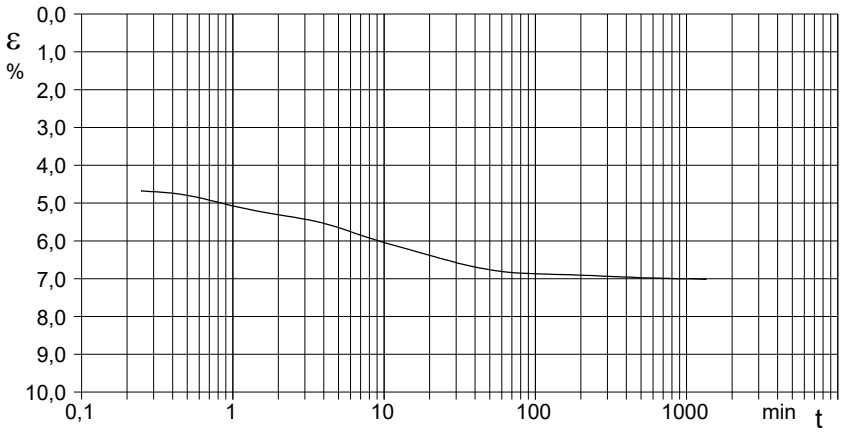


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	191
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,829
Sezione (cm²):	28,27
T_{50} (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

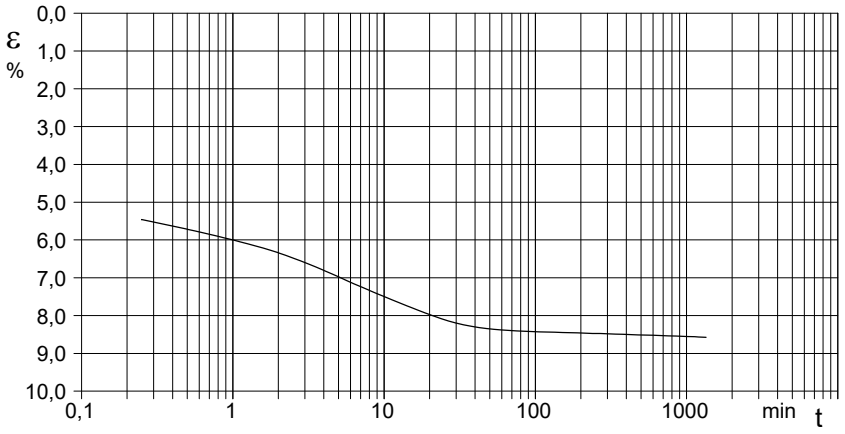
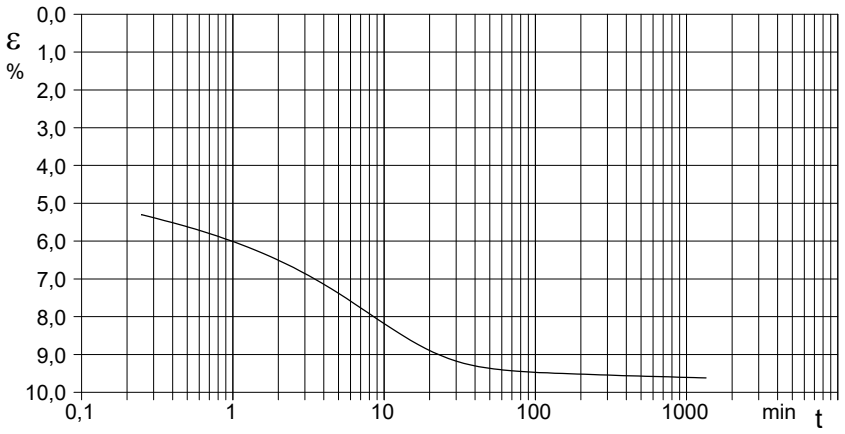


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	312
Altezza iniziale (cm)	2,000
Altezza finale (cm)	1,808
Sezione (cm²):	28,27
T_{50} (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata $tf = 50 \times T_{50}$ Vs = Df / tf

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05453	Pagina 4/4	DATA DI EMISSIONE:	07/11/23	Inizio analisi:	31/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:	445 del 21/09/23	Apertura campione:	19/10/23	Fine analisi:	07/11/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 2 R PROFONDITA': m 3.2-3.6

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Tempo	Cedim.	Cedim.	Tempo	Cedim.	Cedim.	Tempo	Cedim.	Cedim.
minuti	mm/100	%	minuti	mm/100	%	minuti	mm/100	%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	93,60	4,68	0,25	109,20	5,46	0,25	106,00	5,30
0,50	95,90	4,80	0,50	114,30	5,72	0,50	112,40	5,62
1,00	101,50	5,08	1,00	120,00	6,00	1,00	120,20	6,01
2,00	106,20	5,31	2,00	126,80	6,34	2,00	130,10	6,51
4,00	110,70	5,54	4,00	136,10	6,81	4,00	142,80	7,14
8,00	118,50	5,93	8,00	146,70	7,34	8,00	158,40	7,92
15,00	124,80	6,24	15,00	155,60	7,78	15,00	172,50	8,63
30,00	131,50	6,58	30,00	164,00	8,20	30,00	183,50	9,18
60,00	136,20	6,81	60,00	167,60	8,38	60,00	188,10	9,41
120,00	137,60	6,88	120,00	168,70	8,43	120,00	189,70	9,49
240,00	138,40	6,92	240,00	169,40	8,47	240,00	190,60	9,53
480,00	139,40	6,97	480,00	170,20	8,51	480,00	191,40	9,57
900,00	140,00	7,00	900,00	170,90	8,55	900,00	192,00	9,60
1200,00	140,20	7,01	1200,00	171,30	8,57	1200,00	192,30	9,62
1440,00	140,40	7,02	1440,00	171,50	8,58	1440,00	192,40	9,62

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

COMMITTENTE:	GAIA Servizi	
RIFERIMENTO:	Ceparana di Malgarotto - La Spezia	
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 2 R	PROFONDITA': m 3.2-3.6

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

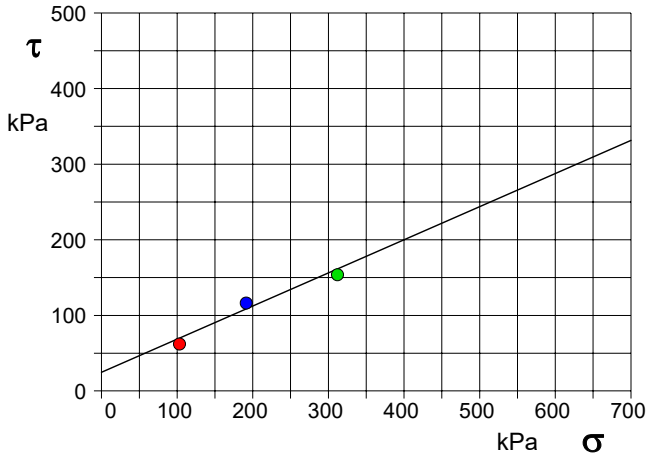
Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	62	116	154
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	2,63	1,92	3,03
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,20	0,16	0,39
Umidità iniziale e umidità finale (%):	- - - 21,4	- - - 20,9	- - - 20,0
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	19,8 25,9	19,7 26,0	20,1 26,6

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale

Coesione:	24,8 kPa
Angolo di attrito interno:	23,6 °

Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0,007 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24



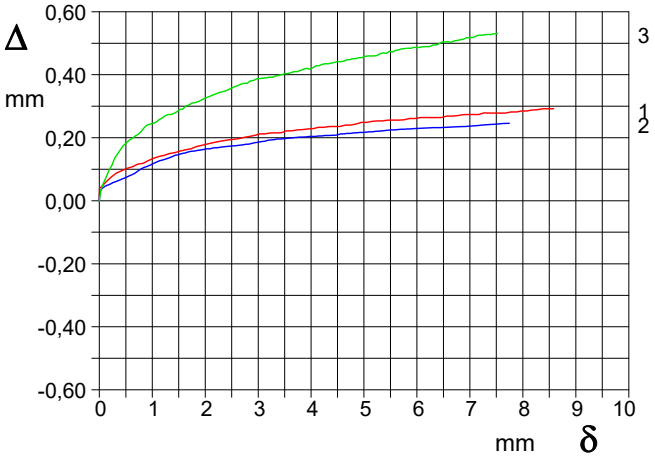


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

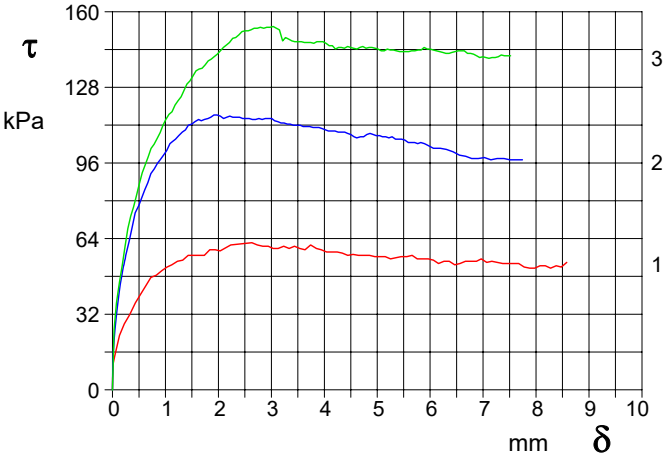


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 4.0-4.3

CARATTERISTICHE FISICHE

Umidità naturale	24,2	%
Peso di volume	19,1	kN/m³
Peso di volume secco	15,4	kN/m³
Peso di volume saturo	19,5	kN/m³
Peso specifico	26,5	kN/m³
Indice dei vuoti	0,718	
Porosità	41,8	%
Grado di saturazione	91,0	%
Limite di liquidità		%
Limite di plasticità		%
Indice di plasticità		%
Indice di consistenza		
Passante al set. n° 40		
Limite di ritiro		%
CNR-UNI 10006/00		

ANALISI GRANULOMETRICA

Ghiaia	0,5	%
Sabbia	25,4	%
Limo	45,8	%
Argilla	28,3	%
D 10	0,000265	mm
D 50	0,009249	mm
D 60	0,018937	mm
D 90	0,420233	mm
Passante set. 10	99,5	%
Passante set. 42	90,0	%
Passante set. 200	76,9	%

PERMEABILITA'

Coefficiente k	cm/sec

COMPRESSIONE

σ	kPa
c_u	kPa
σ_{Rim}	kPa
$c_{u\ Rim}$	kPa

TAGLIO DIRETTO

Prova consolidata-lenta

c'	25,1	kPa
ϕ'	26,1	°
c'_{Res}		kPa
ϕ'_{Res}		°

COMPRESSIONE TRIASSIALE

C.D.	c_d	kPa	ϕ_d	°
C.U.	c'_{cu}	kPa	ϕ'_{cu}	°
	c_{cu}	kPa	ϕ_{cu}	°
U.U.	c_u	kPa	ϕ_u	°

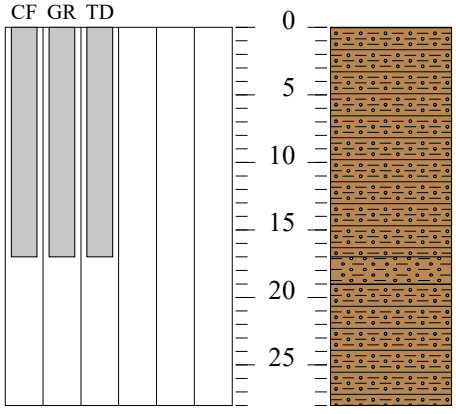
PROVA EDOMETRICA

σ kPa	E kPa	Cv cm²/sec	k cm/sec

FOTOGRAFIA

OSSERVAZIONI

Tipo di campione: Cilindrico Qualità del campione: Q 5



Rp kPa	VT kPa
400	
300	

cm	DESCRIZIONE DEL CAMPIONE
	Limo con argilla e sabbia
	Sabbia limosa con ossidazione
	Limo con argilla e sabbia, con rare concrezioni di manganese e tracce torbose MUNSELL SOIL COLOR: 10YR 6/6 Brownish yellow
17	Classificazione del terreno in base alla resistenza al pocket penetrometer e vane test
19	24.5 - 49.1 kPa molle 49.1 - 98.1 kPa plastico 98.1 - 196.2 kPa consistente 196.2 - 392.4 kPa molto consistente
28	>392,4 kPa duro

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05454 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi:	19/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23	Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi:	20/10/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 4.0-4.3

CONTENUTO D'ACQUA ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma ASTM D 2216-10

Wn = contenuto d'acqua allo stato naturale = 24,2 %

Struttura del materiale:
- ☐ Omogeneo
- ☑ Stratificato
- ☐ Caotico

Temperatura di essiccazione: 110 °C

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05455 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi:	19/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23	Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi:	19/10/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 4.0-4.3

PESO DI VOLUME ALLO STATO NATURALE

Modalità di prova: Norma BS 1377 T 15/E

Determinazione eseguita mediante fustella tarata

Peso di volume allo stato naturale = 19,1 kN/m³

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05456 Pagina 1/1	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi:	20/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23	Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi:	25/10/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

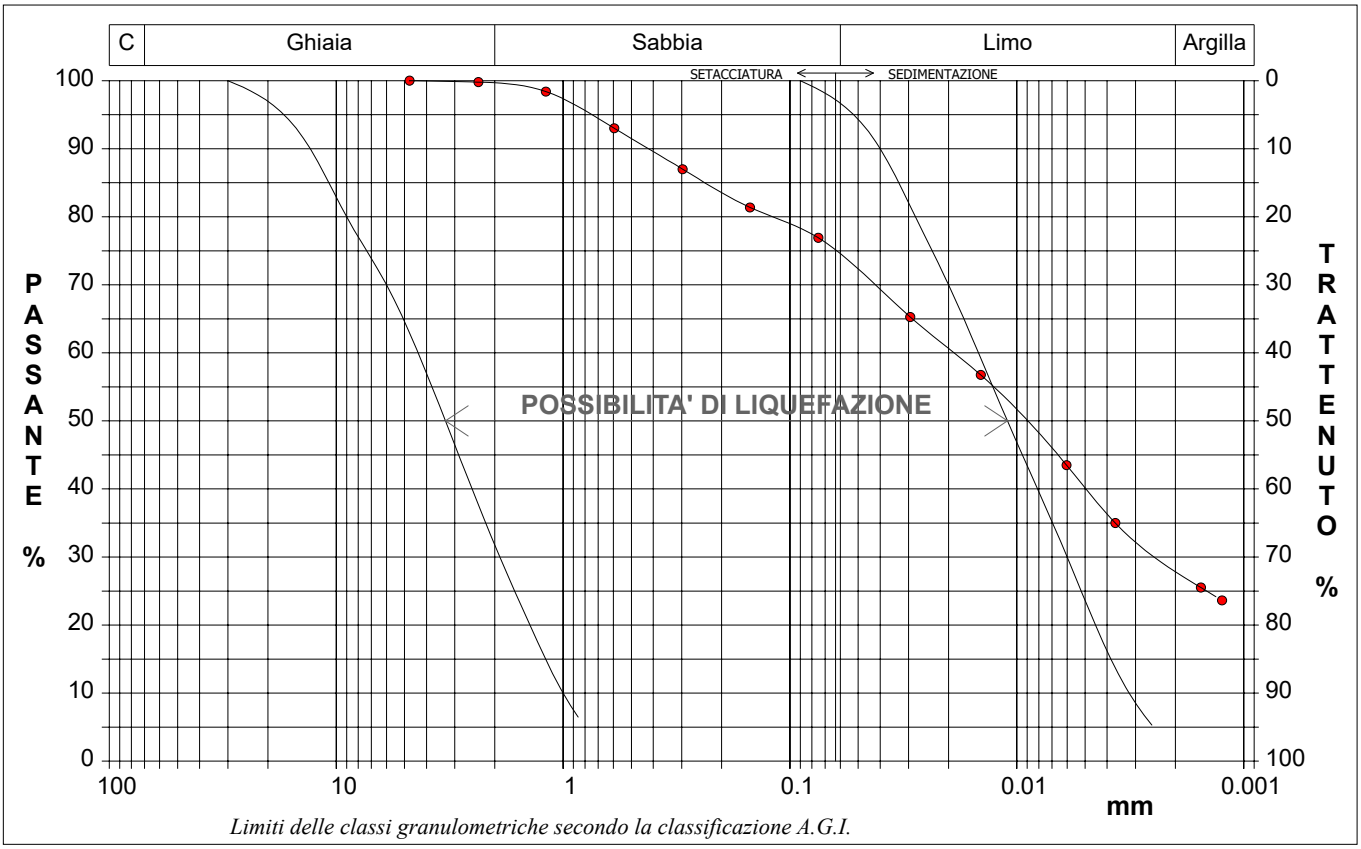
RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 4.0-4.3

ANALISI GRANULOMETRICA

Modalità di prova: Norma A.G.I. 1977

Ghiaia	0,5 %	Passante setaccio 10 (2 mm)	99,5 %	D_{10}	0,00026 mm
Sabbia	25,4 %	Passante setaccio 40 (0.42 mm)	90,0 %	D_{30}	0,00233 mm
Limo	45,8 %	Passante setaccio 200 (0.075 mm)	76,9 %	D_{50}	0,00925 mm
Argilla	28,3 %			D_{60}	0,01894 mm
Coefficiente di uniformità	71,53	Coefficiente di curvatura	1,08	D_{90}	0,42023 mm



Limiti delle classi granulometriche secondo la classificazione A.G.I.

Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %	Diametro mm	Passante %
4,7500	100,00	0,1500	81,37	0,0037	34,99				
2,3600	99,79	0,0750	76,91	0,0015	25,52				
1,1900	98,40	0,0295	65,28	0,0012	23,63				
0,5950	93,01	0,0144	56,76					Setacci	6
0,2970	87,00	0,0060	43,51					Punti sediment.	6

Lo sperimentatore
Dott. Geol. Chiara Colarusso

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05457 Pagina 1/4	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi:	31/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23	Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi:	06/11/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 4.0-4.3

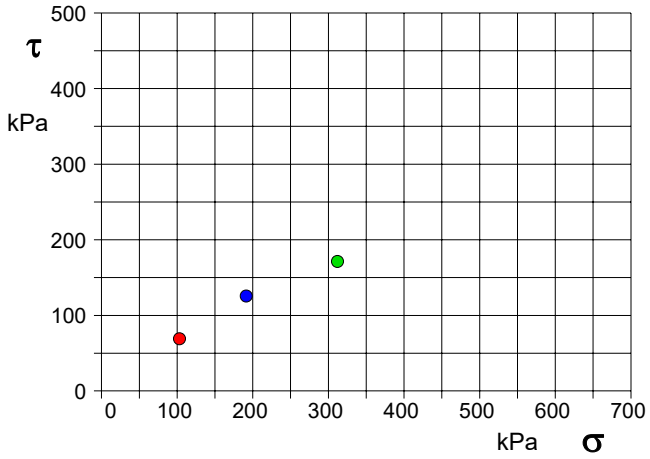
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	69	125	171
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	1,79	3,88	3,72
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,14	0,36	0,45
Umidità iniziale e umidità finale (%):	- - - 26,8	- - - 25,1	- - - 26,2
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	19,0 24,1	19,1 23,9	19,3 27,0

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale



Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0,007 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24

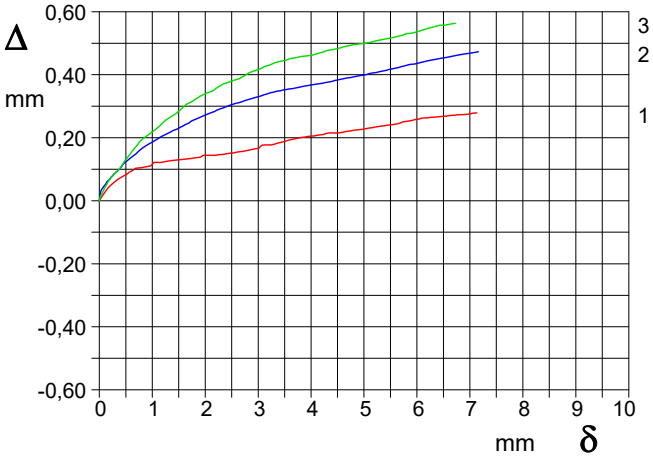


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

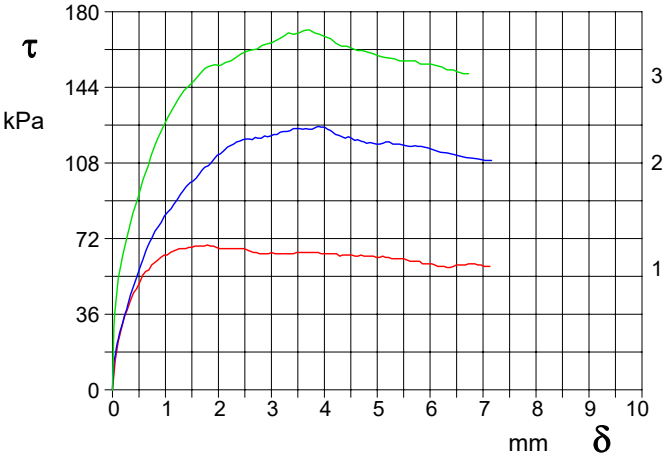


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05457	Pagina 0/4	DATA DI EMISSIONE: 07/11/23	Inizio analisi: 31/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23		Apertura campione: 19/10/23	Fine analisi: 06/11/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 4.0-4.3

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm	Spostam. mm	Tensione kPa	Deform. vert. mm
0,052	14,4	0,02	0,020	11,0	0,03	0,025	30,0	0,02
0,226	34,8	0,05	0,072	19,8	0,04	0,107	53,0	0,04
0,398	46,2	0,07	0,129	26,5	0,06	0,292	74,6	0,09
0,569	54,6	0,09	0,198	32,5	0,07	0,484	91,5	0,13
0,740	59,4	0,10	0,250	37,1	0,08	0,627	103,5	0,16
0,913	63,0	0,11	0,283	39,9	0,09	0,724	111,0	0,18
1,093	65,4	0,12	0,459	53,7	0,12	0,817	117,3	0,20
1,263	67,2	0,13	0,635	66,4	0,14	0,955	125,1	0,21
1,440	67,8	0,13	0,803	75,6	0,17	1,149	134,3	0,24
1,615	68,4	0,13	0,979	82,7	0,18	1,347	142,4	0,27
1,791	69,0	0,14	1,159	88,3	0,20	1,549	147,3	0,29
1,963	67,8	0,14	1,342	95,1	0,22	1,743	153,0	0,31
2,135	67,2	0,14	1,517	99,3	0,23	1,929	154,8	0,33
2,311	67,2	0,15	1,694	104,6	0,25	2,135	155,8	0,35
2,486	67,2	0,15	1,865	108,1	0,26	2,338	158,3	0,37
2,662	65,4	0,16	2,040	112,4	0,28	2,535	161,1	0,38
2,835	64,8	0,16	2,225	116,3	0,29	2,730	162,2	0,40
3,007	65,4	0,17	2,405	118,4	0,30	2,919	164,7	0,41
3,184	64,8	0,18	2,578	119,4	0,31	3,125	166,8	0,43
3,357	64,8	0,18	2,749	119,8	0,32	3,322	170,0	0,44
3,531	65,4	0,19	2,931	120,5	0,33	3,522	170,0	0,45
3,706	65,4	0,20	3,106	121,6	0,34	3,716	171,4	0,45
3,885	65,4	0,20	3,295	123,0	0,35	3,910	169,3	0,46
4,056	64,8	0,21	3,479	124,4	0,35	4,116	167,1	0,47
4,232	64,8	0,21	3,653	124,4	0,36	4,325	163,6	0,48
4,408	64,2	0,22	3,825	124,7	0,36	4,526	162,5	0,48
4,582	63,6	0,22	4,006	125,1	0,37	4,718	161,5	0,49
4,751	63,6	0,22	4,214	121,6	0,37	4,924	160,1	0,50
4,928	63,6	0,23	4,396	119,8	0,38	5,118	158,3	0,50
5,103	63,6	0,23	4,576	118,7	0,39	5,324	157,6	0,51
5,275	62,4	0,24	4,749	118,0	0,39	5,525	156,5	0,52
5,451	62,4	0,24	4,926	117,3	0,40	5,719	156,5	0,53
5,621	61,2	0,24	5,108	117,3	0,40	5,914	155,1	0,53
5,800	61,2	0,25	5,297	117,0	0,41	6,114	154,4	0,54
5,972	60,0	0,26	5,479	116,6	0,42	6,323	152,3	0,55
6,144	58,8	0,26	5,657	115,9	0,42	6,531	151,2	0,56
6,319	58,2	0,27	5,828	115,9	0,43	6,725	150,5	0,56
6,496	59,4	0,27	6,074	114,1	0,44			
6,668	59,4	0,27	6,447	112,0	0,45			
6,843	60,0	0,27	6,802	110,2	0,46			
7,018	58,8	0,28	7,158	109,2	0,47			

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05457	Pagina 3/4	DATA DI EMISSIONE:	07/11/23	Inizio analisi:	31/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°: 445 del 21/09/23		Apertura campione:	19/10/23	Fine analisi:	06/11/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 4.0-4.3

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 1	
Pressione (kPa)	103
Altezza iniziale (cm)	2,500
Altezza finale (cm)	2,449
Sezione (cm²):	28,27
T_{50} (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

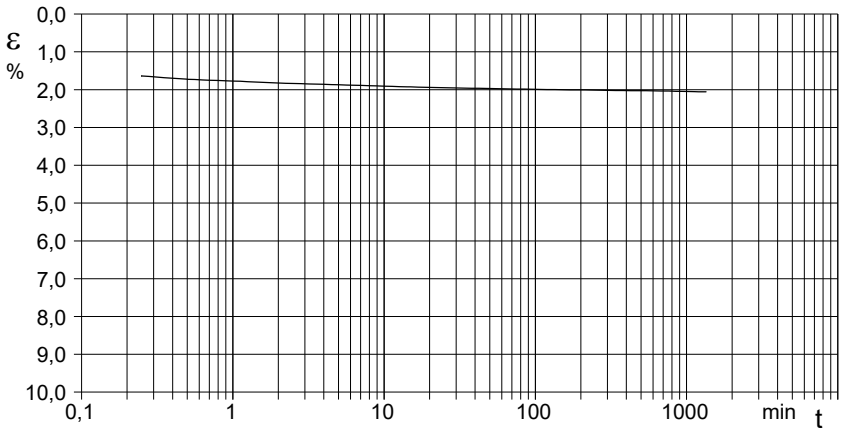


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 2	
Pressione (kPa)	191
Altezza iniziale (cm)	2,500
Altezza finale (cm)	2,392
Sezione (cm²):	28,27
T_{50} (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000

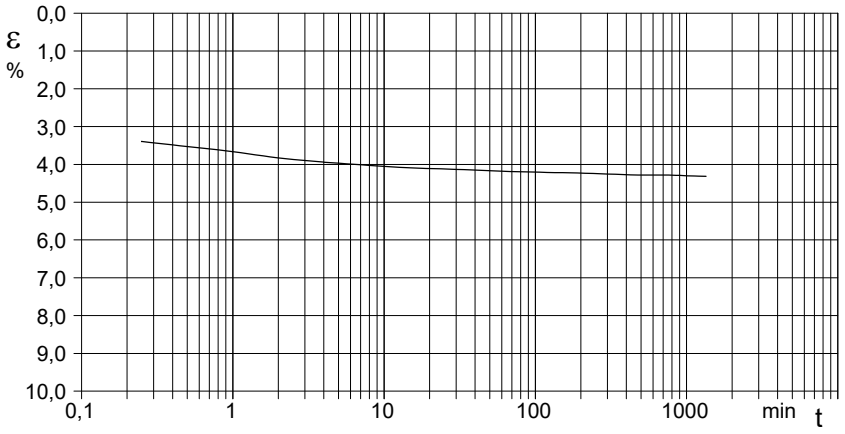
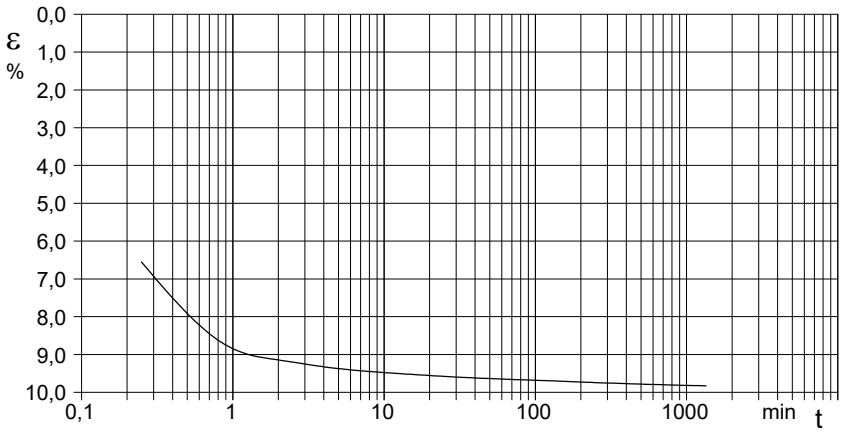


Diagramma
TEMPO - CEDIMENTO

PROVINO 3	
Pressione (kPa)	312
Altezza iniziale (cm)	2,500
Altezza finale (cm)	2,254
Sezione (cm²):	28,27
T_{50} (min)	0,0
Df (mm)	7
Vs (mm/min)	0,000



Vs = Velocità stimata di prova Df = Deformazione a rottura stimata $tf = 50 \times T_{50}$ Vs = Df / tf

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

LABOTER S.r.l.
Via Nazario Sauro n.440
51100 Pistoia
Tel. 0573 570566
e-mail: laboter@laboterpt.it

DNV Business Assurance
Certificato N° 111177-2012-AQ-ITA-ACCREDIA
UNI EN ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015)
Prove Geotecniche di Laboratorio su terre (Settore EA : 35)

Autorizzazione del MINISTERO DELLE INFRASTRUTTURE E DEI TRASPORTI
Settore A - Prove di Laboratorio su terre
Decreto 2436 del 14/03/2013 - Art. 59 DPR 380/2001 - Circolare 7618/STC 2010

CERTIFICATO DI PROVA N°: 05457	Pagina 4/4	DATA DI EMISSIONE:	07/11/23	Inizio analisi:	31/10/23
VERBALE DI ACCETTAZIONE N°:	445 del 21/09/23	Apertura campione:	19/10/23	Fine analisi:	06/11/23

COMMITTENTE: GAIA Servizi

RIFERIMENTO: Ceparana di Malgarotto - La Spezia

SONDAGGIO: 1 CAMPIONE: 3 PROFONDITA': m 4.0-4.3

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - FASE DI CONSOLIDAZIONE

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Tempo	Cedim.	Cedim.	Tempo	Cedim.	Cedim.	Tempo	Cedim.	Cedim.
minuti	mm/100	%	minuti	mm/100	%	minuti	mm/100	%
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,25	40,90	1,64	0,25	84,90	3,40	0,25	164,00	6,56
0,50	43,10	1,72	0,50	88,20	3,53	0,50	197,90	7,92
1,00	44,30	1,77	1,00	91,60	3,66	1,00	221,20	8,85
2,00	45,60	1,82	2,00	95,70	3,83	2,00	228,60	9,14
4,00	46,50	1,86	4,00	98,50	3,94	4,00	233,10	9,32
8,00	47,40	1,90	8,00	100,70	4,03	8,00	236,20	9,45
15,00	48,20	1,93	15,00	102,30	4,09	15,00	238,10	9,52
30,00	48,90	1,96	30,00	103,30	4,13	30,00	239,90	9,60
60,00	49,40	1,98	60,00	104,50	4,18	60,00	241,20	9,65
120,00	49,90	2,00	120,00	105,30	4,21	120,00	242,30	9,69
240,00	50,30	2,01	240,00	106,00	4,24	240,00	243,50	9,74
480,00	50,70	2,03	480,00	107,00	4,28	480,00	244,50	9,78
900,00	51,10	2,04	900,00	107,30	4,29	900,00	245,30	9,81
1200,00	51,40	2,06	1200,00	107,80	4,31	1200,00	245,60	9,82
1440,00	51,40	2,06	1440,00	107,90	4,32	1440,00	245,80	9,83

Lo sperimentatore
Dott. Geologo Paolo Tognelli

Il direttore del laboratorio
Dott. Geologo Paolo Tognelli

COMMITTENTE:	GAIA Servizi	
RIFERIMENTO:	Ceparana di Malgarotto - La Spezia	
SONDAGGIO: 1	CAMPIONE: 3	PROFONDITA': m 4.0-4.3

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Modalità di prova: Norma ASTM D 3080-04

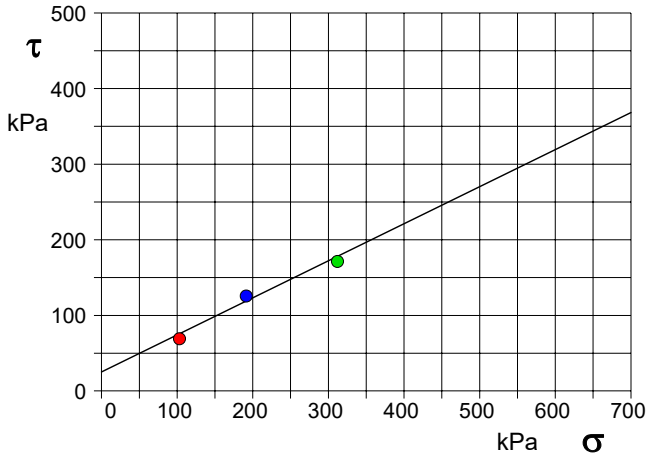
Provino n°:	1	2	3
Condizione del provino:	Indisturbato	Indisturbato	Indisturbato
Pressione verticale (kPa):	103	191	312
Tensione a rottura (kPa):	69	125	171
Deformazione orizzontale a rottura (mm):	1,79	3,88	3,72
Deformazione verticale a rottura (mm):	0,14	0,36	0,45
Umidità iniziale e umidità finale (%):	- - - 26,8	- - - 25,1	- - - 26,2
Peso di volume iniziale e finale (kN/m³):	19,0 24,1	19,1 23,9	19,3 27,0

DIAGRAMMA

Tensione - Pressione verticale

Coesione:	25,1 kPa
Angolo di attrito interno:	26,1 °

Tipo di prova:	Consolidata - lenta
Velocità di deformazione:	0,007 mm / min
Tempo di consolidazione (ore):	24



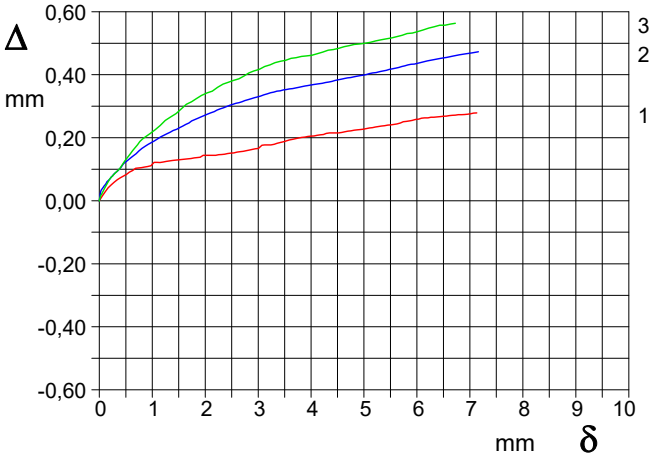


DIAGRAMMA Deform. vert. - Deform. orizz.

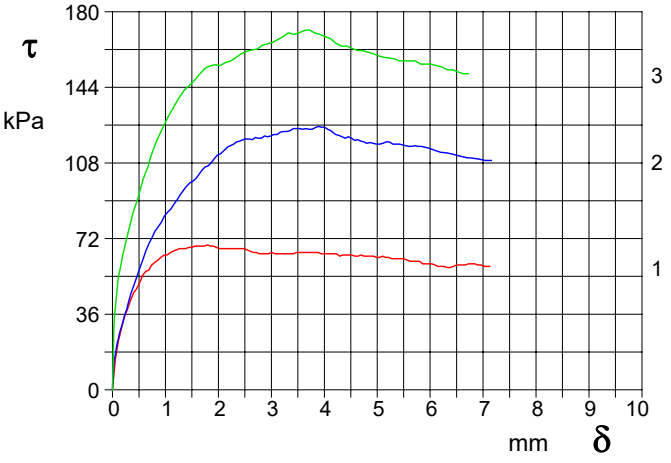


DIAGRAMMA Tensione - Deformaz. orizz.