PROVINCIA DI PERUGIA

SERVIZIO EDILIZIA SCOLASTICA E PROGRAMMAZIONE RETE SCOLASTICA
Ufficio Progettazione Edile e Impiantistica

Comune di ubicazione

Comune di PERUGIA

SERVIZIO EDILIZIA SCOLASTICA PROGRAMMAZIONE RETE SCOLASTICA

Titolo Progetto

REALIZZAZIONE NUOVO EDIFICIO SCOLASTICO NELLA CITTA' DI PERUGIA
I STRALCIO
Finanziamento MUTUI BEI 2018. Importo € 4.000.000,00

-	Fase Progettuale **PROGETTO DEFINITIVO**		Data: APRILE 2021
	Rif. Elaborato **RELAZIONE GEOLOGICA**		Rev. 01 del
			Rev. 02 del
N° Archivio **135**	Stato **STATO DI PROGETTO**	Scala	Rev. 03 del
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: ing. Giampiero Bondi			Rev. 04 del

NUCLEO DI PROGETTAZIONE

COORDINATORE ALLA PROGETTAZIONE: Ing. Daniela Cecchini

PROGETTAZIONE ARCHITETTONICA Arch. Fabio Castellani Arch. Stefano Berretta	**PROGETTAZIONE E STIMA IMPIANTI** FLUPROJECT SRL	**STIMA DEI LAVORI** Geom. Auditore Concetto
PROGETTAZIONE STRUTTURALE Ing. Daniela Cecchini Ing. Irene Boncompagni Ing. Milena Scorteccia	**PROGETTAZIONE ANTINCENDIO** FLUPROJECT SRL Ing. Michele Bartoccini	**RILIEVI TOPOGRAFICI** geom. Stefano Passeri geom. Stefano Santioni
ASSISTENZA AL R.U.P. Geom. Auditore Concetto Geom. Giovanni Benedetti	**GRAFICA** Arch. Fabio Castellani Arch. Stefano Berretta	**STUDIO GEOLOGICO** Dott. Alfredo Cioli Dott. Diego Vantaggi

UFFICIO DIREZIONE LAVORI

ASSISTENZA ALLA DIREZIONE LAVORI --	**CONTABILIZZAZIONE OPERE EDILI**	**CONTABILIZZAZIONE IMPIANTI** --
COLLAUDATORE STATICO: -		

IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Giampiero Bondi

IL COORDINATORE ALLA PROGETTAZIONE
Ing. Daniela Cecchini

IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROG. ESEC.
Ing. Stefano Brughini

IL DIRETTORE DEI LAVORI
-

1 - PREMESSA

La presente relazione illustra i risultati dello studio geologico effettuato nell'ambito del progetto per la *REALIZZAZIONE NUOVO EDIFICIO SCOLASTICO NELLA CITTA' DI PERUGIA – 1° STRALCIO (FINANZIAMENTO MUTUI B.E.I. 2018).*

Il nuovo fabbricato sarà realizzato su di un'area posta nel comune di Perugia, in loc. Pian di Massiano (Viale Centova).

La presente indagine, redatta in conformità alle normative vigenti (D.M. Infrastrutture 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni e s.m.i., D.G.R. 298/2018, D.G.R. 764/2018, D.G.R. 1163/2019, L.R. 1/2015) si è sviluppata secondo le seguenti fasi operative:

- acquisizione dei dati geologici e geomorfologici desunti dalla cartografia geologica ufficiale;
- rilevamento geologico-geomorfologico di superficie dell'area in esame e delle zone limitrofe;
- ricostruzione delle condizioni litostratigrafiche locali di riferimento e di un modello geotecnico semplificato;
- parametrizzazione meccanica dei terreni fondali (valori caratteristici);
- definizione dei specifici parametri sismici relativi al sito in esame (D.M. 17/01/2018).

2 – ALLEGATI

In allegato alla presente relazione si riportano i seguenti elaborati:

- Corografia topografica, in scala 1:25.000;
- Estratto P.R.G.: "Carta Geologica" (Comune di Perugia), in scala 1:10.000;
- Estratto P.R.G.: "Carta Inventario dei Movimenti Franosi" (Comune di Perugia), in scala 1:10.000;
- Estratto P.R.G.: "Carta del Rischio Idraulico" (Comune di Perugia), in scala 1:10.000;
- Estratto P.R.G. (Parte Strutturale): Allegato A4_1 - Rischio Ambientale (Comune di Perugia);
- Estratto Geoportale Nazionale – Pericolosità Idrogeologica (Ministero dell'Ambiente).
- Vista Satellitare (con ubicazione indagini esistenti);
- Vista Satellitare (con ubicazione indagini effettuate), in scala 1:1.000;
- Dati geologici esistenti: *"Stratigrafia dei n° 3 sondaggi geognostici (S1, S2, S3)", "Stratigrafia dei n° 7 sondaggi geognostici (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S8)", "Elaborati della prova penetrometrica CPT (P)";*
- Relazione sulle indagini geognostiche-geofisiche, prove di laboratorio e documentazione fotografica;
- Estratto: "LA MICROZONAZIONE SISMICA DELLA CITTA' DI PERUGIA" (REGIONE UMBRIA – COMUNE DI PERUGIA);
- Relazione di Analisi Risposta Sismica Locale (R.S.L.);
- Relazione di verifica del potenziale di liquefazione.

3 - UBICAZIONE DELL'AREA

L'area in esame è compresa nel territorio comunale di Perugia, in località Pian di Massiano – Viale Centova, nelle immediate vicinanze dell'Istituto Scolastico I.T.E.T. Aldo Capitini.

Dal punto di vista cartografico il sito progettuale ricade nella Tavoletta I.G.M. "PERUGIA" II N.E. del foglio n. 122 della Carta d'Italia (vedi "corografia topografica").

4 – ANALISI DEL RISCHIO AMBIENTALE E IDROGEOLOGICO

In allegato al presente studio si riportano i seguenti elaborati cartografici relativi al rischio ambientale e idrogeologico:

- Estratto P.R.G. (Parte Strutturale): Carta del Rischio Idraulico (Comune di Perugia);
- Estratto P.R.G. (Parte Strutturale): Carta Inventario dei movimenti franosi (Comune di Perugia);
- Estratto P.R.G. (Parte Strutturale): Allegato A4_1 - Rischio Ambientale (Comune di Perugia);
- Estratto Geoportale Nazionale: Catalogo Frane (Ministero dell'Ambiente).

Dall'analisi ed osservazione delle stesse, relativamente alla proprietà indagata, si evidenzia quanto segue:

- non sono presenti fenomeni franosi in atto o quiescenti;
- non è compresa all'interno della fascia di territorio soggetta a fenomeni di alluvionamento;
- l'area non risulta sottoposta a vincolo idrogeologico (R.D. 30/12/1923 n° 3267).

5 – CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE

L'area in esame si colloca nell'ambito della pianura alluvionale del torrente Genna, in sinistra idrografica, al piede dei rilievi collinari che bordano verso sud ÷ sud-est il bacino sedimentario di Pian di Massiano.

Tale pianura rappresenta una valle a fondo piatto, generata dal colmamento di una depressione tettonica (graben) da parte dei sedimenti clastici originatisi dal disfacimento dei rilievi circostanti.

La quota topografica di riferimento è variabile tra circa 266 - 270 m s.l.m., ed è rialzata di pochi metri rispetto all'attuale alveo di scorrimento del torrente Genna.

La zona oggetto d'intervento s'inserisce nella fascia pedecollinare di raccordo con la sottostante pianura alluvionale, su di un'ampia superficie caratterizzata da modestissimi valori di pendenza (inferiore al 10%), degradante verso l'alveo del corso d'acqua predetto.

Dal punto di vista della stabilità dei versanti, non si segnalano evidenze morfologiche imputabili a fenomeni di dissesto in atto o di recente evoluzione.

Dal punto di vista morfologico, nella porzione di valle del lotto si segnala la presenza di un rilevato di origine antropica, dell'altezza di circa 1,5 - 2,0 m, realizzato dal comune di Perugia nell'ambito di un'intervento di sistemazione morfologica del lotto in esame.

In affioramento sono stati rilevati i tipi litologici prevalentemente limoso-argillosi con deboli intercalazioni limoso-sabbiose, riferibili al Sintema di Perugia, sedimentati in ambiente fluvio-deltizio durante il Pleistocene inferiore.
Tali depositi sono caratterizzati da un sostanziale diversità di composizione, da ricondurre alla specifica facies di sedimentazione.
I risultati delle indagini geognostiche hanno fornito utili indicazioni sui rapporti geologico-stratigrafici e sullo spessore dei diversi tipi litologici rilevati (dati geologici esistenti).
Sulla base di tali informazioni risulta che in corrispondenza dell'area di sedime dell'opera in progetto sono presenti i sedimenti continentali fluvio-lacustri plio-pleistocenici che ricoprono il sottostante bedrock miocenico rappresentato dalla formazione Marnoso–Arenacea.
La rappresentazione delle caratteristiche geologiche rilevate è riportata nell'allegata "carta geologica".

6 – CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE E VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

La principale asta fluviale dell'area indagata è rappresentata dal torrente Genna, che scorre ad una distanza di circa 300 m in direzione ovest, ad una quota ribassata di almeno 2,0 metri rispetto al sito d'interesse.
In virtù della posizione morfologica favorevole, si considera la zona in esame al di fuori della fascia di territorio soggetta a rischi indotti da fenomeni di alluvionamento.
Il Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico - "Fasce e Rischio Idraulico sul reticolo secondario e minore" ed il P.R.G. (Parte Strutturale) - Allegato A4_1 - Rischio Ambientale (Comune di Perugia), pongono l'area investigata al di fuori della fascia di territorio soggetta a rischi indotti da fenomeni d'alluvionamento.
Le acque di precipitazione meteorica provenienti dalla copertura del fabbricato in progetto e dalle aree esterne pavimentate, saranno opportunamente raccolte e successivamente recapitate alla rete fognaria comunale.
In linea generale, i depositi fluvio-lacustri presentano condizioni notevolmente variabili all'interno del deposito, con coefficienti di permeabilità molto bassi per la frazione limoso-argillosa, ed elevati per quella sabbioso-conglomeratica, rendendo quindi le modalità di circolazione idrica alquanto diversificate.
L'esame dei luoghi, nella parte più depressa del lotto, nel periodo d'osservazione ha evidenziato la presenza di modesti ristagni superficiali (dicembre 2020 – marzo 2021).
Nel caso specifico la situazione idrogeologica di dettaglio è stata ricostruita sulla base dei dati desunti dall'esecuzione del sondaggio geognostico S3, tramite l'installazione di un piezometro a tubo aperto; nel periodo d'osservazione (dicembre 2020 – marzo 2021) sono state effettuate varie misure piezometriche, dalle quali risulta che il livello statico della falda si attesta all'incirca in prossimità del piano campagna attuale.

7 – CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE DI DETTAGLIO

Le condizioni litostratigrafiche locali sono state ricostruite, con sufficiente dettaglio, attraverso:

- l'esecuzione di n° 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1, S2, S3), realizzati in corrispondenza dell'area indagata, spinti fino alla profondità di circa 15,0 m dal p.c.. Il dettaglio di tale indagine è consultabile in allegato al presente lavoro. Per l'ubicazione esatta vedi l'allegato: "vista satellitare";
- l'esecuzione di n° 3 prove penetrometriche statiche di tipo CPT (P1, P2, P3) spinte fino alla profondità massima di circa 10,2 m dal p.c... Il dettaglio di tale indagine è consultabile in allegato al presente studio. Per l'ubicazione esatta vedi l'allegato: "vista satellitare";
- l'esecuzione di una campagna geofisica combinata per la caratterizzazione sismica del sito, realizzata in corrispondenza dell'area indagata, costituita da n° 1 prospezione sismica di tipo M.A.S.W., n° 1 prospezione sismica a rifrazione in onde SH, n° 2 prospezioni sismiche passive di tipo H.V.S.R.. Il dettaglio di tale indagine è consultabile in allegato al presente lavoro. Per l'ubicazione esatta vedi l'allegato: "vista satellitare".
- la correlazione con i dati desunti dall'esecuzione di n° 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1, S2, S3), realizzati in corrispondenza dell'area di sedime dell'adiacente I.T.E.T. A.Capitini, la cui stratigrafia è riportata in allegato. Per l'ubicazione esatta vedi l'allegato "vista satellitare" (dati geologici esistenti);
- la correlazione con i dati desunti dall'esecuzione di n° 7 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S8), di cui si è presa visione sul portale web della Regione Umbria – Area Paesaggio Territorio, Urbanistica (*banca dati delle indagini geognostiche e geofisiche per Google Earth*), realizzati nei pressi dell'area in esame, la cui stratigrafia è riportata in allegato. Per l'ubicazione esatta vedi l'allegato "vista satellitare" (dati geologici esistenti);
- la correlazione con i dati desunti dall'esecuzione di n° 1 prova penetrometrica statica (P), realizzata nei pressi dell'area in esame, i cui tabulati sono stati forniti dal Comune di Perugia e riportati in allegato. Per l'ubicazione esatta vedi l'allegato "vista satellitare" (dati geologici esistenti).

Sulla base di tali dati si ricostruisce la seguente schematizzazione litostratigrafica di riferimento:

- **da 0.0 m fino a circa 0.4 – 0.7 m dal p.c.:** terreno vegetale;
- **da circa 0.4 – 0.7 m fino a circa 15.0 m dal p.c.:** argille limose nettamente prevalenti con sporadiche intercalazioni di lenti e/o livelli sabbioso-limosi (sabbia fine), presenti in particolare nei sondaggi S2 (a profondità compresa tra 11,8 e 13,0 m) ed in S3 (a profondità compresa tra 11,4 e 13,8 m);

<u>Dall'analisi dell'insieme dei dati geologici disponibili, si segnala un approfondimento del substrato litico marnoso-arenaceo in direzione dell'alveo del torrente Genna, con spessori di copertura (sedimenti plio-pleistocenici) che all'interno del lotto variano tra circa 6,0 m (porzione di monte del lotto) ad oltre 17,0 m (porzione di valle).</u>

8 – MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO

La caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni di fondazione è stata effettuata sulla base dei dati estrapolati dall'esecuzione dei n° 3 sondaggi geognostici a carotaggio continuo (S1, S2, S3) spinti fino alla profondità di circa 15,0 m dal p.c. e delle n° 3 prove penetrometriche statiche (CPT1, CPT2, CPT3) spinte fino alla profondità massima di circa 10,2 m dal p.c., realizzati in corrispondenza del sito indagato, nonché per correlazione con i dati desunti dall'esecuzione di n° 10 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, realizzati nei pressi dell'area in esame, la cui stratigrafia è riportata in allegato (dati geologici esistenti).
Al fine di valutare con esauriente dettaglio le caratteristiche geotecniche dei terreni in posto, sono state eseguite le seguenti indagini in sito e in laboratorio, effettuate nell'ambito della campagna geognostica di indagini dirette (sondaggi geognostici a carotaggio continuo e prove penetrometriche statiche), il cui dettaglio è consultabile in allegato:

- <u>PROVE PENETROMETRICHE IN FORO DI SONDAGGIO - SPT</u>

Durante la campagna geognostica sono state eseguite n° 8 prove in foro SPT (Standard Penetration Test) eseguite secondo quanto stabilito dalle norme A.G.I..
Le prove sono state così distribuite:

SONDAGGIO S1
- A 2,55 m dal p.c. (Argilla limosa)……...…….…….....N_{SPT} = 23
- A 6,0 m dal p.c. (Argilla limosa)……...…….……..…....N_{SPT} = 27
- A 11,0 m dal p.c. (Argilla limosa)……...…….…….....N_{SPT} = 25

SONDAGGIO S2
- A 2,55 m dal p.c. (Argilla limosa)….……...…….…….....N_{SPT} = 16
- A 6,55 m dal p.c. (Argilla limosa)……...…….…….....N_{SPT} = 26
- A 9,0 m dal p.c. (Argilla limosa)……...…….…….....N_{SPT} = 44

SONDAGGIO S3
- A 3,0 m dal p.c. (Argilla limosa)….……...…….…….....N_{SPT} = 24
- A 8,00 m dal p.c. (Argilla limosa)……...…….…….....N_{SPT} = 18

Dall'analisi dei risultati ottenuti dalle prove è possibile desumere, per correlazione in base alle seguenti tabelle, i principali parametri meccanici del terreno valutati in base al valore di Nspt.

	Stato di addensamento	D_R (%)	N_{SPT} (colpi/30 cm)	q_c (MPa)
Terre a grana grossa (sabbie)	molto sciolto	0÷15	0÷4	<2
	sciolto	15÷35	4÷10	2÷4
	med. denso	35÷65	10÷30	4÷12
	denso	65÷85	30÷50	12÷20
	molto denso	85÷100	>50	>20
Terre a grana fine (argille)	**Consistenza**	**IC**	**N_{SPT} (colpi/30 cm)**	**q_c (MPa)**
	nulla	<0.5	<2	<0.5
	poco consistente	0.5÷0.75	2÷8	0.5÷1.5
	med. consistente	0.75÷1.0	8÷15	1.5÷3.0
	molto consistente	1.0÷1.5	15÷30	3.0÷6.0
	estr. consistente	>1.5	>30	>6.0

Tab. 8.4 Densità e consistenza vs. N_{SPT} e q_c (da Kulhawy, Mayne, 1990)

	D_R (%)	N_{SPT} (colpi/30 cm)	q_c (MPa)	ϕ'(°)	ϕ'(°)
Terre a grana grossa (sabbie)	0÷15	0÷4	<2	<28	<30
	15÷35	4÷10	2÷4	28÷30	30÷35
	35÷65	10÷30	4÷12	30÷36	35÷40
	65÷85	30÷50	12÷20	36÷41	40÷45
	85÷100	>50	>20	>41	>45
				(Peck et al. 1974)	(Meyerhof, 1956)

Tab. 8.5 Angolo di resistenza al taglio vs. N_{SPT} e q_c (da Kulhawy, Mayne, 1990)

I risultati delle prove SPT per i sedimenti fluvio-lacustri in posto (argille limose nettamente prevalenti) forniscono un range abbastanza omogeneo, con valori di Nspt sempre superiori a 16 colpi e mediamente pari a circa 24 colpi, quindi ai sensi della tabella precedente questi terreni possono essere considerati come "molto consistenti".

- *N. 3 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (P1, P2, P3)*

Le prove penetrometriche CPT (P1, P2, P3), sono state spinte fino alla profondità massima di circa 10,2 m dal p.c., confermando le buone caratteristiche di consistenza dei terreni in posto.
Le specifiche tecniche dello strumento utilizzato (*PENETROMETRO PAGANI 100 KN)* ed i relativi tabulati sono riportati in allegato.

- ANALISI DI LABORATORIO

Durante l'esecuzione dei sondaggi S1, S2 e S3 sono stati prelevati n° 3 campioni indisturbati (S1C1, S2C2, S3C1), rappresentativi delle varie litologie riscontrate, sui quali sono state eseguite le seguenti prove geotecniche di laboratorio:

- n° 3 determinazione del contenuto naturale d'acqua;
- n° 3 determinazione del peso di volume secco;
- n° 3 determinazione del peso di volume saturo;
- n° 3 determinazione indice dei vuoti;
- n° 3 analisi granulometriche;
- n° 2 prove ELL;
- n° 2 prove di taglio diretto;
- n° 3 prove di consolidazione edometrica.

Di seguito si espongono sinteticamente le caratteristiche più importanti desunte dalle analisi sui campioni:

N° campione	PROF. (m)	Descrizione Granulometrica	γ (KN/m³)	γsat (KN/m³)	ø' (°)	C' (KPa)	Cu (KPa)	W (%)	Eed (int.carico 100÷200KPa)	Eed (int.carico 200÷400 KPa)
S1-C1	2,0-2,6	Limi argillosi	20,15	20,28	-	-	232,1	22,6	8.850	12.003
S2-C2	6,0-6,6	Limi argillosi	19,19	19,77	25	27	-	24,2	19.000	24.005
S3-C1	2,4-3,0	Limi argillosi	19,67	19,99	24	33	60,4	25,2	7.790	10.950

Il dettaglio delle analisi di laboratorio è riportato in allegato (vedi l'allegato: "Relazione sulle indagini geognostiche-geofisiche e Analisi di laboratorio").
Si precisa che la parametrizzazione geotecnica degli orizzonti a granulometria fine (limi argillosi nettamente prevalenti) è stata direttamente estrapolata dalle analisi di laboratorio eseguite sui campioni rappresentativi.
In riferimento alle condizioni litostratigrafiche rilevate, si semplifica per l'area di sedime del fabbricato in progetto il seguente modello geotecnico cautelativo, per il quale si forniscono i seguenti parametri geotecnici di riferimento (valori minimi e valori medi):
STRATO "1" (sintema di Perugia), da circa 0.4 – 0.7 m fino a circa 14.0 - 15.0 m dal p.c.
Argille limose nettamente prevalenti con sporadiche intercalazioni di lenti e/o livelli sabbioso-limosi (sabbia fine), presenti in particolare nei sondaggi S2 (a profondità compresa tra 11,8 e 13,0 m) ed in S3 (a profondità compresa tra 11,4 e 13,8 m), molto consistenti, caratterizzati da comportamento geotecnico prevalentemente di tipo coesivo, cui si sovrappone uno spessore variabile tra circa 0,4 - 0,7 m di terreno vegetale dalle caratteristiche meccaniche scadenti.
Si segnala la presenza di circolazione idrica superficiale a partire all'incirca dall'attuale piano campagna, pertanto i calcoli geotecnici dovranno essere eseguiti in condizioni di saturazione.

	Parametri geotecnici	**Valore medio**	**Valore minimo**	Unità misura
γ	Peso di volume naturale	**19,91**	**19,19**	KN/m³
γsat	Peso di volume saturo	**20,02**	**19,77**	KN/m³
ø'	Angolo d'attrito drenato	**24,5**	**24**	°
C'	Coesione drenata	**30,0**	**27**	KPa
Cu	Coesione non drenata	**146**	**60,4**	KPa
Ed	Modulo edometrico (int.carico 100÷200 KPa)	**8.850**	**7.790**	KPa
Ed	Modulo edometrico	**12.003**	**10.950**	KPa

	(int.carico 200÷400 KPa)			

Il tecnico progettista delle strutture può fare riferimento per i relativi calcoli, in funzione della verticale di verifica, ai parametri meccanici forniti nel presente paragrafo.

9 – MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO (D.M. 17 GENNAIO 2018)

L'area indagata ricade entro al territorio comunale di PERUGIA che, in seno alla riclassificazione sismica del territorio nazionale (O.P.C.M. 3274/2003) con D.G.R. dell'Umbria n. 852/2003, è stato inserito in **zona sismica 2** (zona con probabilità di superamento dell'accelerazione orizzontale del 10% in 50 anni, con intervallo compreso tra 0.15/0.25 ag/g).

9.1 - NTC '18 - DEFINIZIONE INPUT SISMICO

L'azione sismica o input sismico di un sito progettuale con le Nuove NTC '18 passa attraverso la definizione:

- del periodo di riferimento dell'azione sismica,
- della pericolosità sismica di base,
- della risposta sismica locale del sito di costruzione per ognuno dei n. 4 Stato Limite da verificare (ovvero per ciascuna probabilità di superamento dell'azione sismica P_{VR} nel periodo di riferimento definito V_R delle NTC '18).

9.1.1 - PERIODO DI RIFERIMENTO DELL'AZIONE SISMICA

Il periodo di riferimento dell'azione sismica $\mathbf{V_R}$ (§ 2.4.3 NTC '18), viene considerato pari a **75 anni** (a favore della sicurezza), poiché per l'opera possono essere assegnati:

V_N (vita nominale)	= 50 anni	(§ 2.4.1 NTC '18)
Classe d'uso	= CLASSE III	(§ 2.4.2 NTC '18)
C_U (coeff. d'uso) per Classe III	= 1.5	(§ 2.4.3 NTC '18)

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \text{ anni} \times 1.5 = 75 \text{ anni}$$

9.1.2 - PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La **PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE** di uno specifico sito di costruzione (con prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nella vita di riferimento V_R di una costruzione), viene definita da:

- accelerazione orizzontale di picco attesa $\mathbf{a_g}$ (espressa in g/10) ***in condizioni di campo libero*** (su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale),
- parametri $\mathbf{F_0}$ e $\mathbf{T^*_C}$ **dello spettro di risposta elastico** in accelerazione (componente orizzontale) *in condizione di campo libero* con:
  - F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale (adim.);
  - T^*_C periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in sec).

Le coordinate del sito oggetto d'intervento (e che il progettista potrà utilizzare per definire i parametri per il calcolo dell'input riferito allo stato limite posto a verifica), sono le seguenti:
Latitudine **(WGS84)= 43°.101989**
Longitudine **(WGS84)= 12°.361191**

I valori dei parametri a_g, F_0 T^*_C del sito di costruzione, per le prefissate probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento dell'azione sismica V_R di progetto (75 = anni) sono stati calcolati con il software della ditta Geostru "Parametri Sismici" secondo quanto definito nelle **NTC '18**, risultano come nella tabella sotto riportata.

Stati limite

Classe Edificio

III. Affollamento significativo...

Vita Nominale 50

Interpolazione Media ponderata

CU = 1.5

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	45	0.073	2.477	0.276
Danno (SLD)	75	0.091	2.453	0.284
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.209	2.441	0.313
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.259	2.471	0.322
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

9.1.3 – RISPOSTA SISMICA LOCALE

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Al fine della definizione dell'azione sismica di progetto, D.M. 17/01/2018 (CAP. 3.2 Tab. 3.2.II – *categorie di sottosuolo*), è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche combinate per la caratterizzazione sismica del sito, costituita da:

- N.1 PROFILO DI SISMICA A RIFRAZIONE IN ONDE SH;
- N.1 PROFILO SISMICO M.A.S.W. (***Multichannel Analysis of Surface Waves*** ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh);
- N.2 STAZIONE SINGOLA DI MISURA MICROTREMORI (HVSR).

Le prospezioni sismiche effettuate, in sintesi, hanno fornito i seguenti risultati:

- *SISMICA A RIFRAZIONE E PROSPEZIONE M.A.S.W.*

Tali indagini geofisiche hanno evidenziato 3 rifrattori principali:

- sismostrato superficiale posto fino a una profondità variabile da 5.00 m a 15.00 m da p.c. caratterizzato da valori delle velocità delle onde VSH compresi tra 200m/s e 500 m/s, associabile ipoteticamente ad argille limose variamente consistenti;
- secondo sismostrato posto fino a una profondità variabile da 10.00 m a 26.00 m da p.c. caratterizzato da valori delle velocità delle onde VSH compresi tra 550m/s e 750 m/s, associabile ipoteticamente a sabbie fini e depositi marnosi;
- ultimo sismostrato caratterizzato da valori delle velocità delle onde VSH maggiori di 800m/s, associabile ipoteticamente al substrato marnoso-arenaceo.

- *SISMICA HVSR*

Dall'analisi dei valori medi della curva HVSR e la rispettiva deviazione standard, il passaggio più significativo corrisponde alle frequenze di circa **4,3 Hz e 5,3 Hz**. La presenza di picchi con elevati valori H/V entro le frequenze di interesse ingegneristico, potrebbe causare effetti di doppia risonanza struttura-terreno o fenomeni di amplificazione del segnale durante un evento sismico. Tale aspetto dovrà essere attentamente valutato dal progettista, al fine di progettare strutture con frequenze caratteristiche di vibrazione al di fuori di tale range al fine scongiurare possibili fenomeni di doppia risonanza e/o amplificazioni.

Il rapporto dettagliato delle indagini geofisiche effettuate è riportato in allegato.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018 (CAP. 3.2 Tab. 3.2.II – *categorie di sottosuolo*), la classificazione del sottosuolo può essere effettuata in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, *Vs,eq* (in m/s), secondo la seguente equazione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \qquad [3.2.1]$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

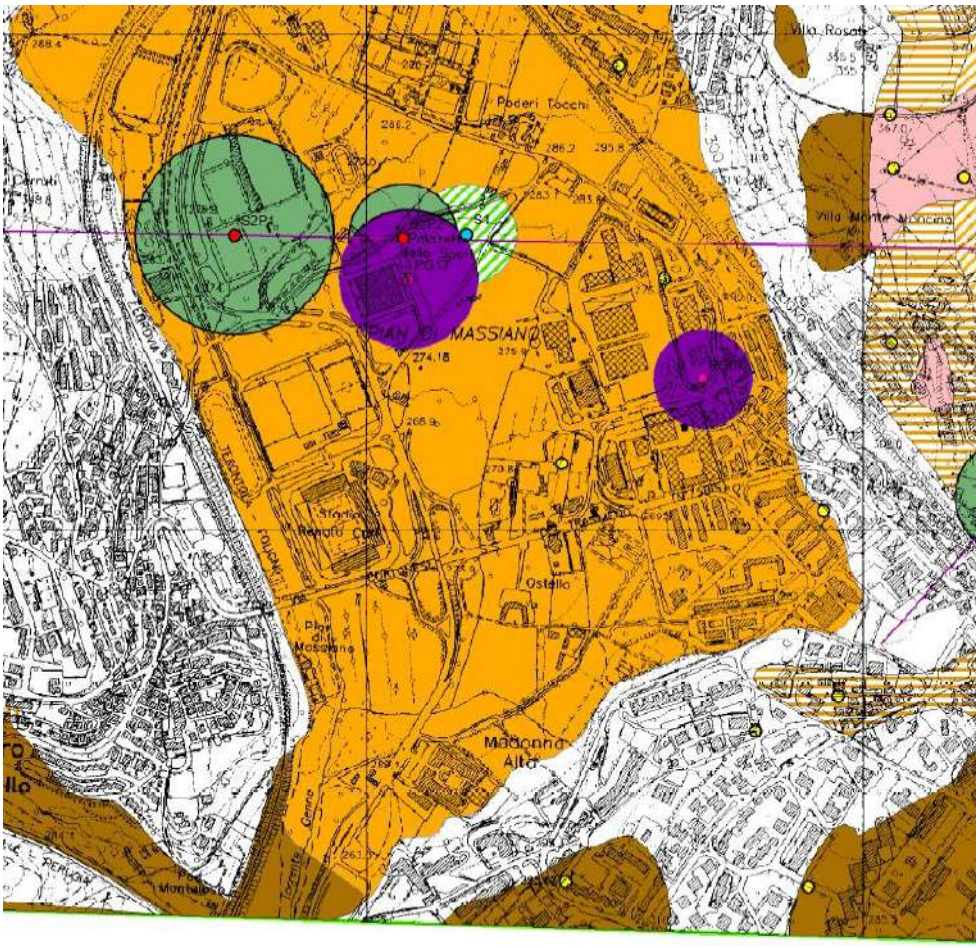
N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

La velocità delle onde *Vs,eq* determinata attraverso l'esecuzione delle predetta campagna di indagini geofisiche combinate, risulta essere pari a circa:

Vs,eq = 380 m/s

Tali dati sono stati confrontati e correlati con le risultanze delle indagini geofisiche eseguite in zona su terreni dello stesso complesso geologico per conto della Regione Umbria – Comune di Perugia, nell'ambito del progetto: "Microzonazione sismica della città di Perugia".



Estratto: "Carta delle Zone a Comportamento sismico omogeneo" (Regione Umbria)

Legenda

- inquadramento C.T.R. Umbria
- perimetrazione area di studio
- Ubicazione stazione sismica
- Ubicazione indagine downhole
- Ubicazione punto di modellazione su profilo
- Ubicazione misura di rumore sismico
- profilo con punti di modellazione

Estendibilità dei risultati delle risposte sismiche locali per periodi di 01s-0.7s (10hz-1.3hz) con ordine di priorità decrescente

- Area di utilizzo dello spettro specifico di sito derivante da misure sismometriche
- Area di utilizzo dello spettro specifico di sito derivante da modellazione numerica
- Area di utilizzo, all'intorno di down-hole, riferibile a spettro specifico di sito derivante dalle misure sismometriche
- Area di utilizzo, all'intorno di down-hole, riferibile a spettro specifico di sito derivante dalla modellazione numerica
- Area di utilizzo dello spettro specifico di sito derivante da modellazione numerica applicabile al di sotto delle coperture
- Area di utilizzo dello spettro specifico di sito derivante da misurazione strumentale applicabile al di sotto delle coperture

Aree a comportamento sismico omogeneo con amplificazione decrescente dall' alto in basso

- Depositi antropici sopra la coltre eluvio-colluviale
- Litofacies di Pian di Massiano e depositi alluvionali ad essa sovrapposti
- Depositi antropici, depositi di frana, coltre eluvio-colluviale, depositi alluvionali
- Depositi eluvio colluviali e alluvioni spessori fino a 5m
- Depositi del Sintema di Perugia con spessori fino 30 metri (picco principale di amplificazione tra 0.1s-0.5s)
- Depositi del Sintema di Perugia con spessori da 30 metri a 60 metri (picco principale di amplificazione tra 0.5s-1.5s)
- Depositi del Sintema di Perugia con spessori oltre 60 metri (solo basse amplificazioni tra 0.5s-1.5s)
- Substrato non amplificante

In riferimento al predetto studio è emerso che la zona in esame rientra all'interno dell'area a comportamento sismico omogeneo con amplificazione decrescente dall'alto in basso (Area 4: Spettro PG17 – livello 3). Vedi l'allegato: "MICROZONAZIONE SISMICA DELLA CITTA' DI

PERUGIA" - ESTRATTO.

Dall'osservazione delle risultanze dello spettro ottenuto con le due diverse metodologie, si evince che lo spettro specifico da microzonazione PG17 (riferito alla classe d'uso II) non risulta assimilabile agli spettri di normativa pertanto, nel caso in oggetto, si è ritenuto opportuno di effettuare un approfondimento tramite le specifiche analisi di risposta sismica locale (RSL), le cui risultanze sono riportate in allegato al presente studio.

10 - LIQUEFACIBILITA' DEI TERRENI IN FASE SISMICA (D.M. 17 GENNAIO 2018)

Ai sensi di quanto definito al § 7.11.3.4.3 delle Nuove NTC è stata effettuata la verifica specifica a liquefazione. Per i terreni dello STRATO 1, costituiti da limi argillosi prevalenti, come evidenziato dalle indagini descritte in precedenza, è stata eseguita una verifica del potenziale di liquefazione con i **Metodi basati sull'Eurocodice 8 (ENV 1998-5)**, attraverso il programma "Liquiter", della Geostru software s.a.s..

La relazione di verifica (vedi la relazione di calcolo allegata) mostra che nelle condizioni geologiche, idrogeologiche, geotecniche e di accelerazione sismica e magnitudo del terremoto di riferimento, il fattore di stabilità F_s risulta sempre >1, ovvero che **il deposito non è suscettibile o a rischio di liquefazione**.

11 – CONCLUSIONI

L'indagine svolta ha permesso di definire con sufficiente dettaglio le caratteristiche geologiche dell'area investigata.

In considerazione delle caratteristiche geologiche-geomorfologiche, idrauliche e geotecniche riscontrate, si può affermare che esistono condizioni sufficientemente favorevoli per considerare "fattibile" la realizzazione dell'intervento in progetto.

Per quanto riguarda la Risposta Sismica Locale (R.S.L.) si rimanda allo studio di dettaglio riportato in allegato.

COROGRAFIA TOPOGRAFICA

SCALA 1:25.000

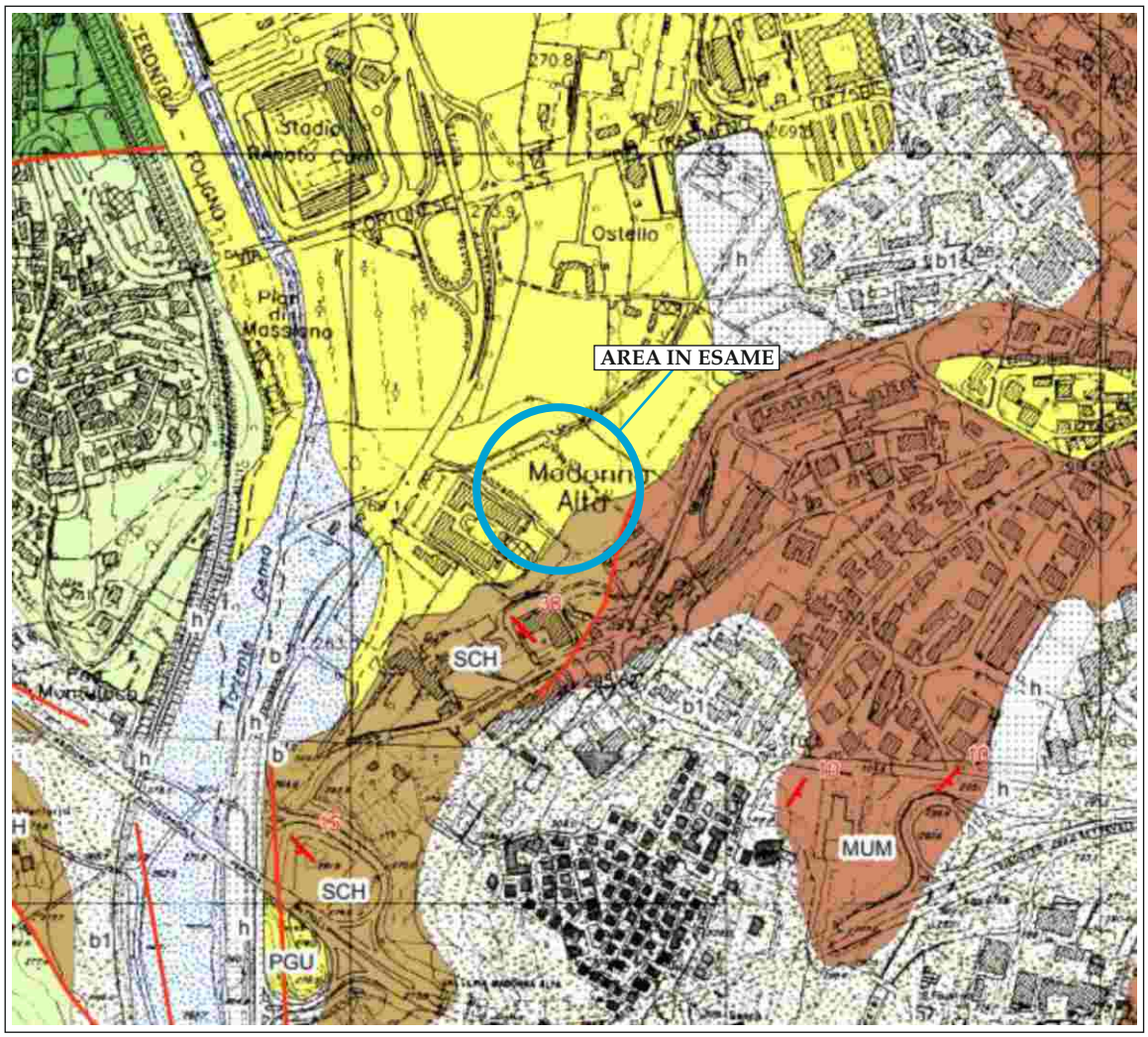
S. Lucia
Pulito
Pod. Monte Pulito
Pod. Cerruti
Pod. S. Manno
Casello
Pod. Nivano
C. S. Barnaba
Tu Commenda
Pod. Ceccotti
Pod. Montelocco
Pod. Radicchi
C. Croci
Vallarella
Pod. Angelini
Pod. Tocchi
Pod. Antinori
Pod. Frattini
Pod. S. Quirico
Bell'Occhio
Pod. S. Angela
Pod. S. Marcello
Villa Brunella
Pod. Tocchi
Pod. Bonazzi
Centova
Pod. Bariletti
Pod. Marcarelli
Pod. Mattioli
Pod. Rotondi
Pod. Ceccotti
Pod. Tigrelli
C. Mari
C. Camerino
Cas. Gilderfini
Cas. Mattioli
Cas. Bonamanco
Cas. Rossi
Crepo
Fontineggio
Osteria
Villa
Pod. Patrizi
Pod. Sanginelli
Pod. Patrizi
Pod. Torchi
Pod. Gigliarelli
Pod. Bugatelli
Pod. Pagliella
Pod. Frattini
Pod. Rosati
Pod. della Chiesa
Pod. Gigliarelli
Pod. Bonamanco
Pod. Rotelli
Pod. Costanelli
Pod. Pabiani
Pod. Tigrelli
Pod. Rotondi
Pod. Ceccotti
Pod. Pabiani
Pod. Costanelli
Pod. Rossi
Pod. Mattioli
Pod. Marcarelli
Pod. Bariletti
Pod. Bonazzi
Pod. Tocchi
Pod. Antinori
Pod. Frattini
Pod. Angelini
Pod. Torchi
Pod. Gigliarelli
Pod. Bugatelli
Pod. Pagliella
Pod. Rotondi
Pod. Ceccotti
Pod. Tigrelli
Pod. Costanelli
Pod. Pabiani
Pod. Rossi
Pod. Mattioli
Pod. Marcarelli
Pod. Bariletti
Pod. Bonazzi
Pod. Tocchi
Pod. Antinori
Pod. Frattini

COMUNE DI PERUGIA

SETTORE GOVERNO E SVILUPPO DEL TERRITORIO E DELL'ECONOMIA

CARTA GEOLOGICA (ESTRATTO)

SCALA 1:10.000



COMUNE DI PERUGIA - LOC. VIALE CENTOVA (PERUGIA)

REALIZZAZIONE NUOVO EDIFICIO SCOLASTICO

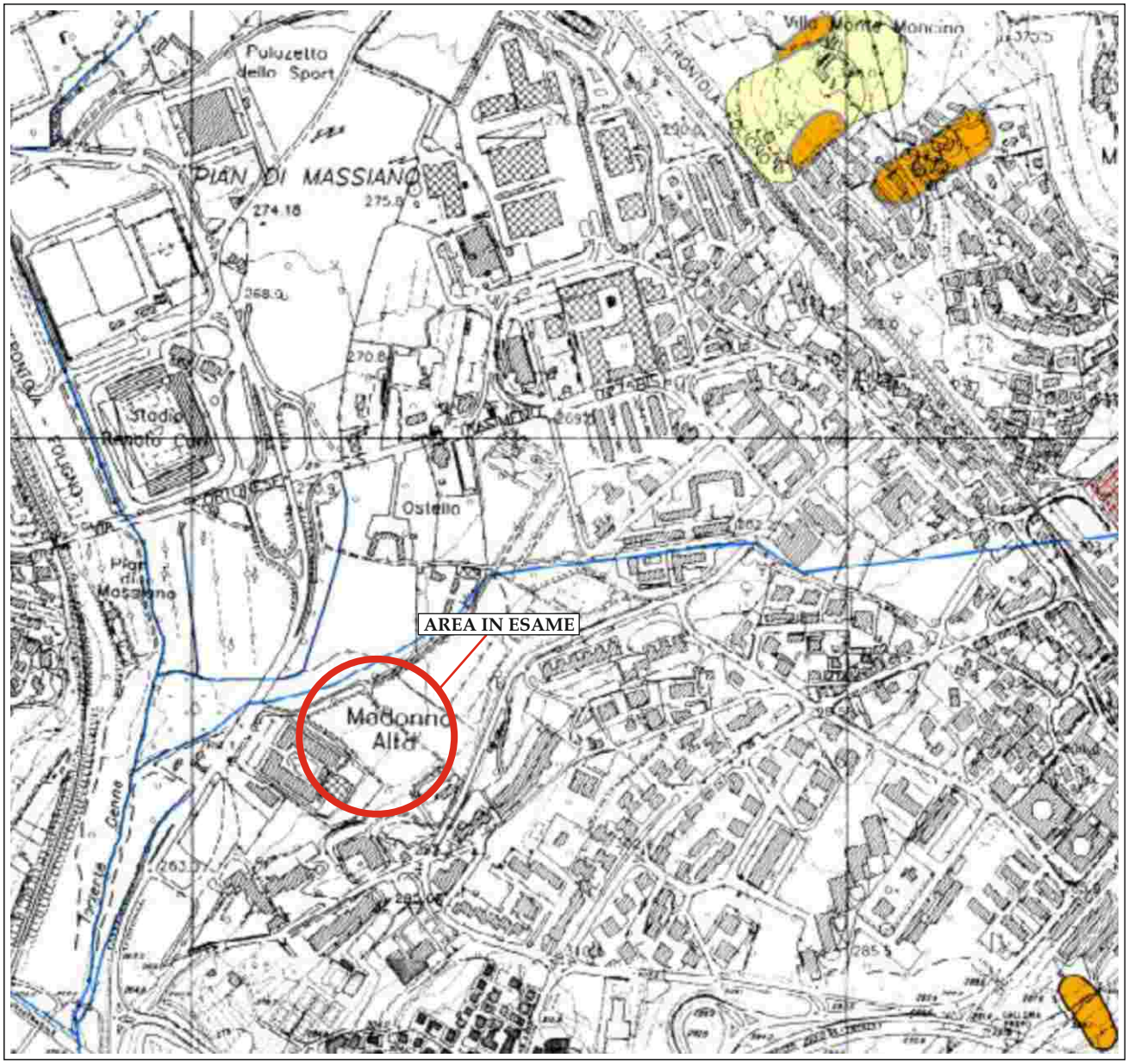
- Depositi alluvionali terrazzati
- Coltre eluvio-colluviale
- Depositi alluvionali
- Depositi di frana
- Deposito di versante
- Terre rosse in depressioni carsiche
- Sintema di Perugia
- Sintema di Collestrada
- Sintema Pian di Nese
- Sintema di Citerna
- Formazione di Monte Rentella
- Marnoso arenacea Romagnola
- Unità di Rentella
- Macigno
- Marnoso Arenacea Umbra
- Schlier
- Bisciaro
- Rosso Ammonitico
- Corniola
- Calcare Massiccio
- Calcare Cavernoso
- Calcari e marne a Rhaetavicula contorta
- Giacitura
- Faglia

COMUNE DI PERUGIA

SETTORE GOVERNO E SVILUPPO DEL TERRITORIO E DELL'ECONOMIA

CARTA INVENTARIO DEI MOVIMENTI FRANOSI (ESTRATTO)

SCALA 1:10.000



COMUNE DI PERUGIA - LOC. VIALE CENTOVA (PERUGIA)

REALIZZAZIONE NUOVO EDIFICIO SCOLASTICO

INVENTARIO FRANE PAI

- Movimenti franosi attivi
- Movimenti franosi evento neve 1997
- Movimenti franosi quiescenti
- Movimenti franosi incerti
- Movimenti franosi relitti

INVENTARIO FRANE IFFI

- Frane IFFI

Abitati ammessi a cosolidamento

- Frane art 61 D.P.R. 380/01 ex art. 2 L. 64/74

Rischio PAI

- Rischio R3

Pericolosità geologica da zoning PRG 2002

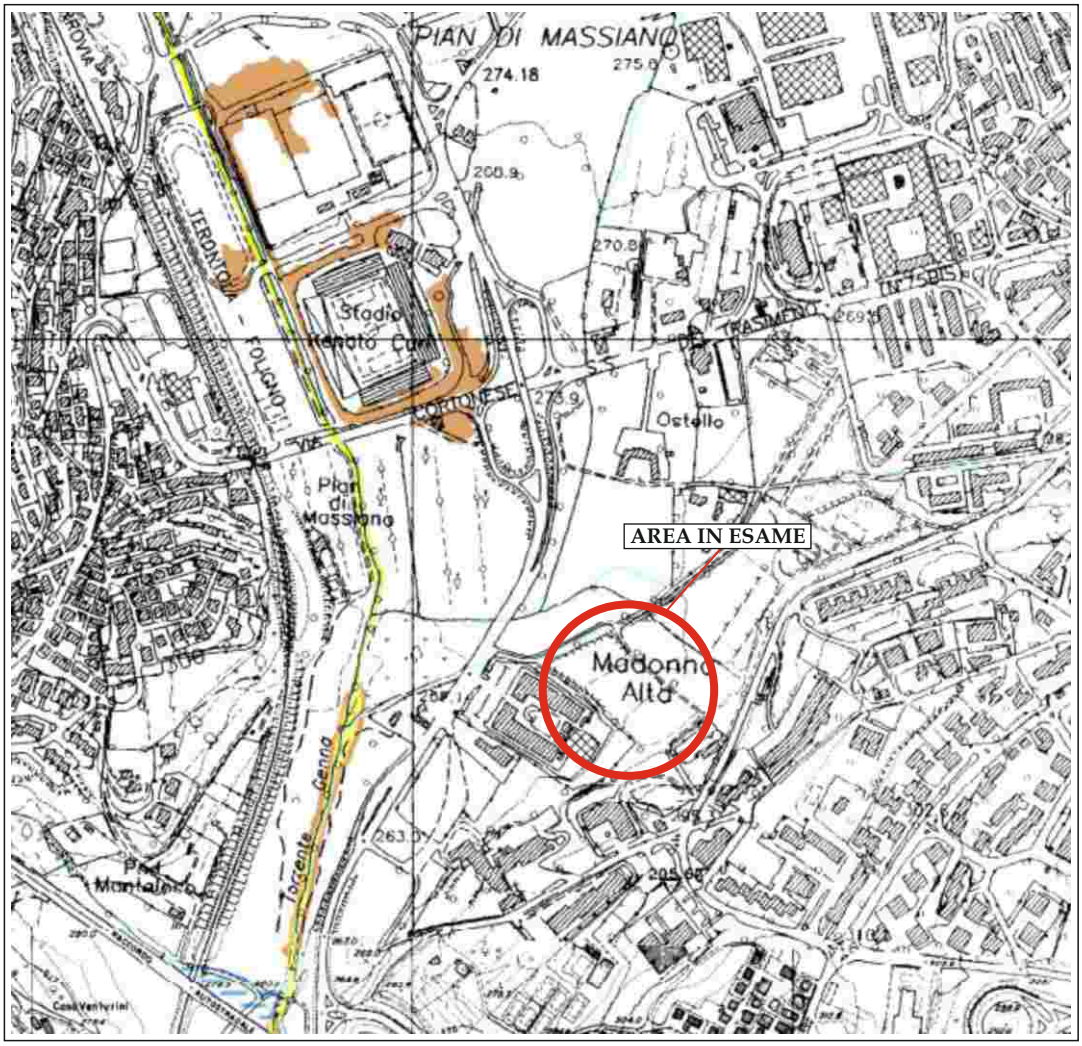
- Frane zone 8 PRG

COMUNE DI PERUGIA

SETTORE GOVERNO E SVILUPPO DEL TERRITORIO E DELL'ECONOMIA

CARTA DEL RISCHIO IDRAULICO (ESTRATTO)

SCALA 1:10.000



COMUNE DI PERUGIA - LOC. VIALE CENTOVA (PERUGIA)

REALIZZAZIONE NUOVO EDIFICIO SCOLASTICO

PERICOLOSITA' E RISCHIO PAI TEVERE

Fasce	Tempi di ritorno	Rischio
A	50 anni	R4
B	200 anni	R3
C	500 anni	R2

CORSI D'ACQUA SECONDARI PAI bis

A	50 anni
B	200 anni
C	500 anni

PERICOLOSITÀ' IDRAULICA ALTRI CORSI D'ACQUA STUDIO DEL COMUNE DI PERUGIA

Aree a potenziale pericolosità idraulica (Art. 84 TUNA)

SPECCHI D'ACQUA

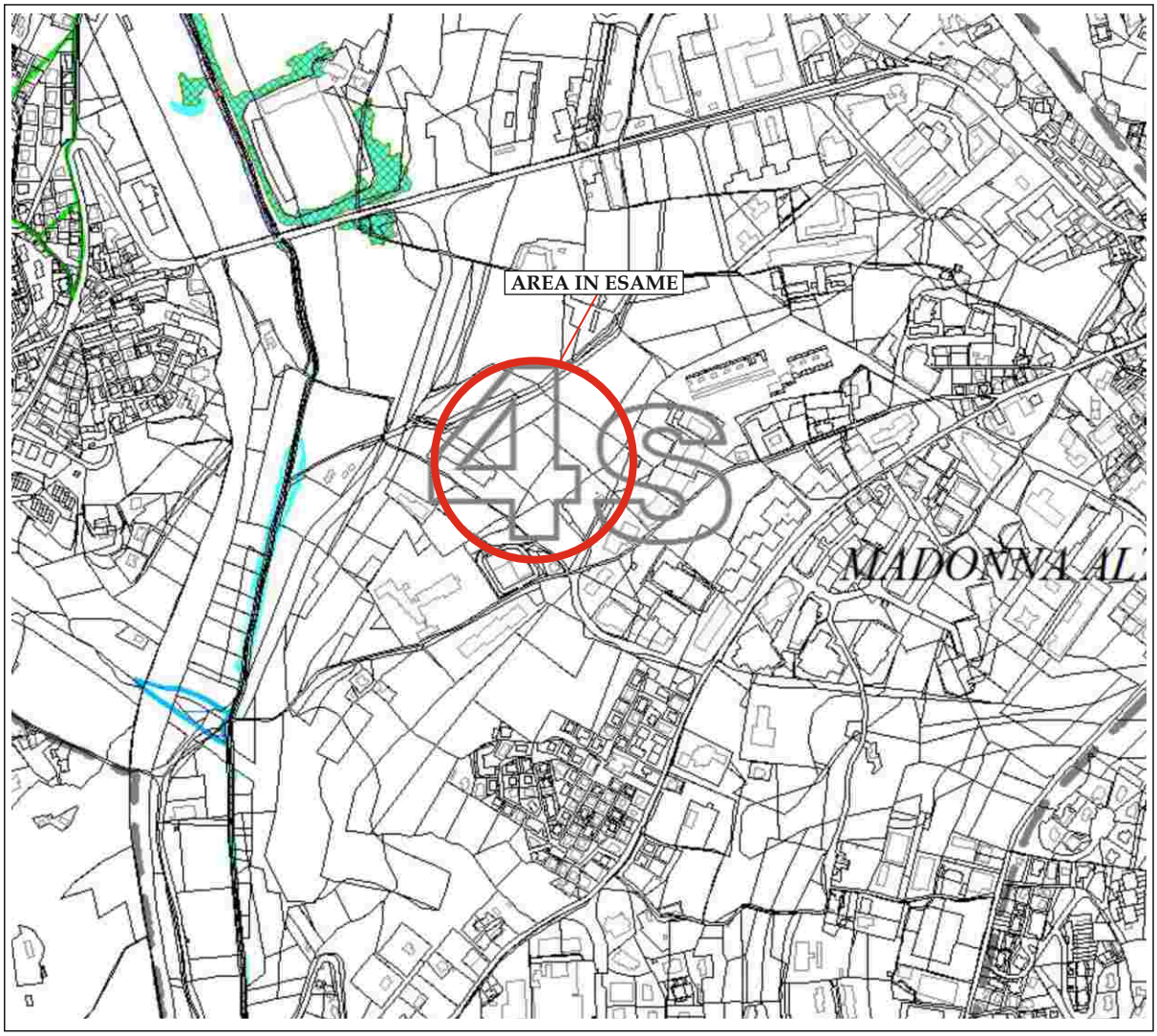
Specchi acqua

Pericolosità laghetti collinari

Reticolo idrografico

COMUNE DI PERUGIA

ESTRATTO NUOVO P.R.G. - PARTE STRUTTURALE
ALLEGATO A4_1 "RISCHIO AMBIENTALE"
(RICOGNIZIONE DELLE COMPONENTI AMBIENTALI)



COMUNE DI PERUGIA - LOC. VIALE CENTOVA (PERUGIA)

REALIZZAZIONE NUOVO EDIFICIO SCOLASTICO

VINCOLI PIANO DI ASSETTO IDRAULICO (PAI)

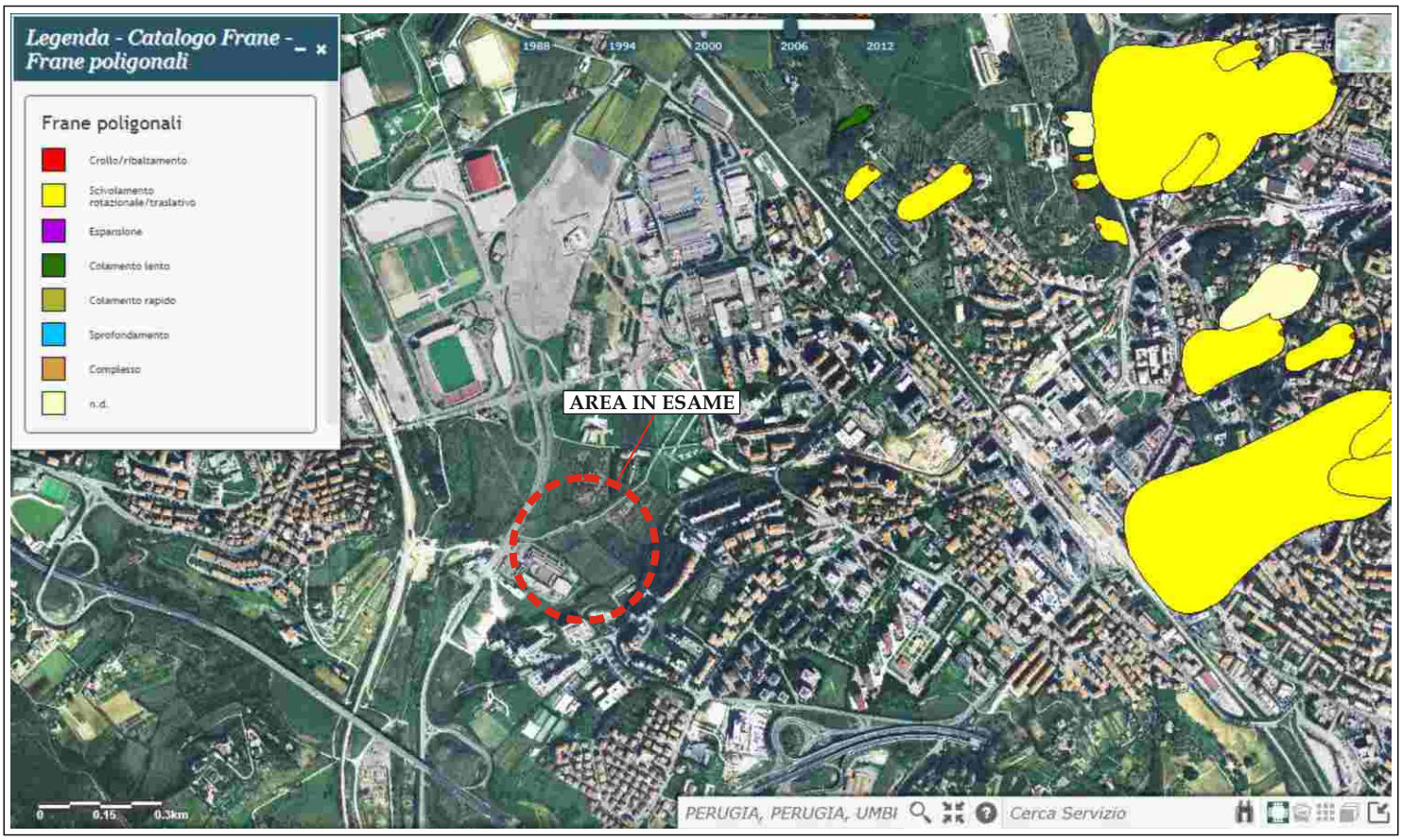
- AREE INSTABILI AD ALTO RISCHIO GEOLOGICO (art.78bis del TUNA)
- Zone a rischio frane R3,art. 15 del PAI (art.141 del TUNA)
- FASCIA FLUVIALE A, art. 28 del PAI (art.141 del TUNA)
- FASCIA FLUVIALE B, art. 29 del PAI (art.141 del TUNA)
- FASCIA FLUVIALE C, art. 30 del PAI (art.141 del TUNA)
- ZONA A RISCHIO IDRAULICO R4, art. 31 del PAI (art.141 del TUNA)
- ZONA A RISCHIO IDRAULICO R3, art. 32 del PAI (art.141 del TUNA)
- ZONA A RISCHIO IDRAULICO R2, art. 11 del PAI (art.141 del TUNA)

ALTRI VINCOLI AMBIENTALI

- AREE SOTTOPOSTE A VINCOLO IDROGEOLOGICO (art.137 quinquies del TUNA)
- AREE A MODERATO RISCHIO DI ALLUVIONAMENTO (art.141 del TUNA)
- AREE INSTABILI AMMESSE A CONSOLIDAMENTO (L.R. n.65/78) (art.78 del TUNA)
- AREE DEMANIALI LUNGO I CORSI D'ACQUA E PERTINENZE IDRAULICHE (art.141 delTUNA)

MINISTERO DELL'AMBIENTE

GEOPORTALE NAZIONALE



COMUNE DI PERUGIA - LOC. VIALE CENTOVA (PERUGIA)

REALIZZAZIONE NUOVO EDIFICIO SCOLASTICO

VISTA SATELLITARE
(CON UBICAZIONE INDAGINI ESISTENTI)

COMUNE DI PERUGIA - LOC. VIALE CENTOVA (PERUGIA)

REALIZZAZIONE NUOVO EDIFICIO SCOLASTICO

S UBICAZIONE SONDAGGI GEOGNOSTICI (1985)
(DATI GEOLOGICI ESISTENTI)

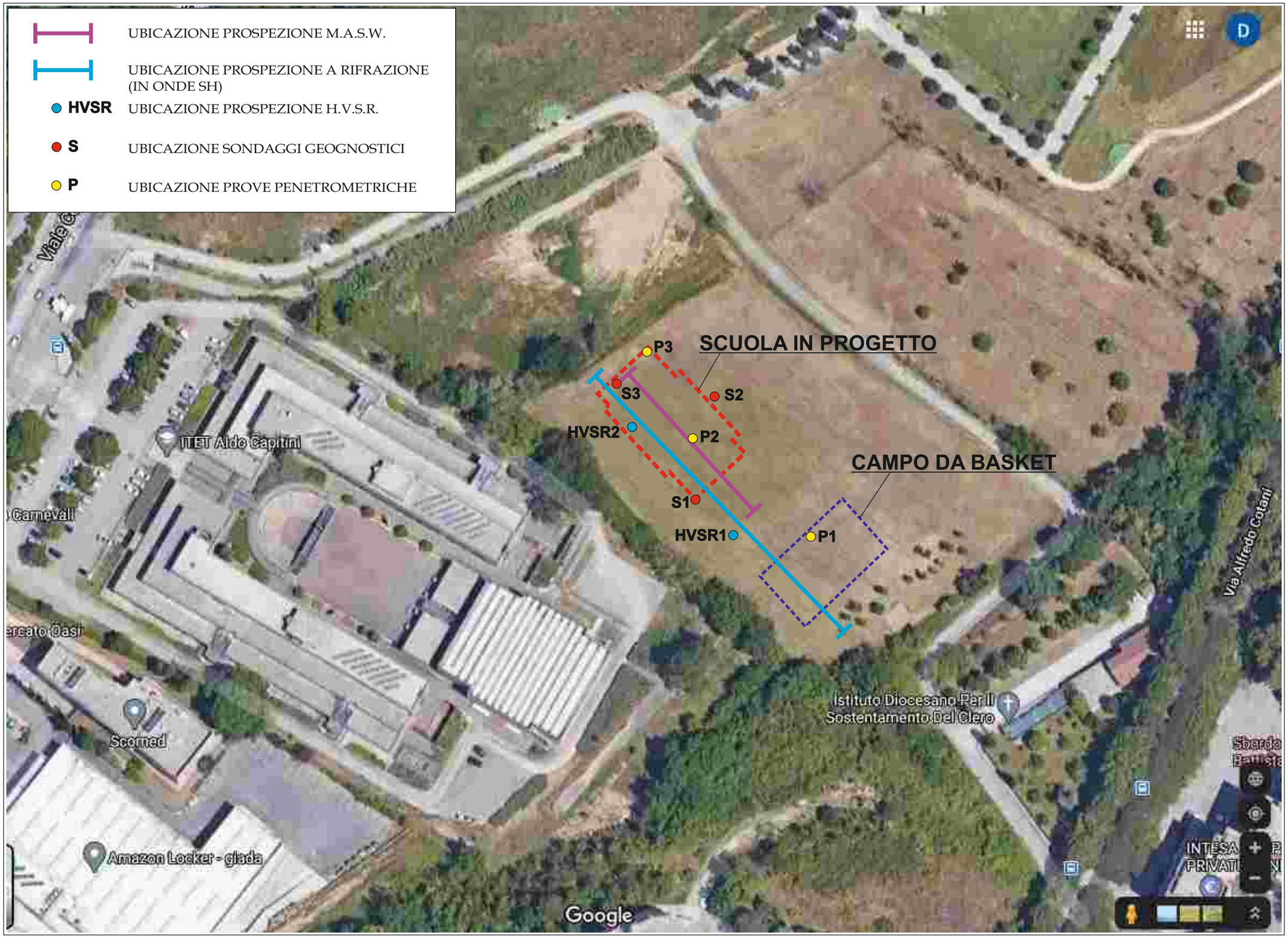
S UBICAZIONE SONDAGGI GEOGNOSTICI (1990)
(DATI GEOLOGICI ESISTENTI)

P UBICAZIONE PROVE PENETROMETRICHE CPT
(DATI GEOLOGICI ESISTENTI)

VISTA SATELLITARE

(CON UBICAZIONE INDAGINI EFFETTUATE)

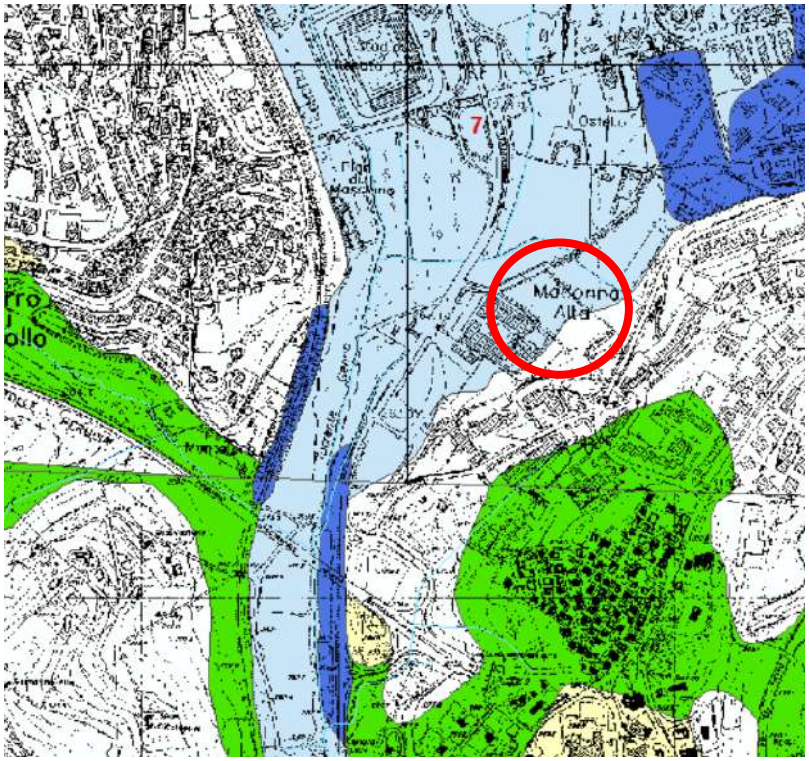
SCALA 1:1.000



LA MICROZONAZIONE SISMICA DELLA CITTA' DI PERUGIA (REGIONE UMBRIA - COMUNE DI PERUGIA) - ESTRATTO

-*MICROZONAZIONE SISMICA CITTA' PERUGIA*

PRIMO LIVELLO



1Z - Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi

2Z - Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti

3Z - Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana

4Z - Zona con terreni di fondazione particolamente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)

7Z - Zona di fondovalle con depositi alluvionali

8Z- Zona pedemontana di falda di detrito e cono di deiezione

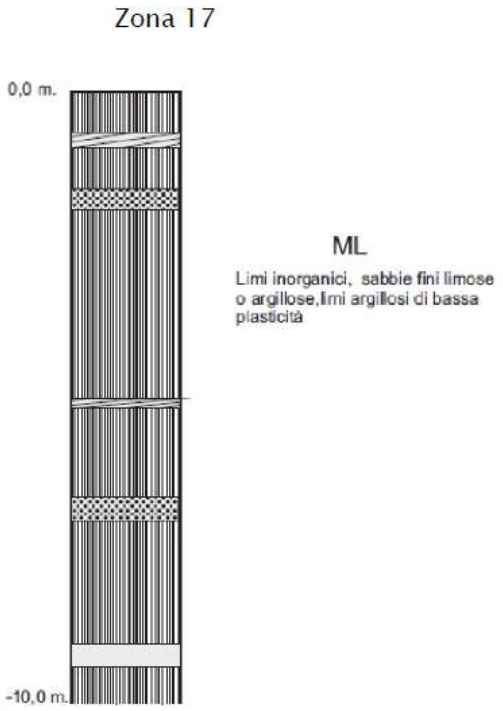
10Z - Zona con travertini

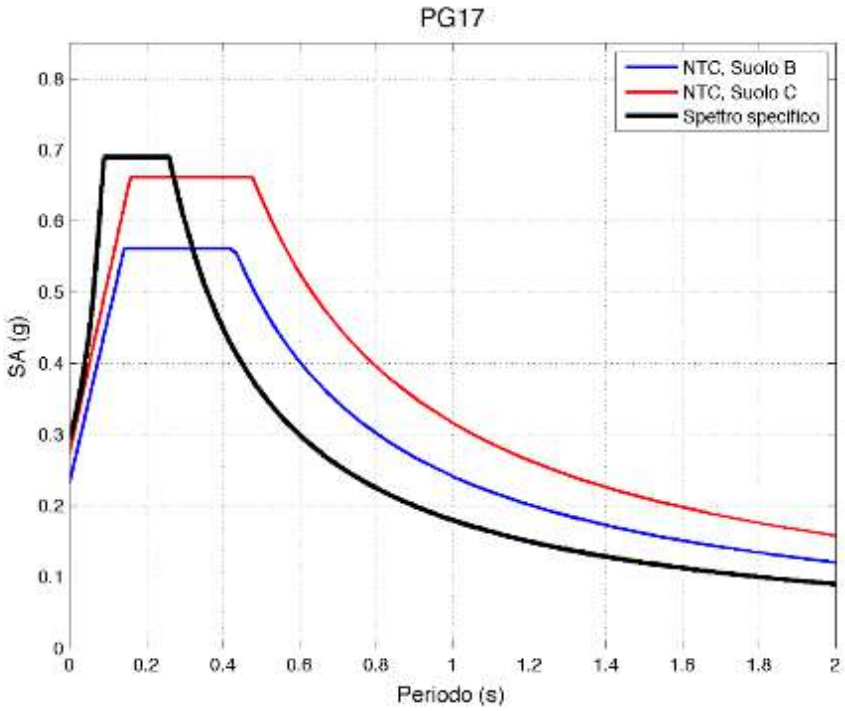
12Z - Zona dei depositi delle unità sintemiche non diversamente classificate

14Z - Zone stabili non suscettibili di amplificazioni locali

Dall'analisi della cartografia risulta che l'area in esame è compresa nella zona "**7Z**": ***Zona di fondovalle con depositi alluvionali.***

MS 1 CON MOPS - STRATIGRAFIA TIPO 2017
Zona stabile suscettibile di amplificazione sismica (Zona 17)

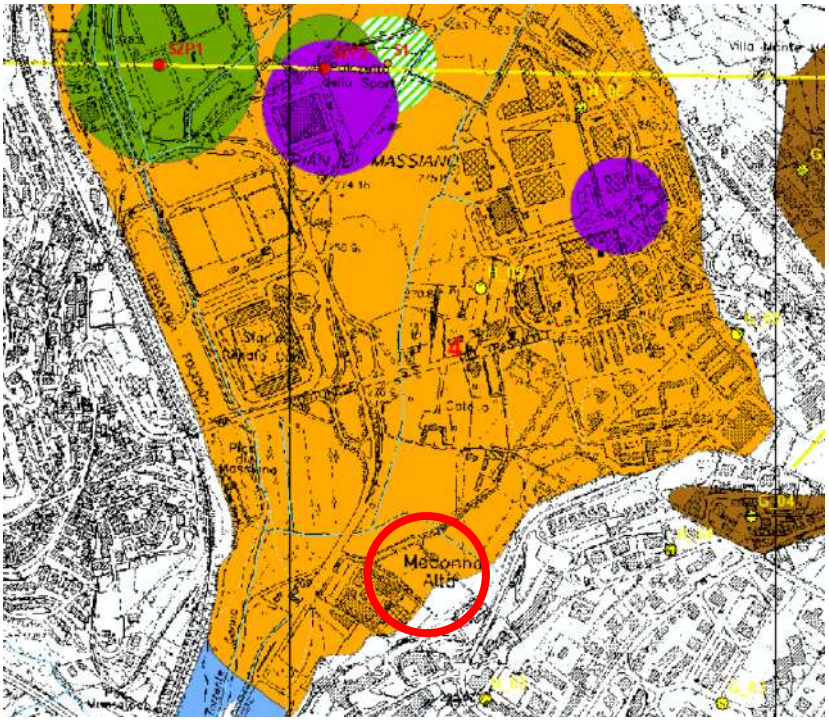




PG17	12,359	43,111	Palasport Pian di Massiano	16.09.2008	10.03.2009	Sequenza limo argillosa (Sintema di Perugia, litofacies di Pian di Massiano): Pleistocene medio

unità geotecnica-geofisica	sigla	Vs (m/s)	Vp (m/s)	γ (kN/m^3)
unità argillosa Pian di Massiano	APM	250	1800	19.7

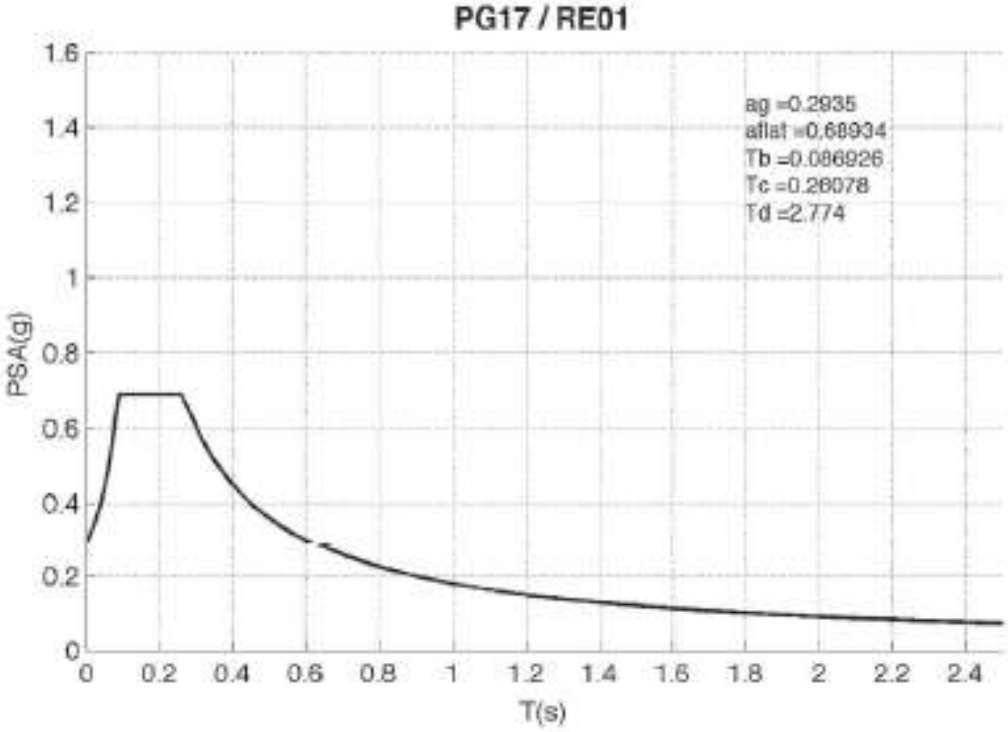
<u>TERZO LIVELLO</u> – AREA 4 DI MICROZONE SISMICHE
Con Spettro assimilabile a quello del **PG17**



MICROZONE SISMICHE

- Area 1
- Area 2
- Area 3
- Area 4
- Area 5
- Area 6
- Area 7
- Area 8

Area 4-Spettro PG 17



DATI GEOLOGICI ESISTENTI

- STRATIGRAFIA DEI N° 3 SONDAGGI GEOGNOSTICI (S1, S2, S3) - ANNO 1985
- STRATIGRAFIA DEI N° 7 SONDAGGI GEOGNOSTICI (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S8) - ANNO 1990
- ELABORATI RIASSUNTIVI DELLA N° 1 PROVA PENETROMETRICA CPT (P)

LABORATORIO GEOMECCANICO
Via Asiari 6 - Tel. 50320
PESARO.

COMMITTENTE: SICEL SpA
CANTIERE: PERUGIA
SONDAGGIO: S1

PROFONDITÀ DAL P.C. IN MT.	LITOLOGIA	FALDA	CAMPIONI	DESCRIZIONE DEI TERRENI ATTRAVERSATI	POKET PENETROM. RP KG\CM²	VANE TEST
				Terreno di riporto dato da limi-argillosi rimaneggiati contenente frammenti marnosi;		
.50				Argilla-limosa marrone plastica.		
.00				Ghiaia acquifera in abbondante matrice argillo-limosa		
4.50				Limo-sabbioso		
.00				Livello ghiaioso.		
.20				Argilla marrone plastica.		
6.00				Argilla marrone con venature azzurre con concrezioni calcaree e nuclei sabbiosi.	R.P. 1.5	
8.50				Argilla marrone plastica.		
.00				Argilla grigia mediamente compatta.	R.P. 2.0	
50				Limi argillosi con venature azzurre con noduli calcaree e livelletti sabbiosi, compatte.	R.P. 2.0	
					R.P. 2.5	

LABORATORIO GEOMECCANICO
Via Asiari 6 - Tel. 50320
PESARO

COMMITTENTE: SICEL SpA

CANTIERE: PERUGIA

SONDAGGIO: S2

SOND. PC IN MT.	LITOLOGIA	FALDA	CAMPIONI	DESCRIZIONE DEI TERRENI ATTRAVERSATI	POKET PENETROM. RP KG\CM²	VANE TEST
				Terreno di riporto dato da limi-argil= losi rimaneggiati con blocchi marnosi.		
50				**Argille limose di color marrone chiaro.**	S.P.T DA m. 6 a 6.45 15=3 30=7 45=8	
7.50				**Limi argillosi bleù** con noduli neri e ciottolini di piccole dimensioni.		
50				**Limi argillosi compatti con noduli calcarei** e sabbia diffusa. Compatta;		
17.00						

LABORATORIO GEOMECCANICO
Via Asiari 6 - Tel. 50320
PESARO

COMMITTENTE: SICEL SpA

CANTIERE : PERUGIA

SONDAGGIO : S3

DAL P.C. IN MT.	LITOLOGIA	FALDA	CAMPIONI	DESCRIZIONE DEI TERRENI ATTRAVERSATI	POKET PENETROM RP KG\CM²	VANE TEST
				Limo-argilloso marrone con ciottoli marnosi.	S.P.T a m.2.70 15=8 30=12 45=15	
3.00				Marna alterata		
4.50				Marna compatta.		
6.50						

geoter
studio di geologia

Committente : PAC 2000 A
Localita' : Centova - Perugia
Sondaggio n. 1 Data : 5/7/90

Sistema : Car. Cc
Scala : 1:100
Quota : 266 MSLM

prof.	strat.	descrizione tipo litologico	falda	Camp. indist.	%car.	N spt 15	N spt 30	N spt 45	parametri geotecnici C	FI	GAM	W	KW	RQD
		Terreno di riporto - Ciottoli e massi arenacei e calcarei in resti marnosi e argillosi con livelli di sabbie limose giallastre.												
3.80														
6.00														
6.70		Argille sabbiose verdastre e grigie normalmente consolidate con clasti centimetrici.		C1					0,13	14,5	2,07	18,4		
									IP 23,3	LL 4,6	LP 22,6			
7.10														
9.40				C2					Eo 9,57	Gs 2,82	2,15	19,3		
9.80														
10.90		Ghiaie a ciottoli poligienici arrotondati in matrice argillosa.												
12.00				C3					IP 15,2	LL 34	LP 18,7			
12.50		Argille sabbiose grigio-verdastre con limo e clasti centimetrici.												
12.97														
13.50		Formazione Marnoso Arenacea in facies prevalentemente arenacea.												10
18.00		Fine sondaggio												

geoter
studio di geologia

Committente : PAC 2000 A
Localita' : Centova - Perugia
Sondaggio n. 2 Data : 5/7/90

Sistema : CAR.CON.
Scala : 1:100
Quota : 267 mslm

prof.	strat.	descrizione tipo litologico	falda	camp. indist.	%car.	N spt 15	N spt 30	N spt 45	C	FI	GAM	W	KW	RQD
		Terreno di riporto - Ciottoli e massi arenacei e calcarei in resti marnosi e argillosi con livelli di sabbie limose giallastre.												
4.50		Argille limo sabbiose verdastre omogenee normalmente consolidate con livelletti di ciottoli e inclusi travertinosi millimetrici.	non rilevata	C1					0	23	2.04	10.1		
6.20														
6.60														
9.00		Formazione Marnoso Arenacea in facies arenacea												30
11.00		Fine sondaggio							20	35	2,2		10	

geoter
studio di geologia

Committente : PAC 2000 A
Localita' : Centova - Perugia
Sondaggio n. 3 Data : 6/7/90

Sistema : CAR.CON.
Scala : 1:100
Quota : 267 mslm

prof.	strat.	descrizione tipo litologico	falda	camp. indist.	%car.	N spt 15	N spt 30	N spt 45	C	FI	GAM	W	KW	Qu
		Terreno di riporto - Ciottoli e massi arenacei e calcarei in resti marnosi e argillosi con livelli di sabbie limose giallastre.												
4.00														
5.50				C1							2,0	21,1		0,16
6.00		Argille limose grigio-giallastre di buona consistenza.												
6.20														
8.00		Limi sabbio-argillosi di buona consistenza.												
11.00		Argille grigie di buona consistenza.												
12.00		Fine sondaggio												

geoter
studio di geologia

Committente : PAC 2000 A
Localita' : Centova -Perugia
Sondaggio n. 4 Data : 6/7/90

Sistema : CAR.CON.
Scala : 1:100
Quota : 267 mslm

prof.	strat.	descrizione tipo litologico	falda	camp. indist.	%car.	N spt 15	N spt 30	N spt 45	parametri geotecnici C	FI	GAM	W	KW	RQA
		Terreno di riporto - Ciottoli poligienici in matrice marnosa.												
1.00														
		Limi argillosi grigi e marroni di media consistenza.												
3.80														
5.80		Formazione Marnoso Arenacea alternanze di bancate arenacee e marne argillose grigiastre.							20	35	2,2		10	30
12.00		Fine sondaggio												

geoter
studio di geologia

Committente: PAC 2000 A
Localita': Centova - Perugia
Sondaggio n. 5 Data: 9/7/90

Sistema: Car. Con.
Scala: 1:100
Quota: 266 mslm

prof.	strat.	descrizione tipo litologico	falda	camp. indist.	%car.	N spt 15	N spt 30	N spt 45	C	FI	GAM	W	KW	QRD
		Terreno di riporto - Ciottoli e massi arenacei e calcarei in resti marnosi e argillosi con livelli di sabbie limose giallastre.												
3.50		Argille limo sabbiose verdastre omogenee normalmente consolidate con livelletti di ciottoli e inclusi travertinosi millimetrici.		C1					0,04	29	2,16	16,0		
5.00														
5.50		Formazione Marnoso Arenacea in facies arenacea.							20	35	2,2		10	30
11.00		Fine sondaggio												

geoter
studio di geologia

Committente : PAC 2000 A
Localita' : Centova - Perugia
Sondaggio n. 6 Data: 6/7/90

Sistema : Car. Con.
Scala : 1:100
Quota : 271

prof.	strat.	descrizione tipo litologico	falda	camp. indist.	%car.	N spt 15	N spt 30	N spt 45	C	FI	GAM	W	KW	RQD
		Conglomerati a grossi massi arenacei	non rilevata											
1.10		Argille limo sabbiose marrone chiaro												
2.30		Formazione Marnoso Arenacea in facies prevalentemente arenacea.							20	35	2,2		10	30
5.50		Fine sondaggio												

geoter
studio di geologia

Committente : PAC 2000 A
Localita' : Centova - Perugia
Sondaggio n. 8 Data : 10/7/90

Sistema : Car. Con.
Scala : 1:100
Quota : 267 mslm

prof.	strat.	descrizione tipo litologico	falda	camp. indist.	%cor.	N spt 15	N spt 30	N spt 45	parametri geotecnici C	FI	GAM	W	KW
		Terreno di riporto - Ciottoli e massi arenacei e calcarei in resti marnosi e argillosi con livelli di sabbie limose giallastre a zone si incontrano vuoti.							0	25	2,0		
1.70													
2.40													
5.00													
5.70		Argille grigio-verdi con sabbie e clasti millimetrici travertinosi - Sotto i 7 ml. si fanno ocracee e più in profondità il colore presenta alternanze da grigio-verde a marrone. Con la profondità si fanno più compatte e consolidate e presentano a zone un alto contenuto sabbioso.											
7.70				C1					0,36 IP 24,3	16,5	2,1	18,2	
8.10													
15.90				C2					0,23	17	2,08	19,8	
16.30													
20.10				C3					0,15	17,5	2,06	20,4	
20.50													
23.00													

geoter
studio di geologia

Committente: PAC 2000 A
Localita': Centova - Perugia
Sondaggio n. 8 Data: 10/7/90

Sistema: Car. Con.
Scala: 1:100
Quota: 267 mslm

prof.	strat.	descrizione tipo litologico	falda	camp. indist.	%car.	N spt 15	N spt 30	N spt 45	parametri geotecnici C	FI	GAM	W	KW	
		Argille sabbiose grigio-verdi e marroni normalmente consolidate.												
26.00		Fine sondaggio												

GTA di Bartoccioni A. e Carmeli L. S.n.c.
P.zza Risorgimento, 1
06070 - S.Mariano CORCIANO (PG)

PROVA PENETROMETRICA STATICA — CPT 1
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

2.01PG05-179

- committente : Comunità Montana Monti del Trasimeno
- lavoro : Pian della Genna
- località : Perugia
- note :
- data : 23/09/2008
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,40 m da quota inizio
- pagina : 1

Prof. m	Letture di campagna punta	laterale	qc kg/cm²	fs	qc/fs
0,20	----	----	--	1,40	----
0,40	36,0	57,0	36,0	0,87	42,0
0,60	82,0	95,0	82,0	1,27	65,0
0,80	54,0	73,0	54,0	1,33	40,0
1,00	50,0	70,0	50,0	2,53	20,0
1,20	48,0	86,0	48,0	1,93	25,0
1,40	75,0	104,0	75,0	0,87	87,0
1,60	19,0	32,0	19,0	1,07	18,0
1,80	10,0	26,0	10,0	0,80	12,0
2,00	8,0	20,0	8,0	0,47	17,0
2,20	11,0	18,0	11,0	0,73	15,0
2,40	15,0	26,0	15,0	0,67	22,0
2,60	12,0	22,0	12,0	0,33	36,0
2,80	10,0	15,0	10,0	0,40	25,0
3,00	9,0	15,0	9,0	0,33	27,0
3,20	7,0	12,0	7,0	0,40	17,0
3,40	10,0	16,0	10,0	0,40	25,0
3,60	6,0	12,0	6,0	0,53	11,0
3,80	5,0	13,0	5,0	0,33	15,0
4,00	13,0	18,0	13,0	0,60	22,0
4,20	10,0	19,0	10,0	0,67	15,0
4,40	14,0	24,0	14,0	0,60	23,0
4,60	10,0	19,0	10,0	1,33	7,0
4,80	22,0	42,0	22,0	1,40	16,0
5,00	24,0	45,0	24,0	1,53	16,0
5,20	23,0	46,0	23,0	1,60	14,0
5,40	25,0	49,0	25,0	1,53	16,0
5,60	23,0	46,0	23,0	1,60	14,0
5,80	19,0	43,0	19,0	1,40	14,0
6,00	23,0	44,0	23,0	0,87	27,0
6,20	22,0	35,0	22,0	0,47	47,0
6,40	18,0	25,0	18,0	0,47	39,0
6,60	14,0	21,0	14,0	0,60	23,0
6,80	15,0	24,0	15,0	1,00	15,0
7,00	17,0	32,0	17,0	1,07	16,0
7,20	19,0	35,0	19,0	1,13	17,0
7,40	17,0	34,0	17,0	1,00	17,0
7,60	16,0	31,0	16,0	1,07	15,0
7,80	16,0	32,0	16,0	1,00	16,0
8,00	16,0	31,0	16,0	0,47	34,0
8,20	14,0	21,0	14,0	0,80	17,0
8,40	12,0	24,0	12,0	0,87	14,0
8,60	11,0	24,0	11,0	0,93	12,0
8,80	8,0	22,0	8,0	0,87	9,0
9,00	10,0	23,0	10,0	0,80	12,0
9,20	9,0	21,0	9,0	1,33	7,0
9,40	22,0	42,0	22,0	0,80	27,0
9,60	11,0	23,0	11,0	0,53	21,0
9,80	29,0	37,0	29,0	0,93	31,0
10,00	25,0	39,0	25,0	0,93	27,0
10,20	36,0	50,0	36,0	0,93	39,0
10,40	31,0	45,0	31,0	1,00	31,0
10,60	33,0	48,0	33,0	1,33	25,0
10,80	40,0	60,0	40,0	1,47	27,0
11,00	43,0	65,0	43,0	1,73	25,0
11,20	44,0	70,0	44,0	1,60	27,0
11,40	38,0	62,0	38,0	1,47	26,0
11,60	39,0	61,0	39,0	1,40	28,0
11,80	38,0	59,0	38,0	1,47	26,0
12,00	42,0	64,0	42,0	2,27	19,0
12,20	44,0	78,0	44,0	2,27	19,0
12,40	58,0	92,0	58,0	1,80	32,0
12,60	58,0	85,0	58,0	2,53	23,0
12,80	52,0	90,0	52,0	2,33	22,0
13,00	50,0	85,0	50,0	2,27	22,0
13,20	48,0	82,0	48,0	2,73	18,0
13,40	47,0	88,0	47,0	2,67	18,0
13,60	55,0	95,0	55,0	4,07	14,0
13,80	69,0	130,0	69,0	4,27	16,0
14,00	71,0	135,0	71,0	2,87	25,0
14,20	73,0	116,0	73,0	2,40	30,0
14,40	134,0	170,0	134,0	3,20	42,0
14,60	76,0	124,0	76,0	-----	----

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

GTA di Bartoccioni A. e Carmeli L. S.n.c.
P.zza Risorgimento, 1
06070 - S.Mariano CORCIANO (PG)

Rifer. 9-08FR1

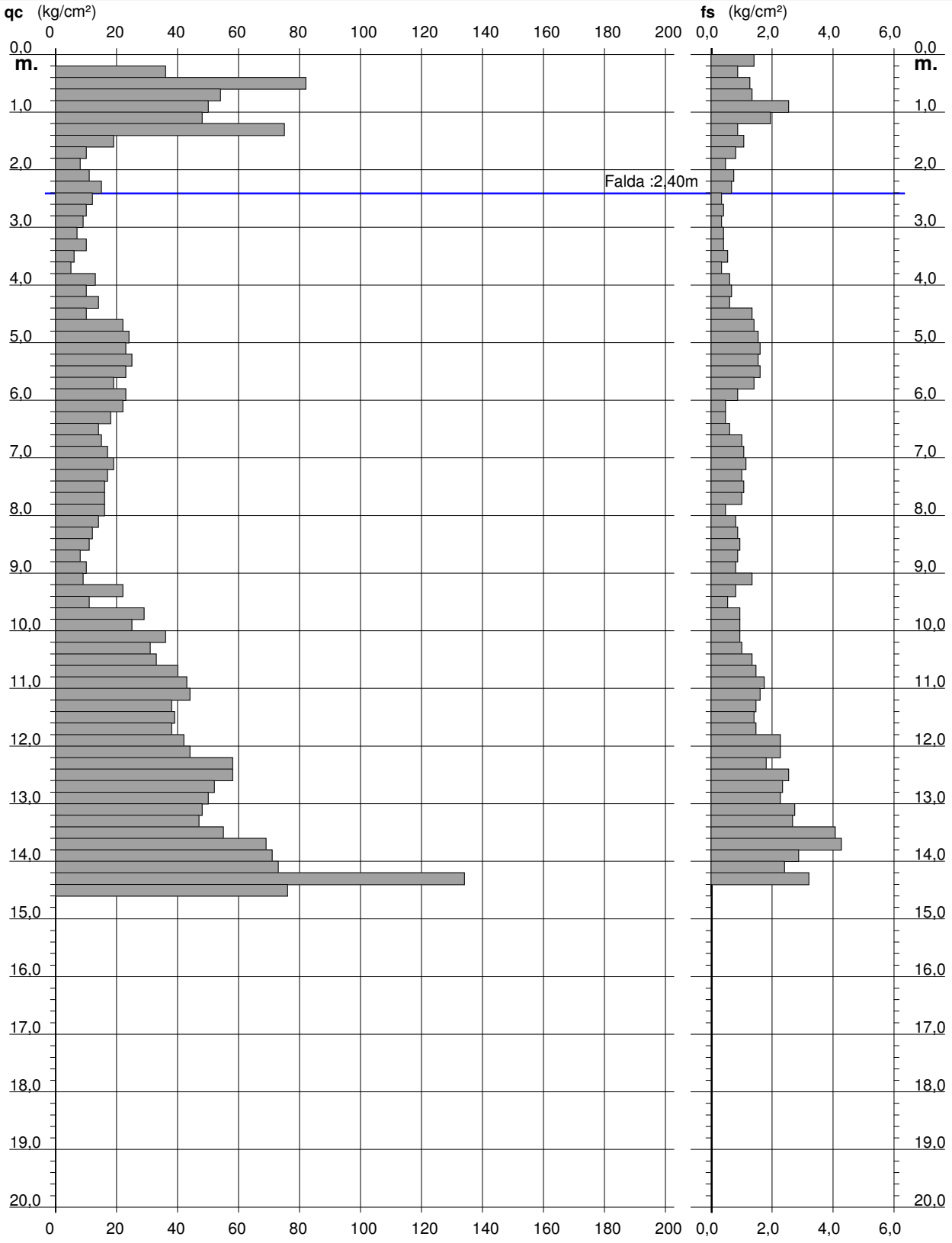
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.01PG05-179

- committente : Comunità Montana Monti del Trasimeno
- lavoro : Pian della Genna
- località : Perugia

- data : 23/09/2008
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,40 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

GTA di Bartoccioni A. e Carmeli L. S.n.c.
P.zza Risorgimento, 1
06070 - S.Mariano CORCIANO (PG)

Rifer. 9-08FR1

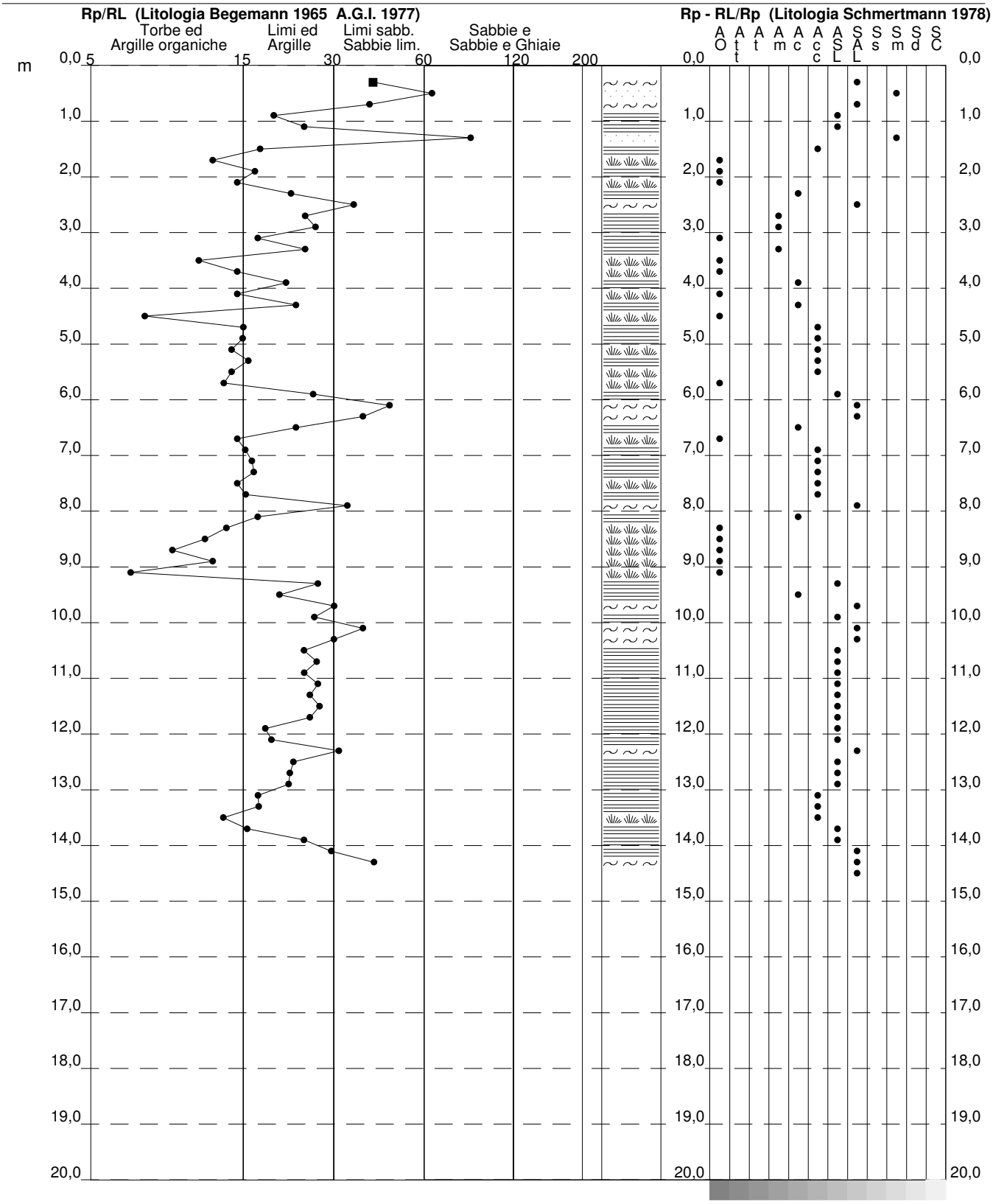
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

2.01PG05-179

- committente : Comunità Montana Monti del Trasimeno
- lavoro : Pian della Genna
- località : Perugia
- note :

- data : 23/09/2008
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,40 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



Software by: Dr.D.MERLIN - 0425/840820

GTA di Bartoccioni A. e Carmeli L. S.n.c.
P.zza Risorgimento, 1
06070 - S.Mariano CORCIANO (PG)

Rifer. 9-08FR1

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

2.01PG05-179

- committente : Comunità Montana Monti del Trasimeno
- lavoro : Pian della Genna
- località : Perugia
- note :

- data : 23/09/2008
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,40 m da quota inizio
- pagina : 1

											NATURA COESIVA										NATURA GRANULARE
Prof. m	qc kg/cm²	qc/fs (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	d'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25	Mo kg/cm²
0,20	--	--	???	1,85	0,04	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0,40	36	42	3::::	1,85	0,07	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	30	0,258	60	90	108
0,60	82	65	3::::	1,85	0,11	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	33	0,258	137	205	246
0,80	54	40	3::::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	97	42	43	44	46	43	31	0,249	90	135	162
1,00	50	20	4/:/:	1,85	0,19	1,67	98,0	283	425	150	89	41	42	44	45	41	31	0,221	83	125	150
1,20	48	25	4/:/:	1,85	0,22	1,60	74,1	272	408	144	83	40	41	43	45	40	31	0,201	80	120	144
1,40	75	87	3::::	1,85	0,26	--	--	--	--	--	95	41	43	44	46	42	32	0,241	125	188	225
1,60	19	18	2////	1,85	0,30	0,78	20,9	132	198	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1,80	10	12	2////	1,85	0,33	0,50	10,4	85	128	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,00	8	17	2////	1,85	0,37	0,40	6,9	93	140	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,20	11	15	2////	1,85	0,41	0,54	8,9	96	145	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,40	15	22	2////	0,95	0,43	0,67	11,0	113	170	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
2,60	12	36	4/:/:	0,88	0,44	0,57	8,6	105	158	45	19	31	34	36	40	30	26	0,036	20	30	36
2,80	10	25	2////	0,90	0,46	0,50	6,9	116	174	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,00	9	27	2////	0,88	0,48	0,45	5,8	128	192	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,20	7	17	2////	0,84	0,50	0,35	4,1	138	208	32	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,40	10	25	2////	0,90	0,51	0,50	6,1	136	203	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,60	6	11	1***	0,46	0,52	0,30	3,1	29	43	9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
3,80	5	15	1***	0,46	0,53	0,25	2,4	28	42	8	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,00	13	22	2////	0,93	0,55	0,60	7,1	138	207	47	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,20	10	15	2////	0,90	0,57	0,50	5,3	155	233	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,40	14	23	2////	0,94	0,59	0,64	6,9	148	222	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,60	10	7	2////	0,90	0,61	0,50	4,9	167	251	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
4,80	22	16	4/:/:	0,93	0,62	0,85	9,2	148	223	66	31	32	35	38	41	31	28	0,061	37	55	66
5,00	24	16	4/:/:	0,94	0,64	0,89	9,4	154	231	72	34	33	35	38	41	31	28	0,066	40	60	72
5,20	23	14	4/:/:	0,94	0,66	0,87	8,8	157	235	69	32	32	35	38	41	31	28	0,061	38	58	69
5,40	25	16	4/:/:	0,94	0,68	0,91	9,0	161	242	75	34	33	35	38	41	31	28	0,066	42	63	75
5,60	23	14	4/:/:	0,94	0,70	0,87	8,2	167	250	69	30	32	35	38	40	31	28	0,058	38	58	69
5,80	19	14	2////	0,99	0,72	0,78	6,9	181	272	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,00	23	27	4/:/:	0,94	0,74	0,87	7,7	179	269	69	29	32	35	37	40	30	28	0,055	38	58	69
6,20	22	47	3::::	0,86	0,76	--	--	--	--	--	27	32	34	37	40	30	28	0,051	37	55	66
6,40	18	39	4/:/:	0,91	0,77	0,75	6,0	204	306	56	19	31	34	36	40	29	27	0,037	30	45	54
6,60	14	23	2////	0,94	0,79	0,64	4,8	220	330	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6,80	15	15	2////	0,95	0,81	0,67	4,9	224	337	50	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,00	17	16	2////	0,97	0,83	0,72	5,3	227	341	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,20	19	17	2////	0,99	0,85	0,78	5,6	229	344	58	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,40	17	17	2////	0,97	0,87	0,72	5,0	240	360	54	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,60	16	15	2////	0,96	0,89	0,70	4,6	248	371	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
7,80	16	16	2////	0,96	0,91	0,70	4,5	253	380	52	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,00	16	34	4/:/:	0,90	0,93	0,70	4,4	259	388	52	11	30	33	36	39	27	27	0,022	27	40	48
8,20	14	17	2////	0,94	0,94	0,64	3,8	266	399	48	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,40	12	14	2////	0,92	0,96	0,57	3,3	269	404	45	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,60	11	12	2////	0,91	0,98	0,54	3,0	267	400	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
8,80	8	9	2////	0,86	1,00	0,40	2,0	224	336	35	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,00	10	12	2////	0,90	1,02	0,50	2,6	262	393	40	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,20	9	7	2////	0,88	1,03	0,45	2,2	246	370	38	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,40	22	27	4/:/:	0,93	1,05	0,85	4,8	292	438	66	19	31	33	36	39	28	28	0,036	37	55	66
9,60	11	21	2////	0,91	1,07	0,54	2,6	279	419	42	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
9,80	29	31	3::::	0,87	1,09	--	--	--	--	--	27	32	35	37	40	30	29	0,052	48	73	87
10,00	25	27	4/:/:	0,94	1,11	0,91	4,9	306	460	75	22	31	34	37	40	29	28	0,041	42	63	75
10,20	36	39	3::::	0,89	1,13	--	--	--	--	--	34	33	35	38	41	31	30	0,066	60	90	108
10,40	31	31	3::::	0,88	1,14	--	--	--	--	--	28	32	35	37	40	30	29	0,055	52	78	93
10,60	33	25	4/:/:	0,97	1,16	1,10	5,9	310	465	99	30	32	35	38	40	30	29	0,058	55	83	99
10,80	40	27	4/:/:	1,00	1,18	1,33	7,3	292	438	120	36	33	36	38	41	31	30	0,072	67	100	120
11,00	43	25	4/:/:	1,00	1,20	1,43	7,8	290	436	129	38	33	36	38	41	31	30	0,076	72	108	129
11,20	44	27	4/:/:	1,00	1,22	1,47	7,9	295	442	132	39	33	36	38	41	31	31	0,077	73	110	132
11,40	38	26	4/:/:	0,99	1,24	1,27	6,4	321	482	114	33	33	35	38	41	30	30	0,065	63	95	114
11,60	39	28	4/:/:	1,00	1,26	1,30	6,5	325	488	117	34	33	35	38	41	30	30	0,066	65	98	117
11,80	38	26	4/:/:	0,99	1,28	1,27	6,2	336	504	114	33	33	35	38	41	30	30	0,063	63	95	114
12,00	42	19	4/:/:	1,00	1,30	1,40	6,9	329	493	126	36	33	36	38	41	31	30	0,070	70	105	126
12,20	44	19	4/:/:	1,00	1,32	1,47	7,1	329	494	132	37	33	36	38	41	31	31	0,073	73	110	132
12,40	58	32	3::::	0,93	1,34	--	--	--	--	--	46	34	37	39	42	32	31	0,094	97	145	174
12,60	58	23	4/:/:	1,02	1,36	1,93	9,7	330	496	174	46	34	37	39	42	32	31	0,093	97	145	174
12,80	52	22	4/:/:	1,01	1,38	1,73	8,3	329	493	156	42	34	36	39	41	32	31	0,084	87	130	156
13,00	50	22	4/:/:	1,01	1,40	1,67	7,8	339	508	150	40	34	36	39	41	31	31	0,080	83	125	150
13,20	48	18	4/:/:	1,01	1,42	1,60	7,3	352	528	144	38	33	36	38	41	31	31	0,076	80	120	144
13,40	47	18	4/:/:	1,01	1,44	1,57	7,0	362	544	141	37	33	36	38	41	31	31	0,073	78	118	141
13,60	55	14	4/:/:	1,01	1,46	1,83	8,3	348	522	165	42	34	36	39	41	32	31	0,085	92	138	165
13,80	69	16	4/:/:	1,02	1,48	2,30	10,9	391	586	207	50	35	37	40	42	33	32	0,103	115	173	207
14,00	71	25	4/:/:	1,03	1,50	2,37	11,1	402	604	213	50	35	37	40	42	33	32	0,105	118	178	213
14,20	73	30	4/:/:	1,03	1,52	2,43	11,3	414	621	219	51	35	37	40	42	33	32	0,106	122	183	219
14,40	134	42	3::::	1,05	1,54	--	--	--	--	--	71	38	40	42	44	36	35	0,163	223	335	402
14,60	76	--	3::::	0,96	1,56	--	--	--	--	--	52	35	37	40	42	33	33	0,108	127	190	228

RAPPORTO CAMPAGNA GEOGNOSTICA E GEOFISICA

PERIGEO S r l Geognostica e Consolidamenti	RELAZIONE FINALE INDAGINI

COMMESSA N° 076-074/20	Determinazione N. 2798 del 12/11/2020 Prot. N. 2020/3028 CUP J93H19000460001 - CIG ZD02F2BD4F

Progetto:
NUOVO EDIFICIO ASSOCIATO AL LICEO SCIENTIFICO "ALESSI" DI PERUGIA

Oggetto:
RELAZIONE FINALE SULLE INDAGINI

Località:
VIALE CENTOVA – ZONA ITET A. CAPITINI PERUGIA

Committente:
PROVINCIA DI PERUGIA
SERVIZIO EDILIZIA SCOLASTICA E PROGRAMMAZIONE SCOLASTICA

Direttore Tecnico Perigeo srl:
GEOL. FAUSTO PELICCI

DESCRIZIONE /MODIFICA	NUMERO	DATA	REDATTO	AUTORIZZATO
Emissione	0	Dicembre 2020	A.RADICCHI	F.PELICCI
Integrazione/Revisione	1	Gennaio 2021	A.RADICCHI	F.PELICCI

Mod. 062/Rev. 2

INDICE

1.0 SCOPO DELLE INDAGINI 3

2.0 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO 4

3.0 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE 5

3.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPERPESANTI (DPSH) 5

3.2 SONDAGGI MECCANICI 6

3.2.1 PROVE SPT NEI FORI DI SONDAGGIO 7

3.2.2 PIEZOMETRI A TUBO APERTO 7

3.3 PRELIEVO DI CAMPIONI 8

3.4 INDAGINI GEOFISICHE 8

3.4.1 PROVA SISMICA TIPO MASW 8

3.5 PROVE DI LABORATORIO 9

BIBLIOGRAFIA 9

ELENCO ALLEGATI 10

1.0 PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGNI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE 10

2.0 LOGS STRATIGRAFICI E PENETROMETRICI 13

3.0 INDAGINE GEOFISICA 14

4.0 CERTIFICATI DI LABORATORIO 15

1.0 SCOPO DELLE INDAGINI

Su incarico della Provincia di Perugia - Servizio Edilizia Scolastica e programmazione rete scolastica, è stato conferito alla Perigeo Srl l'incarico per l'esecuzione delle indagini geognostiche finalizzate alla redazione di un progetto per la realizzazione di *"Nuovo Edificio associato al Liceo Scientifico "Alessi" di Perugia (PG). Lavori per ampliamento/nuova costruzione"*.

Le indagini sono state eseguite in ottemperanza alla normativa vigente e a quanto indicato dal programma di indagine fornito dalla committenza.

I sondaggi e le prove in situ sono stati eseguiti dal personale qualificato dell'impresa.

Sono stati eseguiti:

- n° 3 sondaggi meccanici a conservazione di nucleo;
- n° 3 prove penetrometriche Statiche;
- Prove di laboratorio sui campioni prelevati;
- n° 1 stendimento sismico M.A.S.W.;
- n° 1 stendimento sismico a Rifrazione in onde SH;
- n° 2 Stazioni di sismica passiva HVSR.

I tipi di indagine e le tecniche seguite, sono illustrate nella relazione che segue.

2.0 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

L'indagine è stata eseguita nel rispetto della normativa vigente ed in particolare:

- IRSA-CNR, Quaderno 64 del gennaio 1985.
- D.M. 11 marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle terre e delle opere di fondazione".
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". Circ. Ministero LL.PP. n° 30483 del 24/09/1988.
- Norme sulla sicurezza quali D.L. 528/99 D.L. 494/96, D.L. 626/94
- Allegato 2 al Titolo V, Parte IV del D.lgs. 152/06 s.m.i.
- Manuale per le indagini ambientali nei siti contaminati – APAT (ora ISPRA), Manuali e linee guida 43/2006.
- Procedure operative fornite dalla Commitenza ove presenti

La Perigeo Srl ha operato in conformità con quanto richiesto dalle ISO 9001:2000 e dal Sistema Qualità interno, applicando le proprie Procedure Operative per quanto attiene alle modalità di esecuzione dei sondaggi e per la stesura delle stratigrafie.

3.0 DESCRIZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

3.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPERPESANTI (DPSH)

3.1 – PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

Nell'ambito delle indagini eseguite, sono state realizzate n° 3 prove penetrometriche statiche (CPT). Per eseguire tali prove penetrometriche è stato utilizzato un PENETROMETRO PAGANI SUPERPESANTE mod. TG 73-100 KN conforme alle norme A.G.I..

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante (pari a 2 cm/sec). La penetrazione avviene per mezzo di un martinetto idraulico (dispositivo di spinta) opportunamente ancorato al suolo, che agisce su una batteria di aste alla cui estremità inferiore è collegata la punta.

La prova consiste nel misurare la pressione necessaria per infiggere una punta conica (di tipo telescopico), dotata di un manicotto sovrastante per la misura dell'attrito laterale (punta/manicotto tipo Begemann), per tratti di 20 cm. Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato con un sistema di rilevazione collegato al martinetto idraulico e visualizzato su un display.

Come si può vedere dalle tabelle allegate alla presente relazione, la prova permette di valutare qualitativamente il grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati. Nei diagrammi e tabelle allegate sono riportati i valori di resistenza, rilevati dalle letture di campagna durante l'infissione dello strumento. Oltre all'elaborazione dei valori di resistenza del sottosuolo, sono fornite informazioni sulla natura dei terreni attraversati, in base al rapporto Rp/Rl (rapporto Begemann) fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro (Begemann 1965; Raccomandazioni A.G.I. 1977). I dati rilevati durante la prova e la loro elaborazione sono allegati alla presente relazione.

Nella tabella sottostante sono riportati il numero e le profondità delle prove penetrometriche statiche, mentre i dati di campagna e le elaborazioni sono allegate alla presente relazione.

PROVE STATICHE CPT	Profondità in ml dal p.c.
CPT1	5,60
CPT2	10,00
CPT3	10,20

3.2 SONDAGGI MECCANICI

I sondaggi meccanici a conservazione di nucleo sono stati eseguiti con l'ausilio di una Sonda idraulica cingolata IPC Drill 830L. L'ubicazione e la profondità dei sondaggi sono quelle indicate nelle specifiche tecniche fornite dal Committente e sono riportate nelle sottostanti tabelle.

N° Sondaggio	**Profondità in ml dal p.c.**	**Completamento**
S1	15,00	
S2	15,00	
S3	15,00	Piezometro a tubo aperto

La trivella utilizzata per i lavori di indagine è corredata di tutti gli accessori necessari per un corretto funzionamento e ha consentito un recupero quasi integrale dei terreni attraversati.

Per il prelievo dei testimoni di perforazione sono stati utilizzati carotieri semplici con corona al widia e per l'attraversamento dei materiali litoidi maggiormente consistenti, qualora presenti, viene utilizzata una corona diamantata con carotiere doppio (T6). Come fluido di circolazione è stata utilizzata acqua, reperita in loco.

Data la natura dei terreni attraversati, è stato necessario rivestire parzialmente i fori, mediante tubatura provvisoria del diametro di 127 mm.

I testimoni di perforazione sono stati sistemati, momentaneamente, su indicazione della committenza, in apposite cassette in plastica per il tempo necessario ad eseguire le relative fotografie.

Tutti i dati relativi alle indagini eseguite sono stati riportati nelle stratigrafie dei sondaggi allegate alla presente relazione finale.

3.2.1 PROVE SPT NEI FORI DI SONDAGGIO

Nei fori di sondaggio sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche (S.P.T.). Le prove S.P.T. sono state eseguite con attrezzatura conforme alle norme dettate dall'Associazione Geotecnica Italiana (A.G.I.). In particolare, viene infissa a percussione una speciale punta di forma e dimensione normalizzate, che penetrando nel terreno consente di valutare la resistenza meccanica alla penetrazione e di prelevare piccoli campioni del terreno stesso.

Sondaggio	Prova	Punta Chiusa/Punta Aperta	Profondità in m dal p.c.	NSPT
S1	SPT1	PA	2.55	8-9-14
	SPT2	PA	6.0	12-12-15
	SPT3	PC	11.0	6-12-13
S2	SPT1	PA	2.55	5-6-10
	SPT2	PA	6.55	10-12-14
	SPT3	PA	90	12-20-24
S3	SPT1	PA	3.0	9-16-34
	SPT2	PA	1.5	10-12-16

In totale sono state eseguite n° 8 prove SPT nei fori di sondaggio.

3.2.2 PIEZOMETRI A TUBO APERTO

Il piezometro a tubo aperto è costituito da una batteria di tubi in PVC di diametro esterno di 65 mm giuntati e fenestrati. Dopo un accurato lavaggio del foro ed in presenza del tubo di rivestimento, è stato introdotto il tubo in PVC fino alla profondità prevista. L'intercapedine è stata riempita con materiale granulare tra il fondo foro (-15 m dal p.c.) a – 6 m dal p.c.. Dopo aver eseguito un tappo bentonico dello spessore di circa 1 m, si è proceduto al riempimento dell'anulus con bentonite e boiacca cementizia tra -5 e -1 m dal p.c.. Tra -1 m ed p.c. il foro è stato cementato.

Infine una piazzola di cemento di lato 50x50cm, protegge i pozzetti metallici posti a copertura dei tubi piezometrici.

3.3 PRELIEVO DI CAMPIONI

Per il prelievo dei campioni indisturbati sono stati utilizzati campionatori a pareti sottili Shelby.

I campioni prelevati sono stati inviati presso il Laboratorio Geo-Ecotest del Dott. Ing. Fabio Bonazzi Bonaca per le analisi previste. I risultati delle analisi sono allegati alla presente relazione.

Sondaggio	Tipo campione	Nome Campione	Intervallo profondità prelievo in ml
S1	She[2]	S1She1	2.0-2.6
S2	She[2]	S2She1	2.0-2.6
	She[2]	S2She2	6.0-6.6
S3	She[2]	S3She1	2.4-3.0
	She[2]	S3She2	7.4-8.0

([1]) – Dis - Campione Disturbato

([2]) – She - Campione Shelby

3.4 INDAGINI GEOFISICHE

3.4.1 PROVA SISMICA TIPO MASW

Su incarico della Provincia di Perugia - Servizio Edilizia Scolastica e programmazione rete scolastica, è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche per valutare le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni oggetto di intervento. Il piano di indagine è stato eseguito al fine di analizzare le caratteristiche sismo stratigrafiche di sito, così come stabilito dal DM 17/01/2018. Sono state realizzate le seguenti indagini geofisiche:

- n° 1 stendimento sismico M.A.S.W.;
- n° 1 stendimento sismico a Rifrazione in onde SH;
- n° 2 Stazioni di sismica passiva HVSR.

Alla presente viene allegato il report delle indagini geofisiche eseguite a cui si rimanda per ogni precisazione.

3.5 PROVE DI LABORATORIO

I campioni prelevati sono stati consegnati al laboratorio Geo Eco Test S.r.l. di Trevi (PG) sui quali sono state eseguite le indagini richieste dalla committenza.

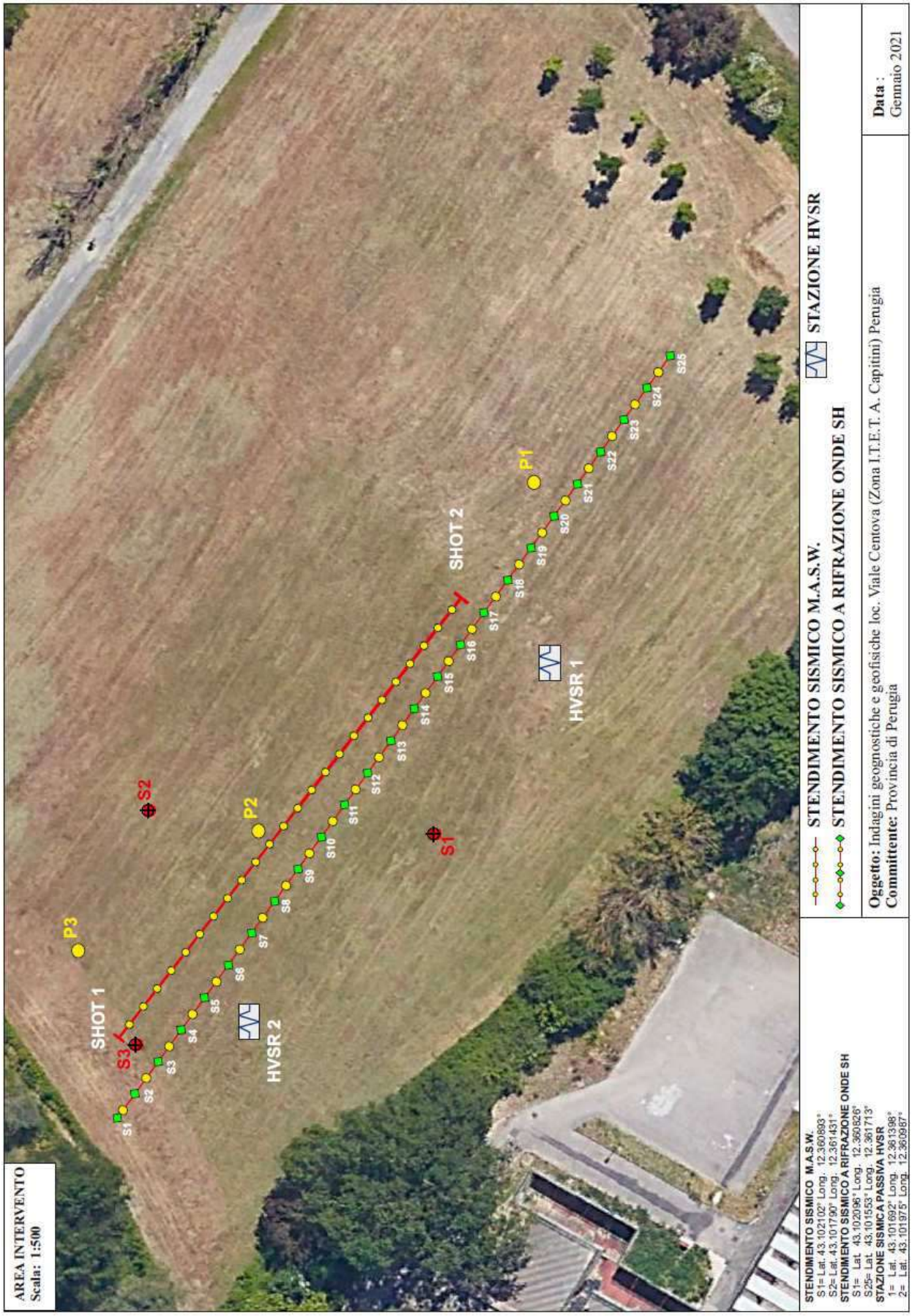
Alla presente viene allegato il report delle indagini di laboratorio eseguite.

BIBLIOGRAFIA

- **ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA** (1977): *"Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche"*;
- **CESTARI FERRUCCIO** (1990) *"Prove geotecniche in sito"*. GEO-GRAPH SNC SEGRATE;
- **SOCIETA' GEOLOGICA ITALIANA** (1994)
  GUIDE GEOLOGICHE REGIONALI: *"APPENNINO UMBRO-MARCHIGIANO"*
  BEMA EDITRICE

ELENCO ALLEGATI

1.0 PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGNI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE


AREA INTERVENTO
Scala: 1:500
STENDIMENTO SISMICO M.A.S.W.
S1=Lat. 43.102102° Long. 12.360893°
S2=Lat. 43.101790° Long. 12.361431°
STENDIMENTO SISMICO A RIFRAZIONE ONDE SH
S1= Lat. 43.102096° Long. 12.360826°
S25= Lat. 43.101553° Long. 12.361713°
STAZIONE SISMICA PASSIVA HVSR
1= Lat. 43.101692° Long. 12.361398°
2= Lat. 43.101975° Long. 12.360987°
SHOT 1
SHOT 2
S1
S2
S3
P1
P2
P3
HVSR 1
HVSR 2
STENDIMENTO SISMICO M.A.S.W.
STENDIMENTO SISMICO A RIFRAZIONE ONDE SH
STAZIONE HVSR
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capitini) Perugia
Committente: Provincia di Perugia
Data : Gennaio 2021

2.0 LOGS STRATIGRAFICI E PENETROMETRICI

STRATIGRAFIA - S1

SCALA 1 : 75 Pagina 1/1

Riferimento: Provincia di Perugia 074-076/20	Sondaggio: S1
Località: Loc. viale Centova Perugia (zona ITET A. Capitini)	Quota:
Impresa esecutrice: Perigeo srl	Data: 2/12/2020
Coordinate:	Redattore: Dott. fausto Pelicci
Perforazione: Carotaggio continuo a conservazione di nucleo	

ø mm	Rv	Ar	As	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
														0,7	Coltre agraria di natura limo argillosa
					1										Argilla limosa con inclusi detritici di colore dal nocciola al grigio verde. Molto consistenti
					2		1) She < 2,00 2,60	2.7	2		8-9-14	23			
					3										
					4										
					5									5,4	
					6			3.5	5.8		12-12-15	27			Deposito argilloso limosodi colore prevalentemente marrone, con screziature dal verdastro al nerastro e inclusi detritici delle dimensioni delle sabbie grossolane.
					7			3.2	6						
					8			3.5							
					9										
					10			3.5	6.5						
					11			4.5	6		6-12-13	25			
					12										
					13			2.5	4						
					14										
101					15									15,0	

Provincia di Perugia 074-076/20 Loc. viale Centova Perugia (zona ITET A. Capitini) 2/12/2020 Carotaggio continuo a conservazione di nucleo Perigeo srl Dott. fausto Pelicci

STRATIGRAFIA - S2

SCALA 1 : 75 Pagina 1/1

Riferimento: Provincia di Perugia 074-076/20	Sondaggio: S2
Località: Loc. viale Centova Perugia (zona ITET A. Capitini)	Quota:
Impresa esecutrice: Perigeo srl	Data: 2/12/2020
Coordinate:	Redattore: Dott. fausto Pelicci
Perforazione: Carotaggio continuo a conservazione di nucleo	

ø mm	Rv	Ar	As	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
														0,4	Coltre agraria di natura limo argillosa
					1										Argilla limosa con inclusi detritici di colore dal nocciola al grigio verde. Da consistenti a molto consistenti.
					2		1) She < 2,00 2,60				5-6-10	16			
					3										
					4			3.5	6						
					5			8	8					5,2	
					6		2) She < 6,00 6,60				10-12-14	26			Deposito argilloso limosodi colore prevalentemente marrone, con screziature dal verdastro al nerastro e inclusi detritici delle dimensioni delle sabbie grossolane. Da molto consistenti a consistenti.
					7										
					8										
					9						12-20-24	44			
					10										
					11									11,8	
					12										Sabbie fini di colore marrone in matrice limo-sabbiosa. Molto consistente.
					13									13,0	
															Deposito argilloso limosodi colore prevalentemente marrone, con screziature dal verdastro al nerastro e inclusi detritici delle dimensioni delle sabbie grossolane.
					14									13,9	Sabbie fini e limimi di colore grigio e con presenza di deposito marnosi leggermente cementato.
101					15									15,0	

STRATIGRAFIA - S3

SCALA 1 : 75 Pagina 1/1

Riferimento: Provincia di Perugia 074-076/20	Sondaggio: S3
Località: Loc. viale Centova Perugia (zona ITET A. Capitini)	Quota:
Impresa esecutrice: Perigeo srl	Data: 2/12/2020
Coordinate:	Redattore: Dott. fausto Pelicci
Perforazione: Carotaggio continuo a conservazione di nucleo	

ø mm	Rv	Ar	As	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.	N	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
														0,5	Coltre agraria di natura limo argillosa
					1										Argilla limosa con inclusi detritici di colore dal nocciola al grigio verde. Molto consistenti
					2		1) She < 2,40 3,00								
					3						6-10-14	24			
					4									4,0	
					5			3.2	5						Deposito argilloso limosodi colore prevalentemente marrone, con screziature dal verdastro al nerastro e inclusi detritici delle dimensioni delle sabbie grossolane. Molto consistenti.
					6										
					7		2) She < 7,40 8,00	4.5	6						
					8						3-6-12	18			
					9										
					10										
					11									11,4	
					12										Sabbie fini di colore marrone in matrice limo-sabbiosa. Molto consistente.
					13										
					14									13,8	Deposito argilloso limosodi colore prevalentemente marrone, con screziature dal verdastro al nerastro e inclusi detritici delle dimensioni delle sabbie grossolane.
														14,6	Sabbie fini e limimi di colore grigio e con presenza di deposito marnosi leggermente cementato.
101					15									15,0	

PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI

SCALA 1:1.000

S1 – Ubicazione sondaggio

S1 – 1di3

S1 2di3

S1 3di3

S2 – Ubicazione sondaggio

S2 – 1di3

S2 2di3

S2 3di3

S3 – Ubicazione sondaggio

S3 – 1di3

S3 2di3

S3 3di3

PROVINCIA DI PERUGIA

INDAGINI GEOGNOSTICHE-GEOFISICHE
LOC. VIALE CENTOVA
(ZONA ITET A.CAPITINI)- PERUGIA

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

UBICAZIONE INDAGINE PENETROMETRICA DPSH

Prova P1

Prova P2

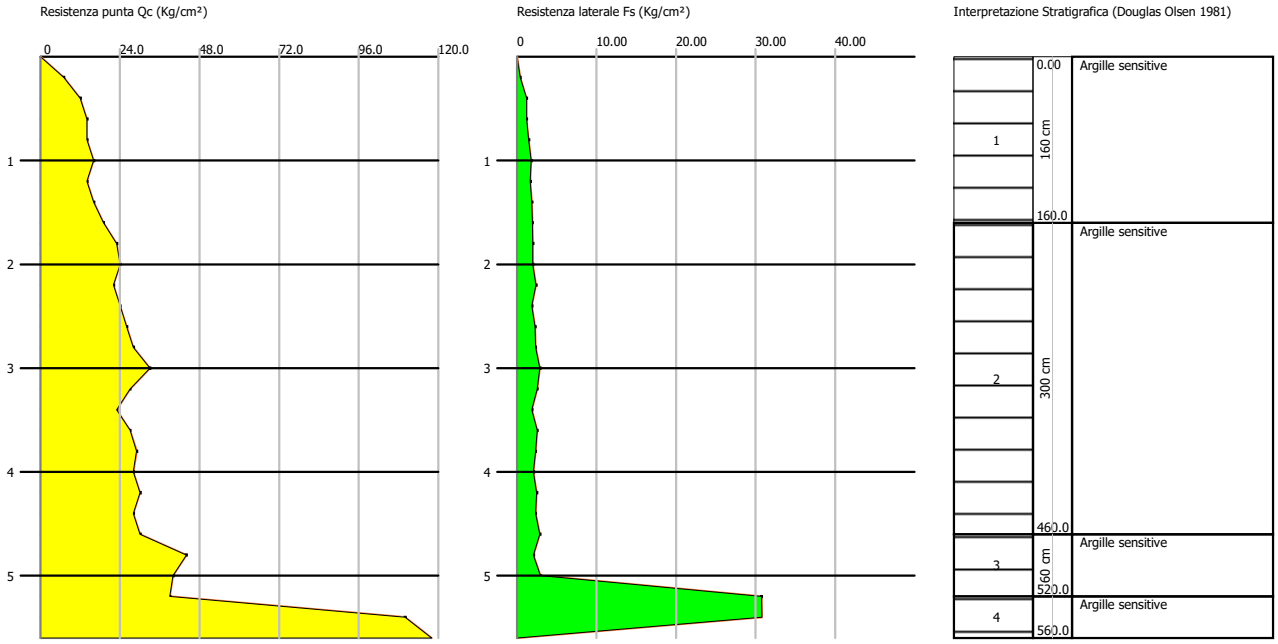
Foto – P3

PERIGEO SRL
VIA DELLA PIAGGIOLA 152
06024 - GUBBIO (PG)
Tel 075/9221055

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Provincia Perugia
Cantiere: Zona Itet A.Capitini
Località: Perugia

Data: 18/11/2020



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm²)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm²)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	1.60	C	0.7	519.3	48.3	140.4	>9	1.9	2.0	--	--	--	171.19
2	4.60	C	1.3	982.3	53.6	208.8	>9	2.0	2.1	--	--	--	239.94
3	5.20	C	2.1	1501.2	82.0	270.8	>9	2.1	2.2	--	--	--	279.33
4	5.60	C	5.7	4234.7	228.0	505.7	>9	2.3	2.3	--	--	--	341.91

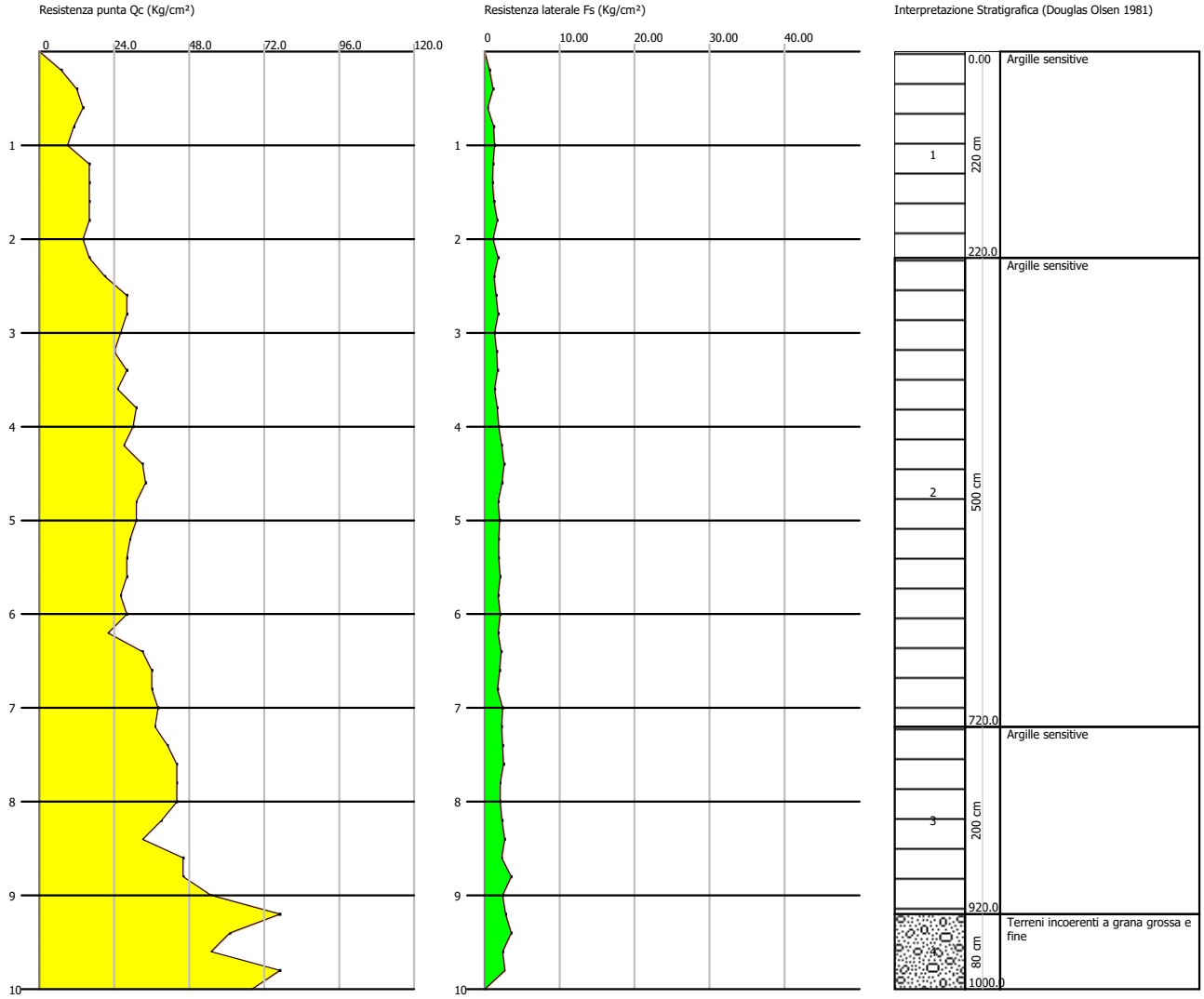
P1 - Prova penetrometrica statica

PERIGEO SRL
VIA DELLA PIAGGIOLA 152
06024 - GUBBIO (PG)
Tel 075/9221055

Probe CPT - Cone Penetration Nr.2
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Provincia Perugia
Cantiere: Zona Itet A.Capitini
Località: Perugia

Data: 18/11/2020



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm²)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm²)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	2.20	C	0.7	493.3	48.1	136.5	>9	1.9	2.0	--	--	--	178.60
2	7.20	C	1.5	1072.6	59.0	221.5	>9	2.0	2.1	--	--	--	261.04
3	9.20	C	2.4	1697.7	93.8	293.9	>9	2.1	2.2	--	--	--	311.01
4	10.00	I	--	--	97.9	359.6	<0.5	1.8	2.1	5.0	33.3	163.1	379.00

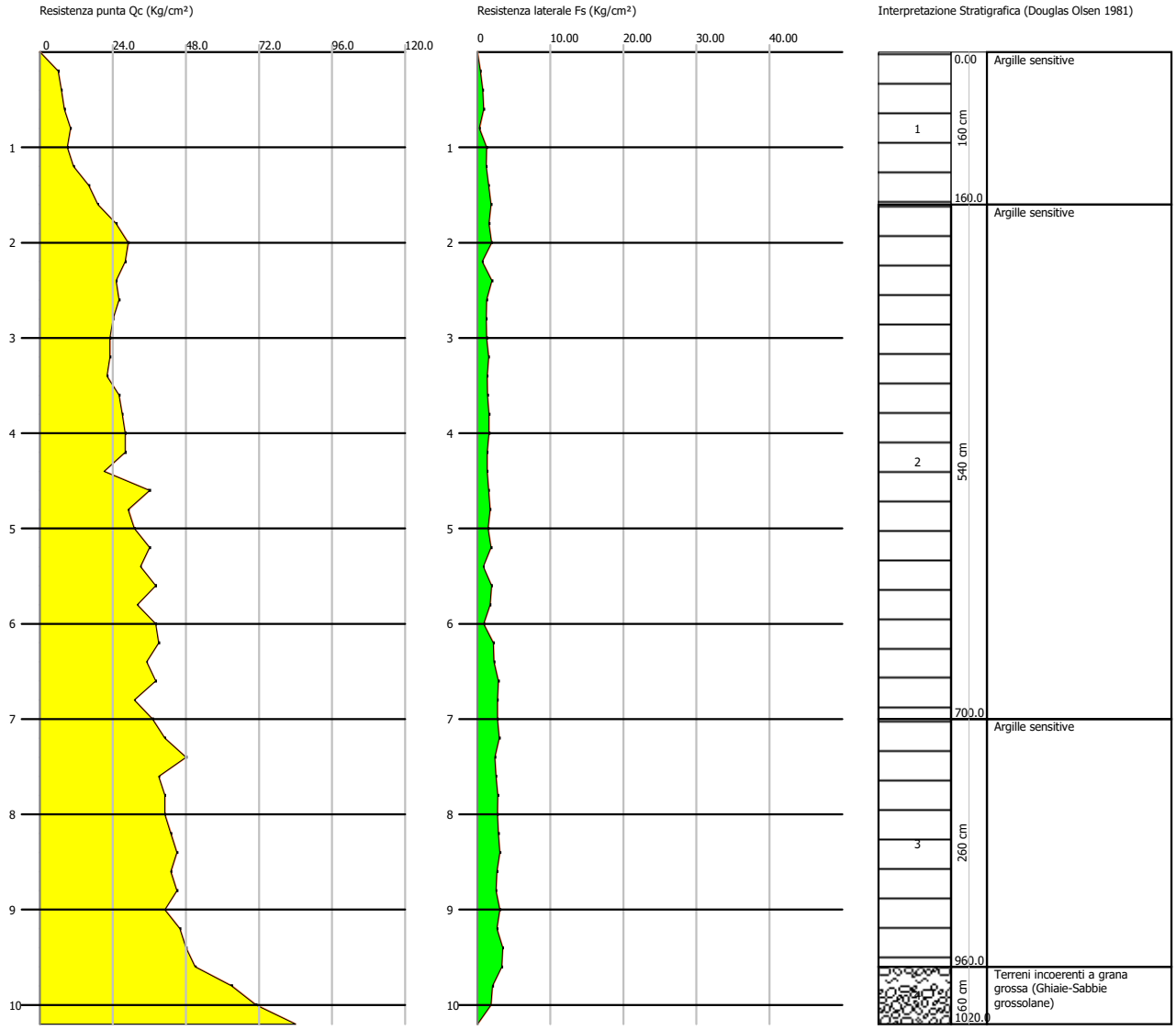
P2 – Prova penetrometrica statica

PERIGEO SRL
VIA DELLA PIAGGIOLA 152
06024 - GUBBIO (PG)
Tel 075/9221055

Probe CPT - Cone Penetration Nr.3
Strumento utilizzato PAGANI 100 kN

Committente: Provincia Perugia
Cantiere: Zona Itet A.Capitini
Località: Perugia

Data: 18/11/2020



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

Nr:	Numero progressivo strato
Prof:	Profondità strato (m)
Tipo:	C: Coesivo. I: Incoerente. CI: Coesivo-Incoerente
Cu:	Coesione non drenata (Kg/cm²)
Eu:	Modulo di deformazione non drenato (Kg/cm²)
Mo:	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
G:	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
OCR:	Grado di sovraconsolidazione
Puv:	Peso unità di volume (t/m³)
PuvS:	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Dr:	Densità relativa (%)
Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Ey:	Modulo di Young (Kg/cm²)
Vs:	Velocità onde di taglio (m/s)

Nr.	Prof.	Tipo	Cu	Eu	Mo	G	OCR	Puv	PuvS	Dr	Fi	Ey	Vs
1	1.60	C	0.5	397.4	45.0	119.5	>9	1.9	1.9	--	--	--	163.20
2	7.00	C	1.5	1090.6	59.9	223.4	>9	2.0	2.1	--	--	--	258.20
3	9.60	C	2.2	1587.9	88.0	282.7	>9	2.1	2.2	--	--	--	308.31
4	10.20	I	--	--	109.0	384.1	<0.5	1.8	2.1	5.0	33.7	181.7	391.12

P3 – Prova penetrometrica statica

Committente: Provincia Perugia Cantiere: Zona Itet A.Capitini Località: Perugia	Codice commessa: 074-076-20 Numero certificati allegati: 3

Caratteristiche Strumentali PAGANI 100 kN

Rif. Norme	**ASTM D3441-86**
Diametro Punta conica meccanica	**35.7**
Angolo di apertura punta	**60**
Area punta	**10**
Superficie manicotto	**150**
Passo letture (cm)	**20**
Costante di trasformazione Ct	**10**

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE

(CONE PENETRATION TEST)

CPT

PROVE CPT : METODOLOGIA DELL' INDAGINE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante (v = 2 cm / s ± 0,5 cm / s).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale : punta / manicotto tipo **"Begemann"**.

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica ∅ = 35,7 mm

- area di punta Ap = 10 cm^2
- angolo di apertura del cono α = 60 °
- superficie laterale del manicotto Am = 150 cm^2

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'infissione.

REGISTRAZIONE DATI.

Una cella di carico, che rileva gli sforzi di infissione, è montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata "selettore", che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna.

Durante la fase di spinta le aste sono azionate automaticamente da un comando idraulico. L'operatore deve solamente controllare i movimenti di spinta per l'infissione delle aste.

I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico (qualora presente) o sui manometri.

Per mezzo di un software (in alcuni strumenti) è possibile sia durante l'acquisizione, che in un secondo momento a prove ultimate trasferire i dati ad un PC.

Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm^2) durante l'infissione sono le seguenti:

- Lettura alla punta **LP** = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta
- Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto
- Lettura totale **LLTT** = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "***STATIC PROBING***" della GeoStru

La resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

Ap = l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann") = 10 cm^2

Am = area del manicotto di frizione = 150 cm^2

Ct = costante di trasformazione =10

Il programma Static Probing permette inoltre l'archiviazione, la gestione e l'elaborazione delle Prove Penetrometriche Statiche.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il Rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %).

I valori sono calcolati con queste formule:

Qc (RP) = (LP x Ct) / 10 cm^2. **Resistenza alla punta**

Ql (RL) (fs) = [(LT – LP) x Ct] / 150 cm^2. **Resistenza laterale**

Qc (RP) = Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct / Superficie Punta Ap

Ql (RL) (fs) = Lettura laterale LT- Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione Ct / Am area del manicotto di frizione

N.B.

- Ap = 10 cm^2 e Am = 150 cm^2

- la resistenza laterale viene conteggiata **20 cm sotto** (alla quota della prima lettura della punta)

VALUTAZIONI STATISTICHE

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Static Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Medio

Media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Media (+) s

Media (+) scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Media (–) s

Media (-) scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

CORRELAZIONI

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati. Il programma esegue inoltre il grafico (per i vari autori) Profondità/Valutazioni litologiche, per visualizzare in maniera diretta l'andamento delle litologie presenti lungo la verticale indagata.

INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (Autori di riferimento)

- Searle 1979
- Douglas Olsen 1981 (consigliato per CPTE)
- A.G.I. 1977 (consigliato per CPT)
- Schmertmann 1978 (consigliato per CPT)
- Robertson 1983-1986 (consigliato per CPTE)
- Begemann 1965 (consigliato per CPT)

Suddivisione delle metodologia di indagine con i Penetrometri statici

CPT (Cone Penetration Test – punta Meccanica tipo Begemann)

CPTE (Cone Penetration Test Electric – punta elettrica)

CPTU (Piezocono)

Per quanto riguarda la PUNTA ELETTRICA generalmente tale strumento permette di ottenere dati in continuo con un passo molto ravvicinato (anche 2 cm.) rispetto al PUNTA MECCANICA (20 cm.).

Per il PIEZOCONO i dati di inserimento oltre a quelli di LP e LT sono invece la pressione neutrale misurata ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della sovrappressione neutrale e la pressione neutrale o pressione della colonna d'acqua). Tale misurazione si effettua generalmente misurando la sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione neutrale (dissipazione nel tempo) misurata in fase di alleggerimento di spinta (arresto penetrazione). Il programma usato per le elaborazioni permette di immettere U1 – U2 – U3 cioè la sovrappressione neutrale misurata rispettivamente con filtro poroso posizionato nel cono, attorno al cono, o attorno al manicotto a seconda del tipo di piezocono utilizzato. Tale sovrappressione (che è data dalla somma della pressione idrostatica preesistente la penetrazione e dalle pressioni dei pori prodotte dalla compressione) può essere positiva o negativa e generalmente varia da (-1 a max. + 10-20 kg/cmq) ed è prodotta dalla compressione o dilatazione del terreno a seguito della penetrazione. Per il calcolo oltre ai dati strumentali generali si deve immettere per una correzione dei valori immessi :

Area punta del cono (area esterna punta)

Area interna punta del cono (area del restringimento in prossimità del setto poroso – interna cono-manicotto). Generalmente il rapporto tra le aree varia da (0,70 – 1,00).

Il Passo del penetrometro (l'intervallo entro cui effettua la lettura, generalmente per penetrometri normali è 20 cm., per le punte elettriche-piezoconi può essere di 2 cm).

Il programma elabora quindi i dati di resistenza alla punta e laterale fs con le opportune correzioni dovute alla normalizzazione (con la tensione litostatica e con la pressione dei pori). Robertson definisce infine il valore caratteristico del Ic (Indice di tipo dello strato) e Contenuto in materiale fine FC % (cioè la percentuale di contenuto argilloso < 2 micron).

CORRELAZIONI GEOTECNICHE

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

Ad ogni strato mediato il programma calcola la Qc media, la fs media, il peso di volume naturale medio, il comportamento geotecnico (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), ed applica una texture.

L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

TERRENI INCOERENTI

Angolo di Attrito

Angolo di Attrito (Durgunouglu-Mitchell 1973-1975) – per sabbie N.C. e S.C. non cementate

Angolo di Attrito (Meyerhof 1951) – per sabbie N.C. e S.C.

Angolo di Attrito Herminier

Angolo di Attrito (Caquot) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Angolo di Attrito (Koppejan) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Angolo di Attrito (De Beer 1965-1967) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Angolo di Attrito (Robertson & Campanella 1983) - per sabbie non cementare quarzose

Angolo di Attrito (Schmertmann 1977-1982) – per varie litologie (correlazione che generalmente sovrastima il valore)

Densità relativa (%)

Densità Relativa (Baldi ed altri 1978-1983 - Schmertmann 1976) - per sabbie NC non cementate

Densità Relativa (Schmertmann)

Densità Relativa (Harman 1976)

Densità Relativa (Lancellotta 1983)

Densità Relativa (Jamiolkowski 1985)

Densità Relativa (Larsson 1995) - per sabbie omogenee non gradate

Modulo di Young

Modulo di Young (Schmertmann 1970-1978) Ey (25) – Ey(50) - modulo secante riferito rispettivamente al 25 % e 50 % del valore di rottura – prima fase della curva carico/deformazione

Modulo di Young secante drenato (Robertson & Campanella 1983) Ey (25) – Ey(50)- per sabbie NC

Quarzose.

Modulo di Young (ISOPT-1 1988) Ey (50) - per sabbie OC sovraconsolidate e SC

Modulo Edometrico

Modulo Edometrico (Robertson & Campanella) da Schmertmann

Modulo Edometrico (Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997) - valido per sabbie NC

Modulo Edometrico (Kulhawy-Mayne 1990)

Modulo Edometrico (Mitchell & Gardner 1975) – valido per sabbie

Modulo Edometrico (Buisman - Sanglerat) – valido per sabbie argillose

Peso di Volume

Peso di Volume (Meyerhof) -

Peso di Volume saturo (Meyerhof) -

Modulo di deformazione di taglio

Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per **sabbie** e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Potenziale di Liquefazione

Verifica alla liquefazione dei suoli incoerenti (Metodo di Robertson e Wride 1997 – C.N.R. – GNDT) – coefficiente di sicurezza relativo alle varie zone sismiche I-I-III-IV cat. – N.B. la liquefazione è assente per Fs >= 1,25, possibile per Fs=1,0-1,25 e molto probabile per Fs < 1

Fattori di compressibilità

Ramo di carico C (autori vari)

Ramo di carico medio Crm (autori vari)

OCR **-** Grado di Sovraconsolidazione

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (metodo Stress-History)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Larsson 1991 S.G.I.)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (Ladd e Foot - Ladd ed altri 1977)

Modulo Di Reazione Ko

(Kulhawy Maine, 1990).

Correlazione NSPT

Meardi – Meigh 1972

Meyerhof

TERRENI COESIVI

Coesione Non Drenata

Coesione non drenata (Lunne & Eide)

Coesione non drenata (Rolf Larsson SGI 1995) - suoli fini granulari

Coesione non drenata (Baligh ed altri 1976-1980) in tale elaborazione occorre inserire il valore di Nk (generalmente variabile da 11 a 25)

Coesione non drenata (Marsland 1974-Marsland e Powell 1979)

Coesione non drenata Sunda (relazione sperimentale)

Coesione non drenata (Lunne T.-Kleven A. 1981)

Coesione non drenata (Kjekstad. 1978)

Coesione non drenata (Lunne, Robertson and Powell 1977)

Coesione non drenata (Terzaghi - valore minimo)

Coesione non drenata (Begemann)

Coesione non drenata (De Beer) - valida per debole coesione.

Indice Di Compressione C

Indice di Compressione Vergine Cc (Schmertmann)

Indice di Compressione Vergine Cc (Schmertmann 1978)

Fattore di compressibilità ramo di carico C (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Fattore di compressibilità medio ramo di carico Crm (Piacentini-Righi Inacos 1978).

Modulo Edometrico-Confinato

Mitchell - Gardnerr (1975) Mo (Eed) (Kg/cmq) per limi e argille.

Metodo generale del modulo edometrico.

Buisman correlazione valida per limi e argille di media plasticità – Alluvioni attuali argille plastiche – suoli organici (W 90-130)

Buisman e Sanglerat valida per litotipi argille copatte

Valore medio degli autori su suoli coesivi

Modulo di deformazione non drenato

Modulo di deformazione non drenato Eu (Cancelli ed altri 1980)

Modulo di deformazione non drenato Eu (Ladd ed altri 1977) – (Inserire valore **n** 30 < n < 1500 sulla base di esperienze acquisite e del tipo

litologico)

Peso di Volume

Peso di Volume terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Peso di Volume saturo terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Modulo di deformazione di taglio)

Imai & Tonouchi (1982)

OCR

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (metodo Stress-History)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (P.W. Mayne 1991) - per argille ed argille sovraconsolidate

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Larsson 1991 S.G.I.)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Grado di Sovraconsolidazione Jamiolkowski et altri 1979 – valida per argilla di Taranto

Grado di Sovraconsolidazione Schmertmannn 1978

Coefficiente Di Consolidazione Verticale

Coefficiente di Consolidazione Cv (Piacentini-Righi, 1988)

Permeabilità

Coefficiente di Permeabilità K (Piacentini-Righi, 1988)

PROVA ... Nr.1

Committente: Provincia Perugia
Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN
Prova eseguita in data: 18/11/2020
Profondità prova: 5.60 mt
Località: Perugia

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	7.00	9.0	7.0	0.4	17.5	5.7
0.40	12.00	18.0	12.0	1.2	10.0	10.0
0.60	14.00	32.0	14.0	1.2	11.667	8.6
0.80	14.00	32.0	14.0	1.466667	9.545	10.5
1.00	16.00	38.0	16.0	1.8	8.889	11.3
1.20	14.00	41.0	14.0	1.666667	8.4	11.9
1.40	16.00	41.0	16.0	1.866667	8.571	11.7
1.60	19.00	47.0	19.0	1.933333	9.828	10.2
1.80	23.00	52.0	23.0	2.0	11.5	8.7
2.00	24.00	54.0	24.0	2.0	12.0	8.3
2.20	22.00	52.0	22.0	2.4	9.167	10.9
2.40	24.00	60.0	24.0	1.866667	12.857	7.8
2.60	26.00	54.0	26.0	2.266667	11.471	8.7
2.80	28.00	62.0	28.0	2.333333	12.0	8.3
3.00	33.00	68.0	33.0	2.866667	11.512	8.7
3.20	27.00	70.0	27.0	2.533333	10.658	9.4

3.40	23.00	61.0	23.0	1.866667	12.321	8.1
3.60	27.00	55.0	27.0	2.533333	10.658	9.4
3.80	29.00	67.0	29.0	2.333333	12.429	8.0
4.00	28.00	63.0	28.0	2.066667	13.548	7.4
4.20	30.00	61.0	30.0	2.466667	12.162	8.2
4.40	28.00	65.0	28.0	2.333333	12.0	8.3
4.60	30.00	65.0	30.0	2.866667	10.465	9.6
4.80	44.00	87.0	44.0	2.066667	21.29	4.7
5.00	40.00	71.0	40.0	2.933333	13.636	7.3
5.20	39.00	83.0	39.0	30.73333	1.269	78.8
5.40	110.00	571.0	110.0	30.8	3.571	28.0
5.60	118.00	580.0	118.0	0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1.60	14.0	1.441667	1.9	Coesivo	Argille sensitive
4.60	26.8	2.315556	2.0	Coesivo	Argille sensitive
5.20	41.0	11.91111	2.1	Coesivo	Argille sensitive
5.60	114.0	15.4	2.3	Coesivo	Argille sensitive

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI Nr.1

TERRENI COESIV I

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi
Strato 1	1.60	14.0	1.441667	0.79	0.98	0.92	0.81	0.73	0.70
Strato 2	4.60	26.8	2.315556	1.50	1.64	1.75	1.54	1.38	1.34
Strato 3	5.20	41.0	11.91111	2.29	2.21	2.67	2.35	2.11	2.05
Strato 4	5.60	114.0	15.4	6.47	3.88	7.53	6.64	5.94	5.70

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 1	1.60	14.0	1.441667	70.00	48.33	84.00	42.00
Strato 2	4.60	26.8	2.315556	67.00	53.60	80.40	80.40
Strato 3	5.20	41.0	11.91111	102.50	82.00	123.00	123.00
Strato 4	5.60	114.0	15.4	285.00	228.00	342.00	171.00

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (30)
Strato 1	1.60	14.0	1.441667	519.30	21.00
Strato 2	4.60	26.8	2.315556	982.35	40.20
Strato 3	5.20	41.0	11.91111	1501.24	61.50
Strato 4	5.60	114.0	15.4	4234.65	171.00

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
Strato 1	1.60	14.0	1.441667	Imai & Tomauchi	140.42
Strato 2	4.60	26.8	2.315556	Imai & Tomauchi	208.81
Strato 3	5.20	41.0	11.91111	Imai & Tomauchi	270.75
Strato 4	5.60	114.0	15.4	Imai & Tomauchi	505.74

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Stress-History
Strato 1	1.60	14.0	1.441667	2.14

Strato 2	4.60	26.8	2.315556	1.03
Strato 3	5.20	41.0	11.91111	0.99
Strato 4	5.60	114.0	15.4	2.46

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	1.60	14.0	1.441667	Meyerhof	1.91
Strato 2	4.60	26.8	2.315556	Meyerhof	2.02
Strato 3	5.20	41.0	11.91111	Meyerhof	2.09
Strato 4	5.60	114.0	15.4	Meyerhof	2.26

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	1.60	14.0	1.441667	Meyerhof	1.99
Strato 2	4.60	26.8	2.315556	Meyerhof	2.10
Strato 3	5.20	41.0	11.91111	Meyerhof	2.17
Strato 4	5.60	114.0	15.4	Meyerhof	2.34

PROVA ... Nr.2

Committente: Provincia Perugia
Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN
Prova eseguita in data: 18/11/2020
Profondità prova: 10.00 mt
Località: Perugia

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	7.00	11.0	7.0	0.666667	10.5	9.5
0.40	12.00	22.0	12.0	1.133333	10.588	9.4
0.60	14.00	31.0	14.0	0.4	35.0	2.9
0.80	11.00	17.0	11.0	1.2	9.167	10.9
1.00	9.00	27.0	9.0	1.333333	6.75	14.8
1.20	16.00	36.0	16.0	1.133333	14.118	7.1
1.40	16.00	33.0	16.0	1.066667	15.0	6.7
1.60	16.00	32.0	16.0	1.266667	12.632	7.9
1.80	16.00	35.0	16.0	1.666667	9.6	10.4
2.00	14.00	39.0	14.0	1.133333	12.353	8.1
2.20	16.00	33.0	16.0	1.8	8.889	11.3
2.40	21.00	48.0	21.0	1.266667	16.579	6.0
2.60	28.00	47.0	28.0	1.533333	18.261	5.5
2.80	28.00	51.0	28.0	1.8	15.556	6.4
3.00	26.00	53.0	26.0	1.333333	19.5	5.1
3.20	24.00	44.0	24.0	1.6	15.0	6.7
3.40	28.00	52.0	28.0	1.733333	16.154	6.2
3.60	25.00	51.0	25.0	1.333333	18.75	5.3
3.80	31.00	51.0	31.0	1.666667	18.6	5.4
4.00	30.00	55.0	30.0	1.866667	16.071	6.2
4.20	27.00	55.0	27.0	2.266667	11.912	8.4
4.40	33.00	67.0	33.0	2.6	12.692	7.9
4.60	34.00	73.0	34.0	2.333333	14.571	6.9
4.80	31.00	66.0	31.0	1.8	17.222	5.8
5.00	31.00	58.0	31.0	2.0	15.5	6.5
5.20	29.00	59.0	29.0	1.866667	15.536	6.4
5.40	28.00	56.0	28.0	1.866667	15.0	6.7
5.60	28.00	56.0	28.0	2.066667	13.548	7.4
5.80	26.00	57.0	26.0	1.8	14.444	6.9
6.00	28.00	55.0	28.0	2.066667	13.548	7.4
6.20	22.00	53.0	22.0	1.8	12.222	8.2
6.40	33.00	60.0	33.0	2.2	15.0	6.7
6.60	36.00	69.0	36.0	2.0	18.0	5.6
6.80	36.00	66.0	36.0	1.733333	20.769	4.8
7.00	38.00	64.0	38.0	2.4	15.833	6.3
7.20	37.00	73.0	37.0	2.266667	16.324	6.1
7.40	41.00	75.0	41.0	2.4	17.083	5.9
7.60	44.00	80.0	44.0	2.533333	17.368	5.8

7.80	44.00	82.0	44.0			2.066667	21.29	4.7
8.00	44.00	75.0	44.0			2.066667	21.29	4.7
8.20	39.00	70.0	39.0			2.333333	16.714	6.0
8.40	33.00	68.0	33.0			2.666667	12.375	8.1
8.60	46.00	86.0	46.0			2.266667	20.294	4.9
8.80	46.00	80.0	46.0			3.533333	13.019	7.7
9.00	55.00	108.0		55.0	2.4		22.917	4.4
9.20	77.00	113.0		77.0		2.8	27.5	3.6
9.40	61.00	103.0	61.0			3.533333	17.264	5.8
9.60	55.00	108.0		55.0	2.4		22.917	4.4
9.80	77.00	113.0	77.0			2.733333	28.171	3.5
10.00	68.00	109.0		68.0		0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
2.20	13.36364	1.163636	1.9	Coesivo	Argille sensitive
7.20	29.52	1.888	2.0	Coesivo	Argille sensitive
9.20	46.9	2.506667	2.1	Coesivo	Argille sensitive
10.00	65.25	2.166667	2.2	Incoerente	Terreni incoerenti a grana grossa e fine

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI Nr.2

TERRENI COESIV I

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi
Strato 1	2.20	13.36364	1.163636	0.75	0.94	0.88	0.77	0.69	0.67
Strato 2	7.20	29.52	1.888	1.64	1.74	1.91	1.68	1.51	1.48
Strato 3	9.20	46.9	2.506667	2.59	2.38	3.02	2.66	2.38	2.35

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 1	2.20	13.36364	1.163636	66.82	48.05	80.18	40.09
Strato 2	7.20	29.52	1.888	73.80	59.04	88.56	88.56
Strato 3	9.20	46.9	2.506667	117.25	93.80	140.70	70.35

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (30)
Strato 1	2.20	13.36364	1.163636	493.30	20.10
Strato 2	7.20	29.52	1.888	1072.58	44.40
Strato 3	9.20	46.9	2.506667	1697.70	70.50

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
Strato 1	2.20	13.36364	1.163636	Imai & Tomauchi	136.49
Strato 2	7.20	29.52	1.888	Imai & Tomauchi	221.51
Strato 3	9.20	46.9	2.506667	Imai & Tomauchi	293.93

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Stress-History
Strato 1	2.20	13.36364	1.163636	1.49
Strato 2	7.20	29.52	1.888	0.75
Strato 3	9.20	46.9	2.506667	0.67

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	2.20	13.36364	1.163636	Meyerhof	1.90
Strato 2	7.20	29.52	1.888	Meyerhof	2.03
Strato 3	9.20	46.9	2.506667	Meyerhof	2.11

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	2.20	13.36364	1.163636	Meyerhof	1.98
Strato 2	7.20	29.52	1.888	Meyerhof	2.11
Strato 3	9.20	46.9	2.506667	Meyerhof	2.19

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	Schmertmann	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkowski 1985
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	44.44	37.49	41.57	45.09	36.25

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Durgunoglu-Mitchell 1973	Caquot	Koppejan	De Beer	Schmertmann	Robertson & Campanella 1983	Herminier	Meyerhof 1951
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	31.51	27.27	24.15	22.67	33.25	34.48	23.51	45

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	163.13	130.50	750.45

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Robertson & Campanella da Schmertmann	Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-Mayne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	54.11	255.95	514.17	110.93	97.88

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	Imai & Tomauchi	359.64

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Stress-History	Piacentini Righi 1978	Larsson 1991 S.G.I.	Ladd e Foot 1977
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	0.79	>9	<0.5	>9

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Ko
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	Kulhawy & Mayne (1990)	0.30

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	0.09997	0.013

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	Meyerhof	1.80

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	Meyerhof	2.10

Liquefazione - **Accelerazione sismica massima (g)=0**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	Robertson & Wride 1997	0

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Permeabilità (cm/s)
Strato 1	2.20	13.36364	1.163636	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 2	7.20	29.52	1.888	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 3	9.20	46.9	2.506667	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	Piacentini-Righi 1988	6.676356E-07

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm²/s)
Strato 1	2.20	13.36364	1.163636	Piacentini-Righi 1988	4.009092E-07
Strato 2	7.20	29.52	1.888	Piacentini-Righi 1988	8.855999E-07
Strato 3	9.20	46.9	2.506667	Piacentini-Righi 1988	1.407E-06
Strato 4	10.00	65.25	2.166667	Piacentini-Righi 1988	0.1306897

PROVA ... Nr.3

Committente: Provincia Perugia
Strumento utilizzato: PAGANI 100 kN
Prova eseguita in data: 18/11/2020
Profondità prova: 10.20 mt
Località: Perugia

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0.20	6.00	9.0	6.0	0.4	15.0	6.7
0.40	7.00	13.0	7.0	0.733333	9.545	10.5
0.60	8.00	19.0	8.0	0.866667	9.231	10.8
0.80	10.00	23.0	10.0	0.266667	37.5	2.7
1.00	9.00	13.0	9.0	1.266667	7.105	14.1
1.20	11.00	30.0	11.0	1.2	9.167	10.9
1.40	16.00	34.0	16.0	1.533333	10.435	9.6
1.60	19.00	42.0	19.0	1.866667	10.179	9.8
1.80	25.00	53.0	25.0	1.6	15.625	6.4
2.00	29.00	53.0	29.0	1.933333	15.0	6.7
2.20	28.00	57.0	28.0	0.666667	42.0	2.4
2.40	25.00	35.0	25.0	2.0	12.5	8.0
2.60	26.00	56.0	26.0	1.266667	20.526	4.9
2.80	24.00	43.0	24.0	1.2	20.0	5.0
3.00	23.00	41.0	23.0	1.266667	18.158	5.5
3.20	23.00	42.0	23.0	1.533333	15.0	6.7
3.40	22.00	45.0	22.0	1.333333	16.5	6.1
3.60	26.00	46.0	26.0	1.4	18.571	5.4
3.80	27.00	48.0	27.0	1.6	16.875	5.9
4.00	28.00	52.0	28.0	1.6	17.5	5.7
4.20	28.00	52.0	28.0	1.333333	21.0	4.8

4.40	21.00	41.0	21.0			1.333333	15.75	6.3
4.60	36.00	56.0	36.0			1.533333	23.478	4.3
4.80	29.00	52.0	29.0			1.733333	16.731	6.0
5.00	31.00	57.0	31.0			1.466667	21.136	4.7
5.20	36.00	58.0	36.0			1.866667	19.286	5.2
5.40	33.00	61.0		33.0		0.8	41.25	2.4
5.60	38.00	50.0	38.0			1.933333	19.655	5.1
5.80	32.00	61.0	32.0			1.733333	18.462	5.4
6.00	38.00	64.0	38.0			0.866667	43.846	2.3
6.20	39.00	52.0		39.0	2.2		17.727	5.6
6.40	35.00	68.0	35.0			2.266667	15.441	6.5
6.60	38.00	72.0	38.0			2.866667	13.256	7.5
6.80	31.00	74.0	31.0			2.733333	11.341	8.8
7.00	37.00	78.0	37.0			2.733333	13.537	7.4
7.20	41.00	82.0		41.0	3.0		13.667	7.3
7.40	48.00	93.0		48.0		2.4	20.0	5.0
7.60	39.00	75.0	39.0			2.533333	15.395	6.5
7.80	41.00	79.0		41.0	2.8		14.643	6.8
8.00	41.00	83.0	41.0			2.733333	15.0	6.7
8.20	43.00	84.0	43.0			2.866667	15.0	6.7
8.40	45.00	88.0	45.0			3.066667	14.674	6.8
8.60	43.00	89.0	43.0			2.666667	16.125	6.2
8.80	45.00	85.0	45.0			2.533333	17.763	5.6
9.00	41.00	79.0	41.0			3.066667	13.37	7.5
9.20	46.00	92.0	46.0			2.666667	17.25	5.8
9.40	48.00	88.0	48.0			3.466667	13.846	7.2
9.60	51.00	103.0	51.0			3.333333	15.3	6.5
9.80	63.00	113.0	63.0			2.066667	30.484	3.3
10.00	71.00	102.0	71.0			1.866667	38.036	2.6
10.20	84.00	112.0		84.0		0.0		0.0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1.60	10.75	1.016667	1.9	Coesivo	Argille sensitive
7.00	29.92593	1.659259	2.0	Coesivo	Argille sensitive
9.60	44.0	2.856411	2.1	Coesivo	Argille sensitive
10.20	72.66666	1.311111	2.2	Incoerente	Terreni incoerenti a grana grossa (Ghiaie-Sabbie grossolane)

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI Nr.3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi
Strato 1	1.60	10.75	1.016667	0.61	0.78	0.71	0.62	0.56	0.54
Strato 2	7.00	29.92593	1.659259	1.67	1.76	1.94	1.71	1.53	1.50
Strato 3	9.60	44.0	2.856411	2.43	2.28	2.82	2.49	2.23	2.20

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 1	1.60	10.75	1.016667	53.75	44.99	64.50	32.25
Strato 2	7.00	29.92593	1.659259	74.81	59.85	89.78	89.78
Strato 3	9.60	44.0	2.856411	110.00	88.00	132.00	132.00

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (30)

Strato 1	1.60	10.75	1.016667	397.42	16.20
Strato 2	7.00	29.92593	1.659259	1090.57	45.00
Strato 3	9.60	44.0	2.856411	1587.86	66.00

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
Strato 1	1.60	10.75	1.016667	Imai & Tomauchi	119.49
Strato 2	7.00	29.92593	1.659259	Imai & Tomauchi	223.37
Strato 3	9.60	44.0	2.856411	Imai & Tomauchi	282.69

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Stress-History
Strato 1	1.60	10.75	1.016667	1.64
Strato 2	7.00	29.92593	1.659259	0.82
Strato 3	9.60	44.0	2.856411	0.62

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	1.60	10.75	1.016667	Meyerhof	1.87
Strato 2	7.00	29.92593	1.659259	Meyerhof	2.04
Strato 3	9.60	44.0	2.856411	Meyerhof	2.10

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	1.60	10.75	1.016667	Meyerhof	1.95
Strato 2	7.00	29.92593	1.659259	Meyerhof	2.12
Strato 3	9.60	44.0	2.856411	Meyerhof	2.18

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	Schmertmann	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkowski 1985
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	46.99	40.47	44.41	47.66	38.32

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Durgunoglu-Mitchell 1973	Caquot	Koppejan	De Beer	Schmertmann	Robertson & Campanella 1983	Herminier	Meyerhof 1951
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	31.86	27.63	24.53	23.01	33.67	34.92	23.69	45

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	181.67	145.33	809.77

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Robertson & Campanella da Schmertmann	Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-Mayne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	57.50	285.05	574.78	123.53	109.00

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	Imai & Tomauchi	384.09

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Stress-History	Piacentini Righi 1978	Larsson 1991 S.G.I.	Ladd e Foot 1977
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	0.85	6.81	<0.5	>9

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Ko
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	Kulhawy & Mayne (1990)	0.31

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	C	Crm
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	0.09814	0.01276

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	Meyerhof	1.80

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	Meyerhof	2.10

Liquefazione - **Accelerazione sismica massima (g)=0**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	Robertson & Wride 1997	0

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Permeabilità (cm/s)
Strato 1	1.60	10.75	1.016667	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 2	7.00	29.92593	1.659259	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 3	9.60	44.0	2.856411	Piacentini-Righi 1988	1E-11
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	Piacentini-Righi 1988	8.535004E-04

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm²/s)
Strato 1	1.60	10.75	1.016667	Piacentini-Righi 1988	3.225E-07
Strato 2	7.00	29.92593	1.659259	Piacentini-Righi 1988	8.977779E-07
Strato 3	9.60	44.0	2.856411	Piacentini-Righi 1988	1.32E-06
Strato 4	10.20	72.66666	1.311111	Piacentini-Righi 1988	0

Indice

1.PROVA ... Nr.1 9
1.1.Coesione non drenata (Kg/cm²) 9
1.2.Modulo Edometrico (Kg/cm²) 9
1.3.Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²) 10
1.4.Modulo di deformazione a taglio 10
1.5.Grado di sovraconsolidazione 10
1.6.Peso unità di volume 10
1.7.Peso unità di volume saturo 10
2.PROVA ... Nr.2 10
2.1.Coesione non drenata (Kg/cm²) 11
2.2.Modulo Edometrico (Kg/cm²) 12
2.3.Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²) 12
2.4.Modulo di deformazione a taglio 12
2.5.Grado di sovraconsolidazione 12
2.6.Peso unità di volume 12
2.7.Peso unità di volume saturo 12
2.8.Densità relativa (%) 12
2.9.Angolo di resistenza al taglio (°) 12
2.10.Modulo di Young (Kg/cm²) 12
2.11.Modulo Edometrico (Kg/cm²) 13
2.12.Modulo di deformazione a taglio 13
2.13.Grado di sovraconsolidazione 13
2.14.Modulo di reazione Ko 13
2.15.Fattori di compressibilità C Crm 13
2.16.Peso unità di volume 13
2.17.Peso unità di volume saturo 13
2.18.Liquefazione - 13
2.19.Permeabilità 13
2.20.Coefficiente di consolidazione 13
3.PROVA ... Nr.3 14
3.1.Coesione non drenata (Kg/cm²) 15
3.2.Modulo Edometrico (Kg/cm²) 15
3.3.Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²) 15
3.4.Modulo di deformazione a taglio 15
3.5.Grado di sovraconsolidazione 15
3.6.Peso unità di volume 15
3.7.Peso unità di volume saturo 15
3.8.Densità relativa (%) 16
3.9.Angolo di resistenza al taglio (°) 16
3.10.Modulo di Young (Kg/cm²) 16
3.11.Modulo Edometrico (Kg/cm²) 16
3.12.Modulo di deformazione a taglio 16
3.13.Grado di sovraconsolidazione 16
3.14.Modulo di reazione Ko 16
3.15.Fattori di compressibilità C Crm 16
3.16.Peso unità di volume 16
3.17.Peso unità di volume saturo 16
3.18.Liquefazione - 16
3.19.Permeabilità 17
3.20.Coefficiente di consolidazione 17
Indice 18

3.0 INDAGINE GEOFISICA

REPORT INDAGINI SISMICHE

INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE LOC. VIALE CENTOVA (ZONA I.T.E.T. A. CAPITINI) PERUGIA

Committente: **PROVINCIA DI PERUGIA**

Dicembre 2021

PERIGEO S.R.L.

Via della Piaggiola 152, Gubbio (PG) 06024
P.IVA 03425750548
Tel.075 9221055 email: info@perigeosrl.it

1. PREMESSA

Su incarico e per conto della Provincia di Perugia è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche, per valutare le caratteristiche geologiche e sismiche dei terreni oggetto di intervento siti il loc. Viale Centova, territorio comunale di Perugia.

Il piano d'indagini è stato eseguito al fine di analizzare le caratteristiche sismostratigrafiche dei terreni presenti, definire l'amplificazione sismostratigrafica di sito, come stabilito dal D.M. del 17 Gennaio 2018, e per determinare le caratteristiche geomorfologiche dell'area indagata.

Nel dettaglio il piano è così composto:

- N°1 Stendimento sismico M.A.S.W.;
- N°1 Stendimento sismico a Rifrazione in onde SH;
- N°2 Stazioni di sismica passiva HVSR.

2. AREA DI STUDIO E LOCALIZZAZIONE INDAGINI

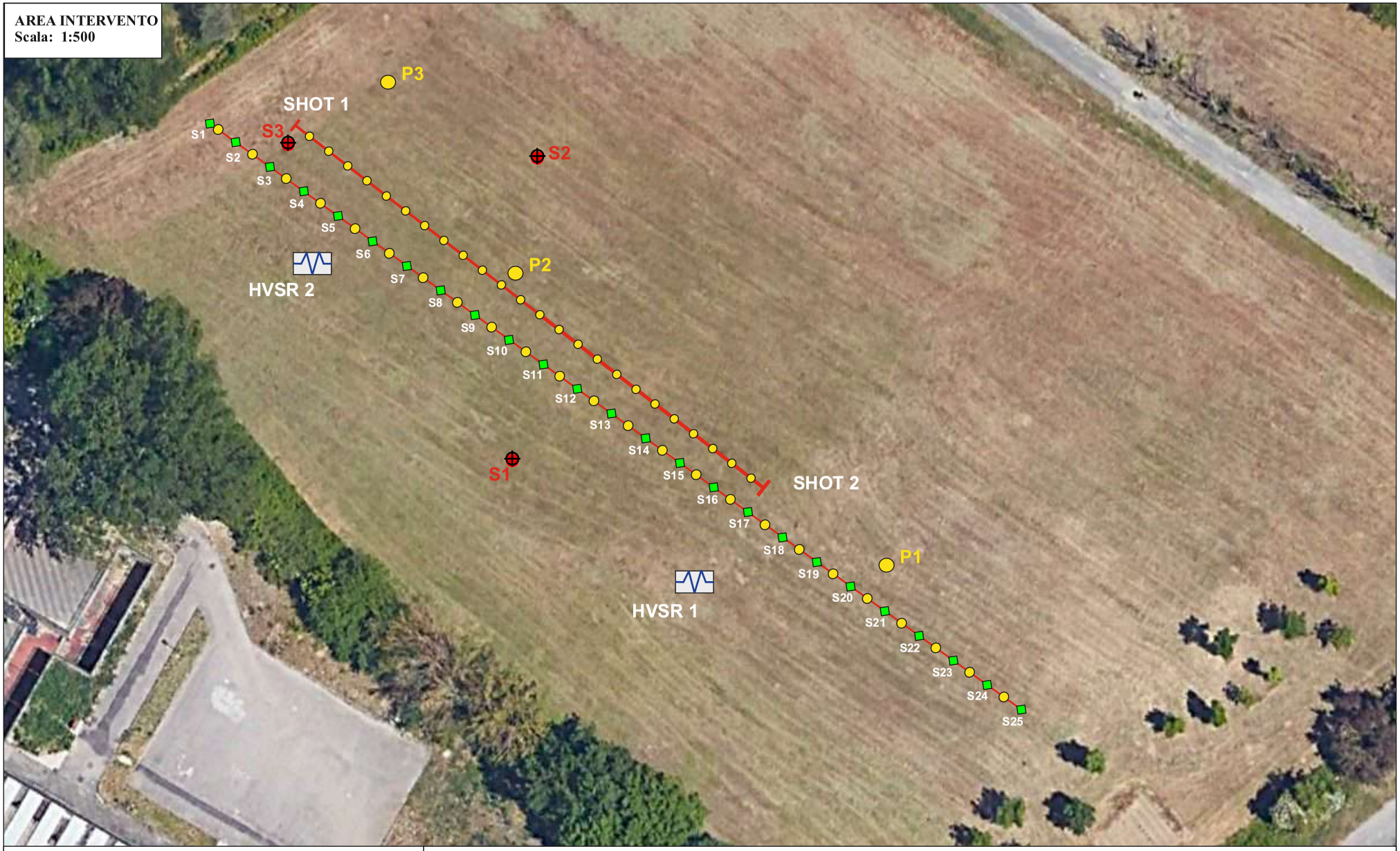
Di seguito si riporta la georeferenziazione in coordinate WGS84 delle indagini eseguite e l'ubicazione in pianta:

Tipo Indagine	Lunghezza
MASW	54m
Rifrazione SH	96m
HVSR	

PLANIMETRIA

Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capitini) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021



STENDIMENTO SISMICO M.A.S.W.
S1= Lat. 43.102102° Long. 12.360893°
S2= Lat. 43.101790° Long. 12.361431°
STENDIMENTO SISMICO A RIFRAZIONE ONDE SH
S1= Lat. 43.102096° Long. 12.360826°
S25= Lat. 43.101553° Long. 12.361713°
STAZIONE SISMICA PASSIVA HVSR
1= Lat. 43.101692° Long. 12.361398°
2= Lat. 43.101975° Long. 12.360987°

STENDIMENTO SISMICO M.A.S.W.
STENDIMENTO SISMICO A RIFRAZIONE ONDE SH
STAZIONE HVSR

Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capitini) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

3. PROSPEZIONI SISMICHE M.A.S.W.

3.1 - Prospezioni sismiche basate sull'analisi delle onde superficiali di rayleigh

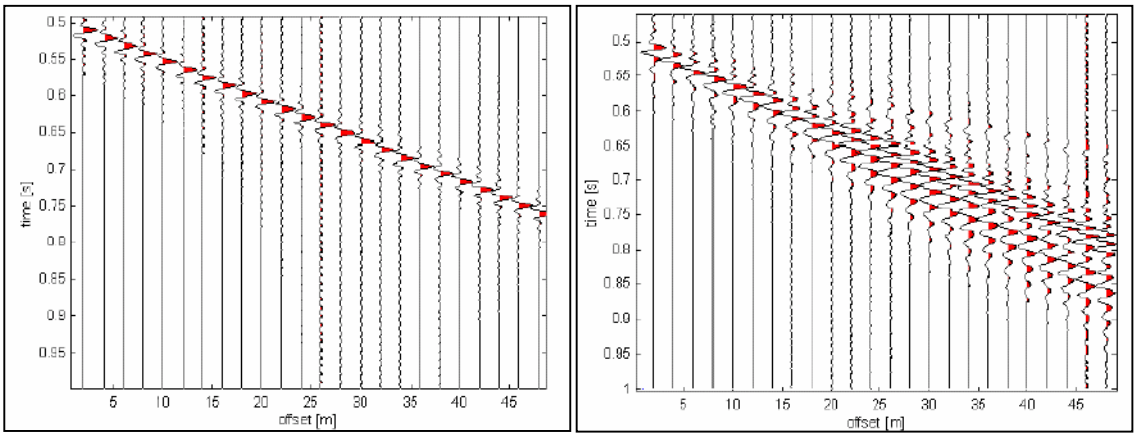
Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera. L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado rispetto alla direzione di propagazione delle onde che vengono generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a 0.92*VS*. In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e 0.92 *VS*. La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).

Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto alla direzione di propagazione dell'onda.

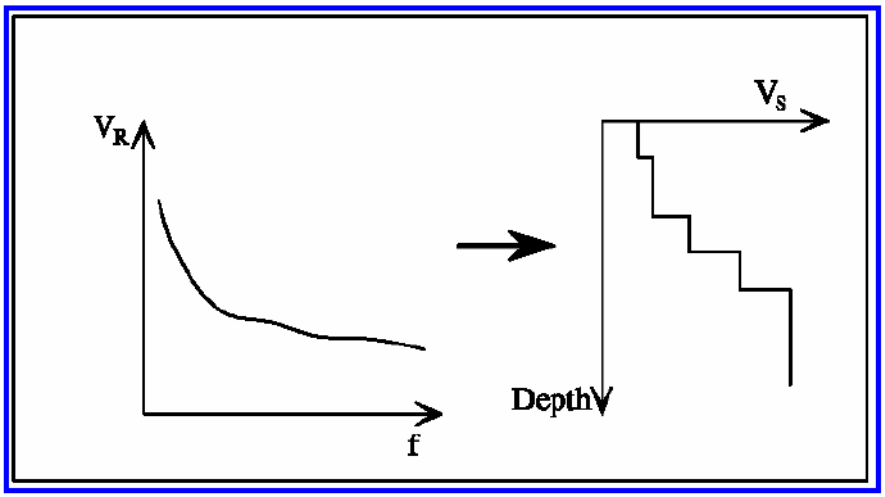
La determinazione della velocità delle onde di taglio *V*S tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde *P* (7%) ed *S* (26%). Inoltre l'ampiezza delle onde superficiali dipende da *r* e non da *r* come per le onde di volume. I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla *VP* e dalla densità, è funzione innanzitutto della *VS*, parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dalle recenti normative antisismiche (O.P.C.M. 3274/03; O.P.C.M. 3431/05; D.M. 14 gennaio 2008). Infatti, mentre la velocità delle onde *P* misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde *S* è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde *P*, risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle *VS*, è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati.



Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo non stratificato (a sinistra) e in un mezzo stratificato (a destra). Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.



Velocità delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (a sinistra) e profilo di velocità delle onde di taglio in funzione della profondità (a destra) ricavato tramite processo d'inversione.

La velocità delle onde di Rayleigh (*VR*) è pari a circa il 90% delle onde di taglio (*VS*). Le tecniche di analisi delle onde di Rayleigh vengono realizzate con procedure operative meno onerose della comune sismica a rifrazione e delle prove in foro e hanno un grado di incertezza nella determinazione delle *VS* <15%.

La modellazione del sottosuolo mediante l'impiego di comuni geofoni verticali a 4.5*Hz* e l'analisi delle onde superficiali di Rayleigh viene ottenuta con le seguenti metodologie: ReMi (Refraction Microtremor), FTAN (Frequency Time ANalysis), SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

3.2 - Prospezioni sismiche M.A.S.W.

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una efficiente ed accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio *VS*. Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un comune sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso complesse tecniche computazionali, simili alla tecnica SASW, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica M.A.S.W. prevede 4 passi fondamentali:

1. Ripetute acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale (maglio battente su piastra in alluminio), lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni che viene spostato lungo la linea dello stendimento stesso dopo ogni acquisizione;
2. Estrazione del modo fondamentale dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh (una curva per ogni acquisizione);
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle *VS* (un profilo verticale per ogni curva di dispersione, posizionato nel punto medio di ogni stendimento geofonico);
4. Ricostruzione di una sezione (modello 2D) delle *VS* dei terreni con approccio multicanale (con almeno due acquisizioni dei segnali, ovvero uno spostamento lungo la linea dello stendimento).

3.3. Indagine e strumentazione utilizzata

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito sono state eseguite indagini di sismica superficiale attraverso l'utilizzo del metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica M.A.S.W..

Strumentazione utilizzata

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata è costituita da:

- un sistema di energizzazione per le onde : la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra circolare in acciaio del diametro di 25 cm posta direttamente sul p.c. per la generazione di onde, in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali;
- un sistema di ricezione: costituito da 24 geofoni verticali con frequenza propria 4.5 Hz, ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte da una specifica sorgente;
- sistema di acquisizione dati: con memoria dinamica a 24 bit, cavo sismico, interfaccia USB, notebook PC Windows XP con software DOREMI; il sistema è in grado di convertire in digitale e registrare su memoria il segnale proveniente da ciascun canale dal sistema di ricezione; la conversione A/D avviene già dal primo metro di cavo: il sistema permette pertanto di eliminare molte fonti di disturbo dovute al trasferimento del segnale lungo centinaia di metri di cavo sismico

ed è inoltre dotato di un sistema di filtraggio in tempo reale, da un hardware complesso, che comporta un anello di regolazione con diversi passaggi di digital signal processing;

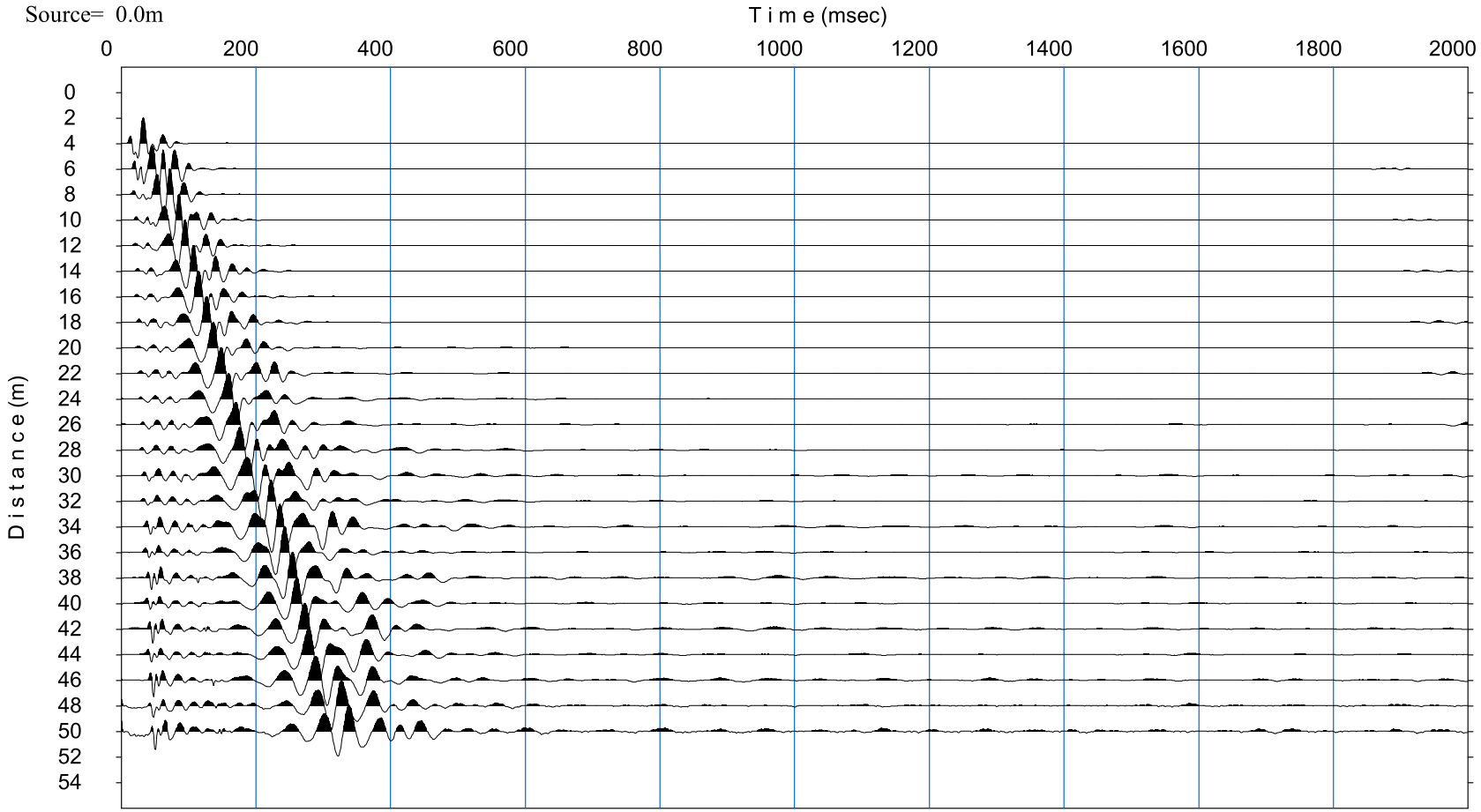
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

Acquisizioni

L'acquisizione è stata eseguita posizionando i 24 geofoni da 4.5 Hz secondo la seguente configurazione:

- L= lunghezza stendimento ricevitori: 46 m
- D_i= distanza intergeofonica: 2.00 m
- D shot= 4.00 m da ciascun estremo

Sismogramma onde S
Shot n°.1 - 0.00m

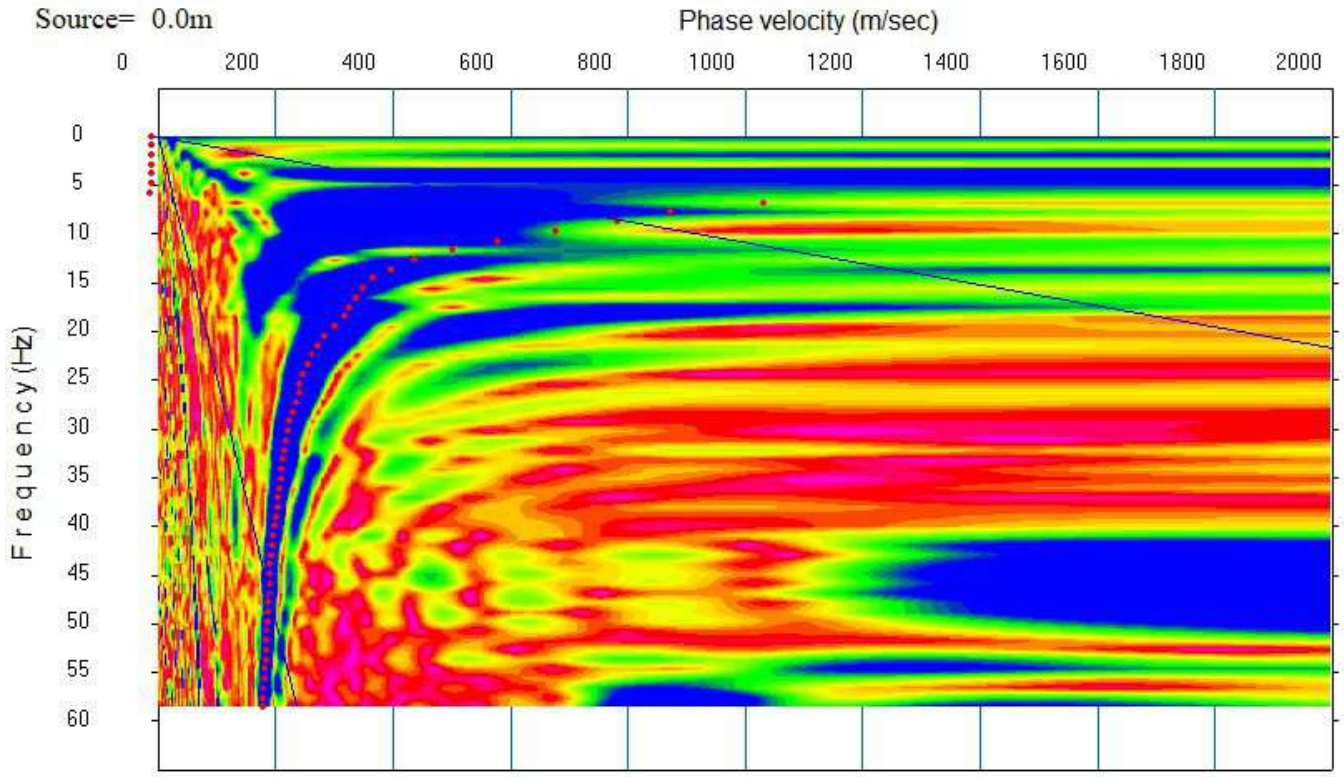


INDAGINE M.A.S.W.

Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Velocità di fase
Shot n°.1 - 0.00m

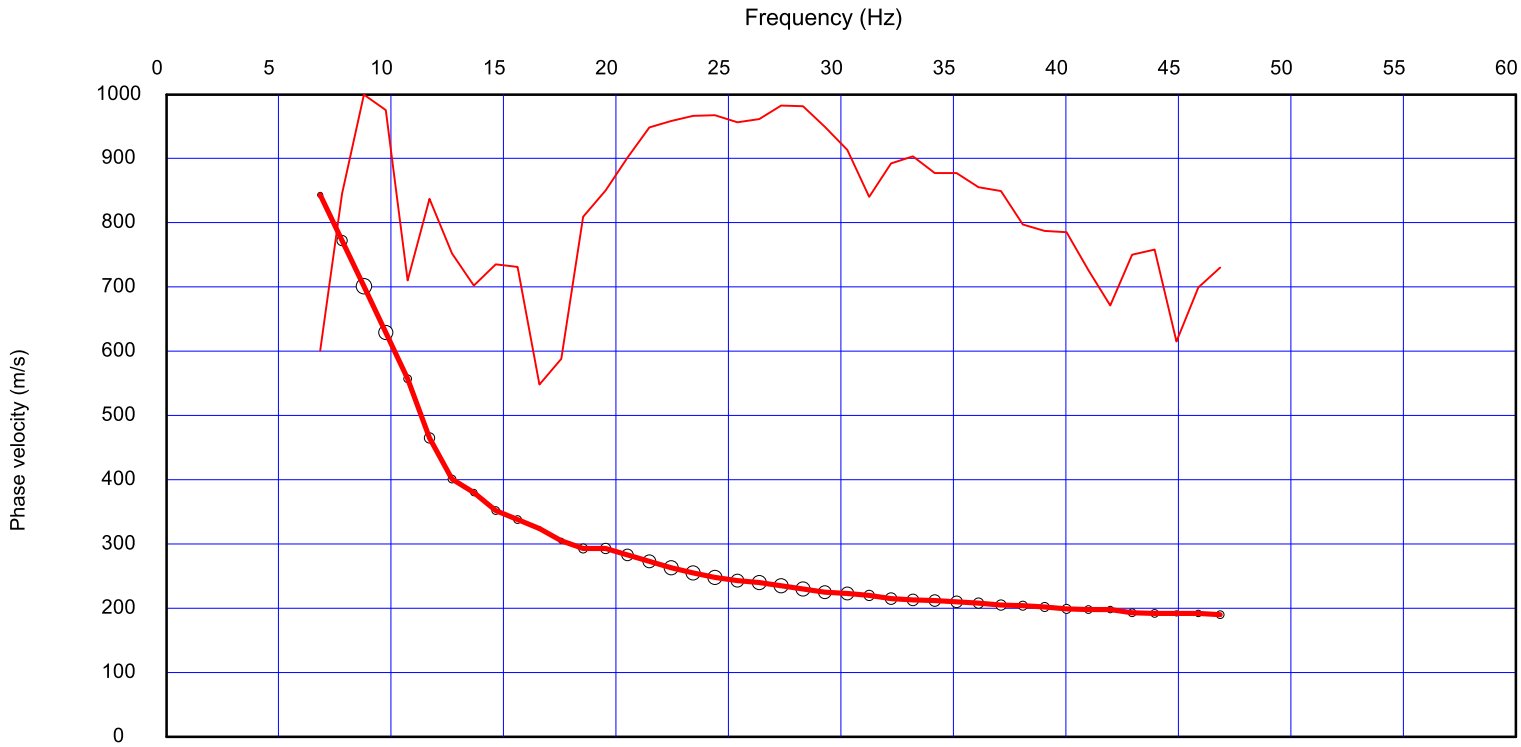


INDAGINE M.A.S.W.

Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Curva dispersione
Shot n°.1 - 0.00m

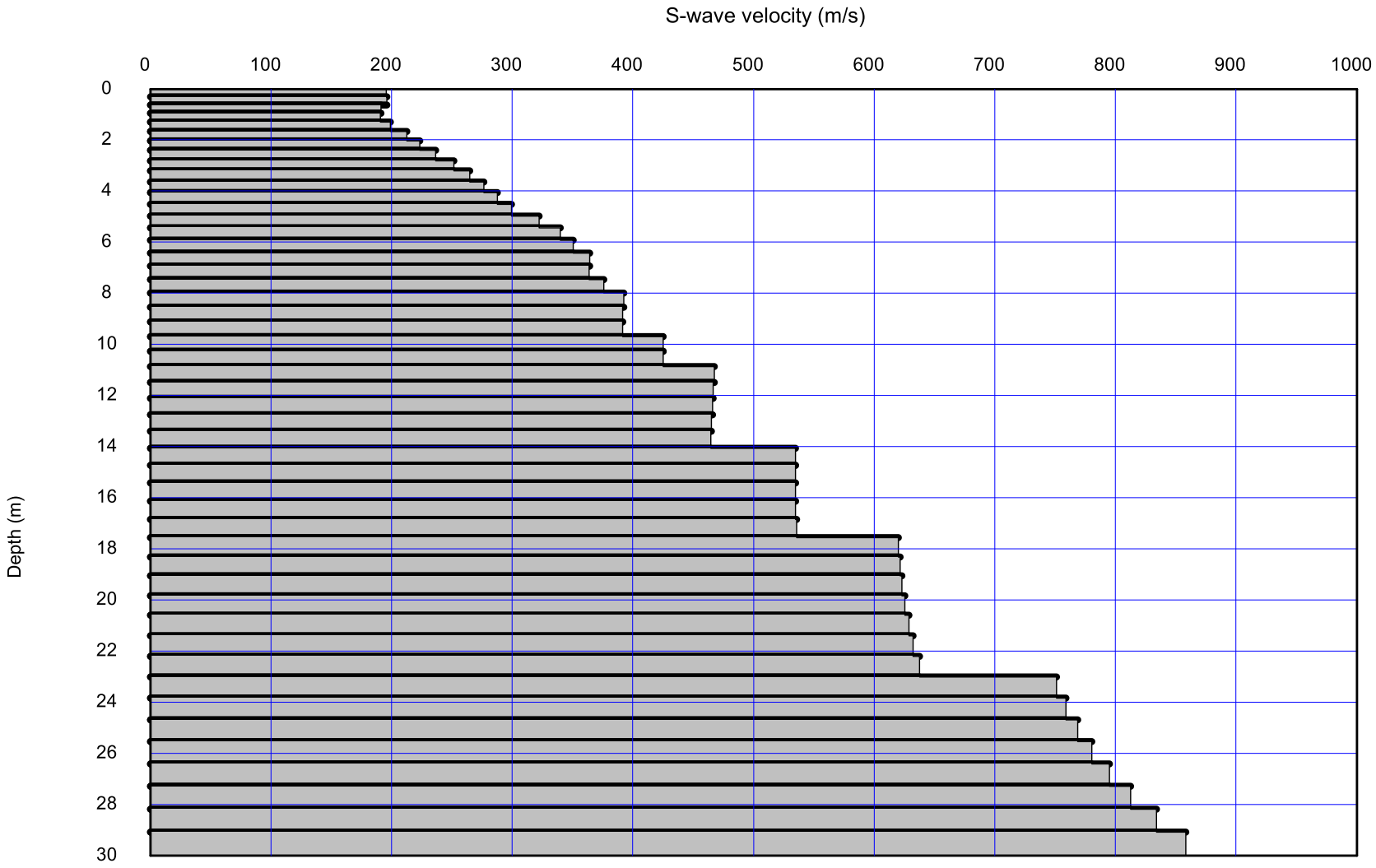


INDAGINE M.A.S.W.

Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Profilo di Velocità Vs
Shot n°.1 - 0.00m



INDAGINE M.A.S.W.

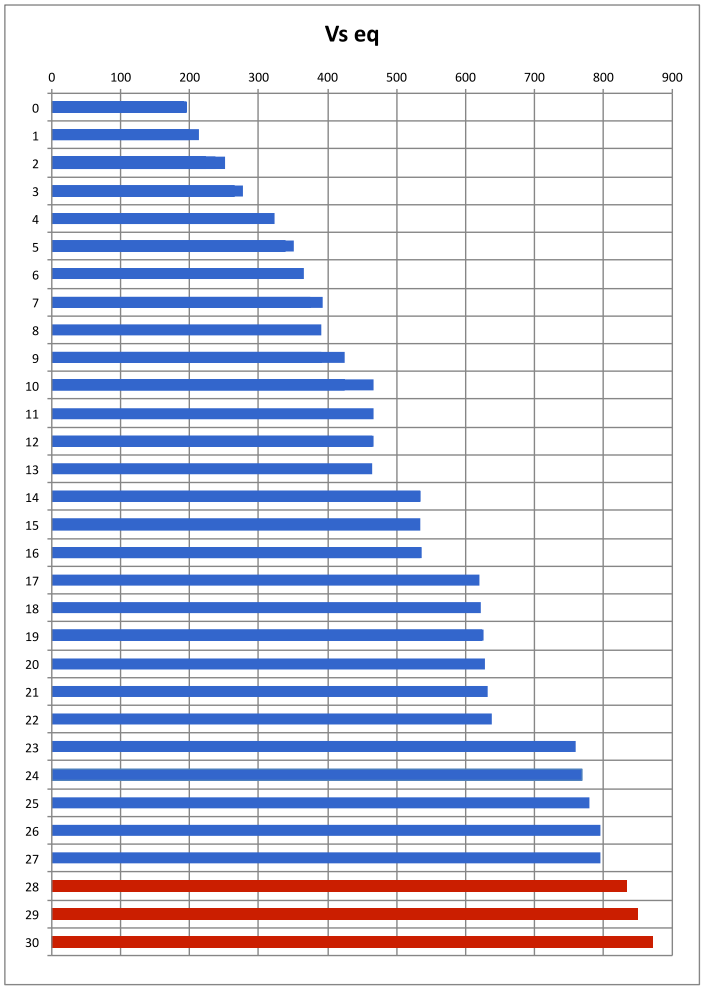
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Velocità onde Vs
Shot n°.1 - 0.00m

Profondità (m)	Velocità Vs (m/s)	hi	hi/Vs
0	196	0,3061	0,00156429
0,306122	196	0,3189	0,001627427
0,625	191	0,3316	0,001732251
0,956633	191	0,3444	0,001803727
1,30102	199	0,3571	0,001793571
1,658163	213	0,3699	0,001739317
2,028061	224	0,3827	0,001711695
2,410714	237	0,3954	0,001671791
2,806122	252	0,4082	0,001622337
3,214286	265	0,4209	0,001589819
3,635204	277	0,4337	0,00156683
4,068878	288	0,4464	0,001551117
4,515306	299	0,4592	0,001534167
4,97449	322	0,4719	0,001464612
5,446428	340	0,4847	0,001426667
5,931122	350	0,4974	0,001419533
6,428571	364	0,5102	0,001401255
6,938776	364	0,5230	0,001436677
7,461735	376	0,5357	0,001425661
7,997449	392	0,5485	0,001397855
8,545918	392	0,5612	0,001432406
9,107143	391	0,5740	0,001466155
9,681122	425	0,5867	0,001379224
10,267857	425	0,5995	0,001410384
10,867347	467	0,6122	0,001309649
11,479592	467	0,6250	0,001338765
12,104592	466	0,6378	0,001368685
12,742347	465	0,6505	0,001398531
13,392857	465	0,6633	0,001427039
14,056123	535	0,6760	0,00126366
14,732143	535	0,6888	0,001288219
15,420918	535	0,7015	0,001312207
16,122449	535	0,7143	0,001335012
16,836734	536	0,7270	0,001356929
17,563775	620	0,7398	0,001193309
18,303571	621	0,7526	0,001211093
19,056123	623	0,7653	0,001227973
19,82143	626	0,7781	0,001243651
20,59949	629	0,7908	0,001257557
21,390306	633	0,8036	0,001270436
22,193877	638	0,8163	0,001280106
23,010204	751	0,8291	0,001103538
23,839286	759	0,8418	0,001108784
24,681123	769	0,8546	0,001111502
25,535714	781	0,8673	0,001110996
26,40306	795	0,8801	0,001107256
27,283162	796	0,8929	0,00112168
28,176019	834	0,9056	0,001085498
29,081631	850	0,9184	0,001080434
30	872	0,0000	0

Calcolco Vseq (Shot n.1)=			414	m/s

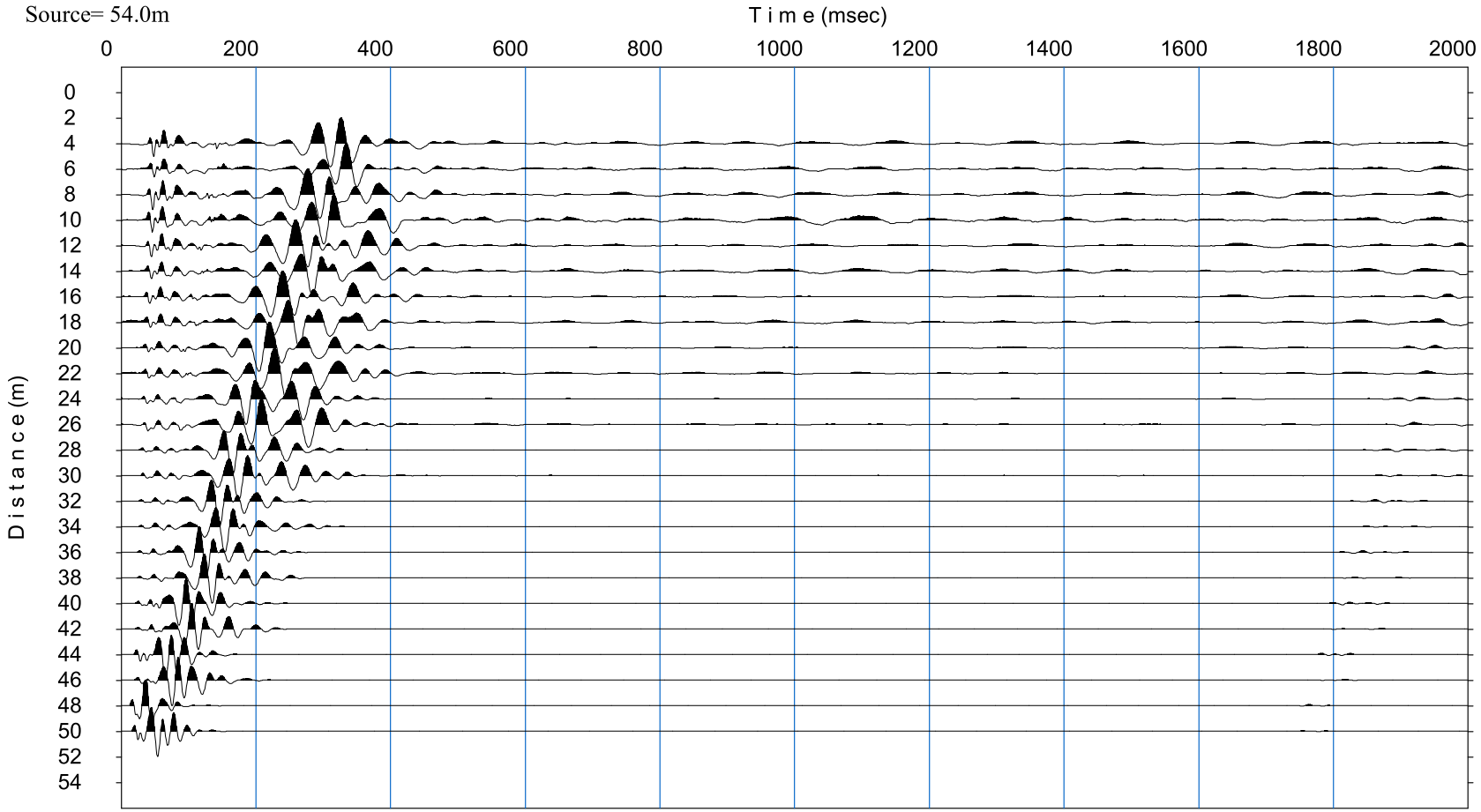


INDAGINE M.A.S.W.

Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Sismogramma onde S
Shot n°.2 - 54.00m

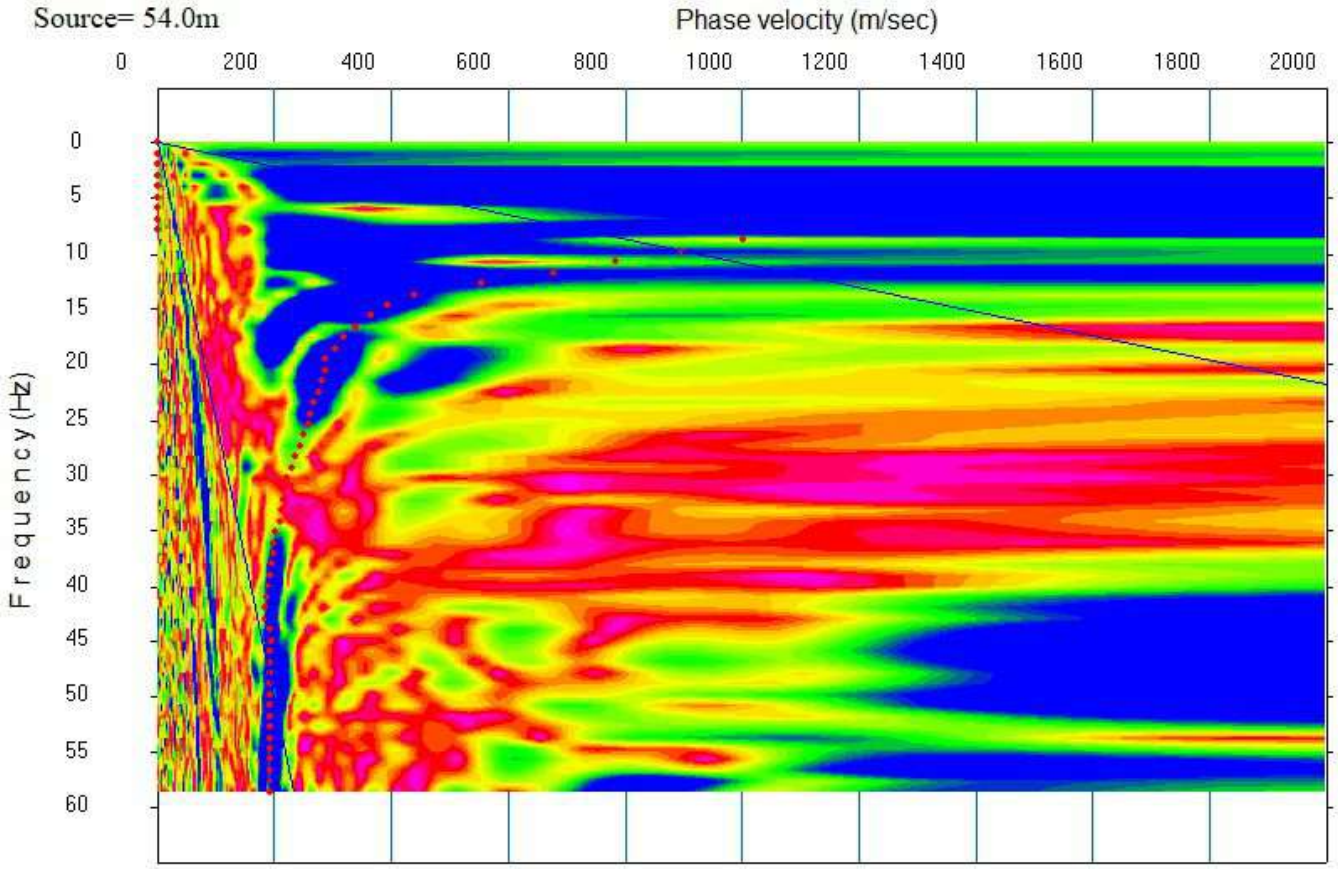


INDAGINE M.A.S.W.

Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Velocità di fase
Shot n°.2 - 54.00m

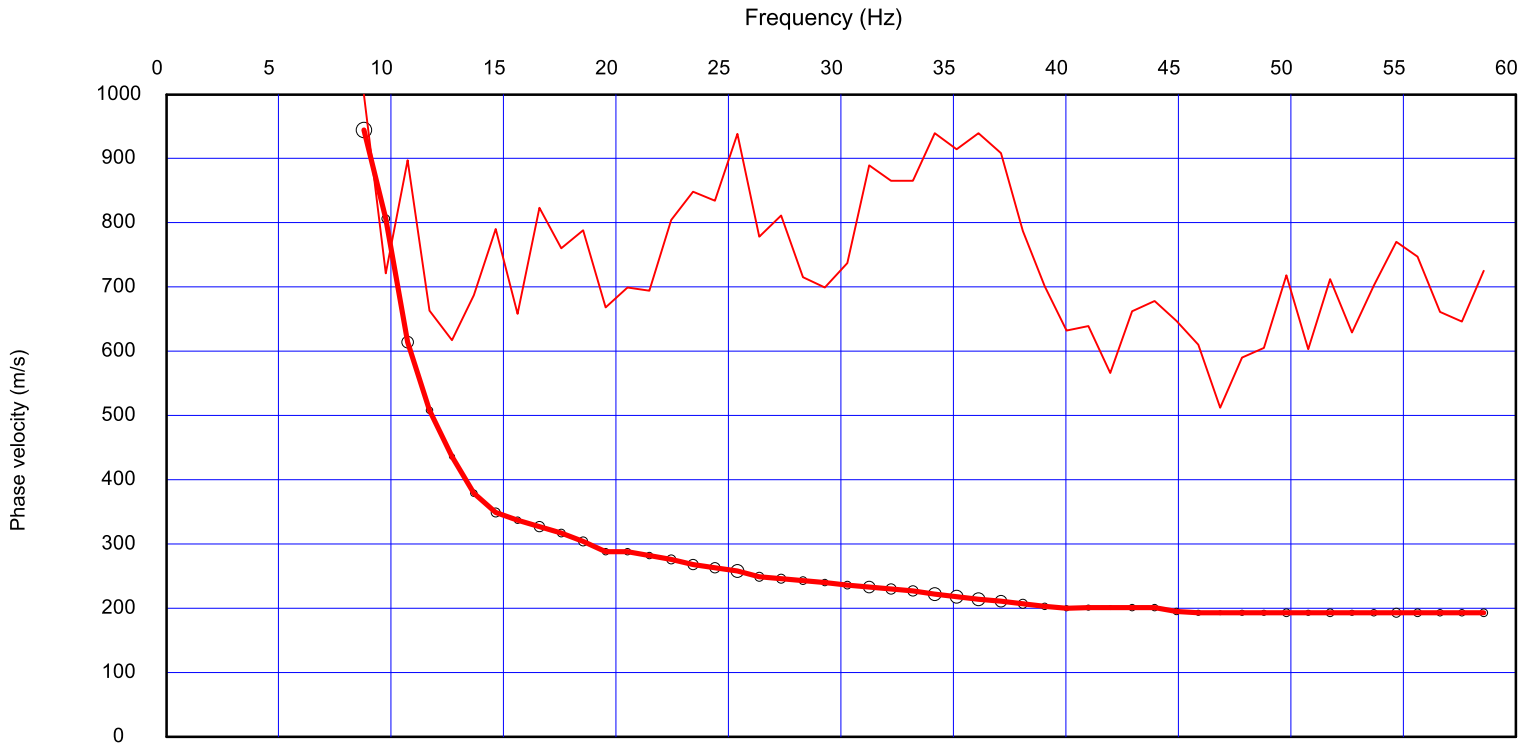


INDAGINE M.A.S.W.

Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Curva dispersione
Shot n°.1 - 54.00m

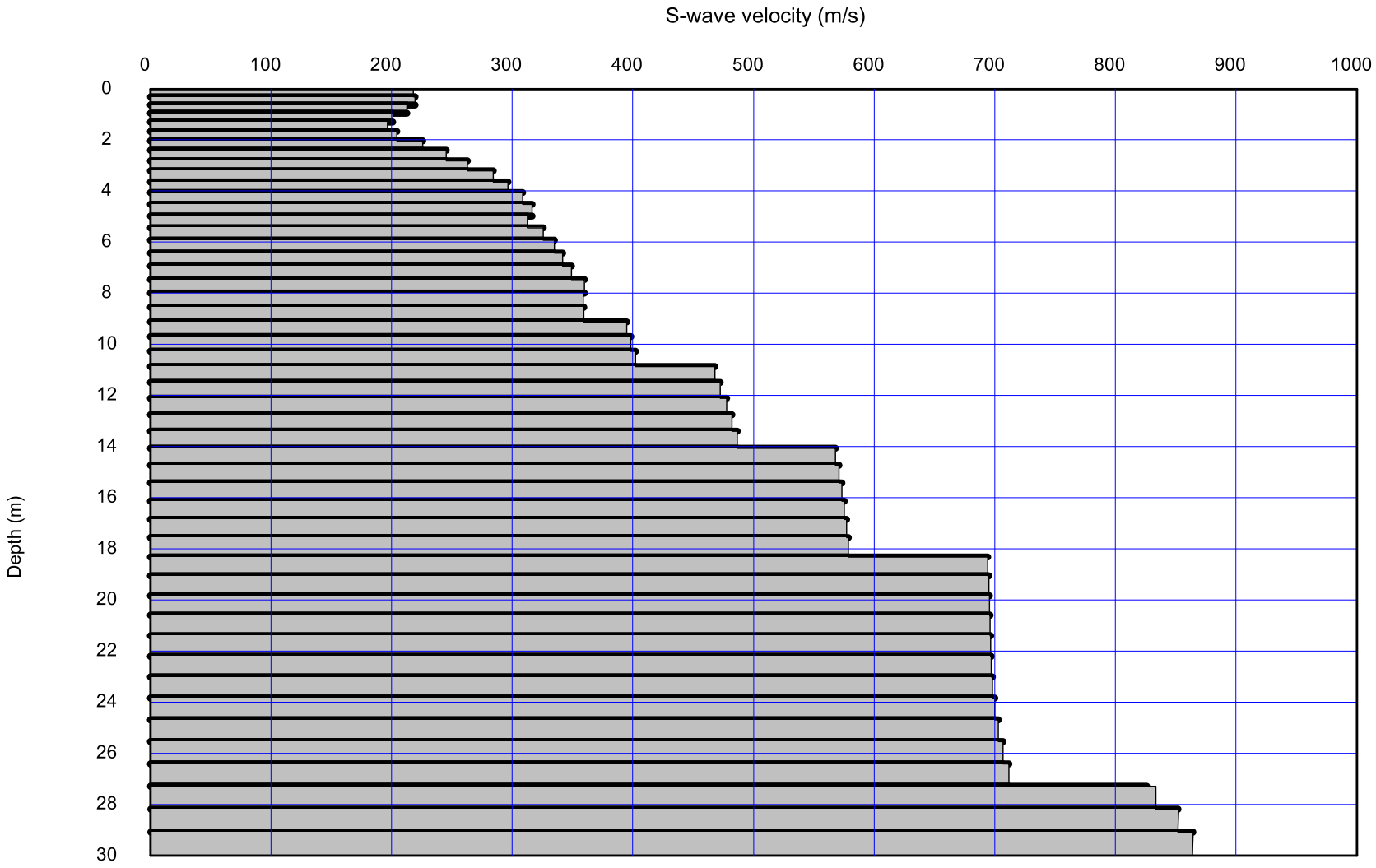


INDAGINE M.A.S.W.

Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Profilo di Velocità Vs
Shot n°.2 - 54.00m



INDAGINE M.A.S.W.

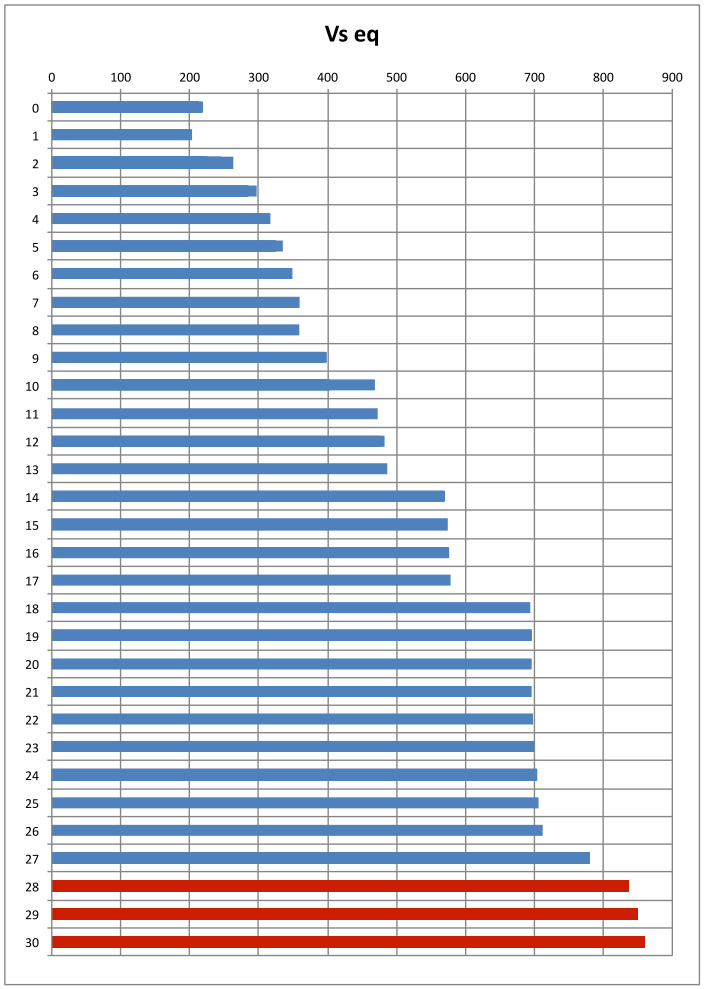
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Velocità onde Vs
Shot n°.2 - 54.00m

Profondità (m)	Velocità Vs (m/s)	hi	hi/Vs
0	218	0,3061	0,001404146
0,306122	220	0,3189	0,0014525
0,625	213	0,3316	0,001558697
0,956633	201	0,3444	0,001713627
1,30102	197	0,3571	0,001814661
1,658163	204	0,3699	0,001810662
2,028061	226	0,3827	0,001692985
2,410714	245	0,3954	0,001610808
2,806122	263	0,4082	0,001553772
3,214286	284	0,4209	0,001479819
3,635204	296	0,4337	0,001463261
4,068878	309	0,4464	0,001446394
4,515306	316	0,4592	0,001451059
4,97449	313	0,4719	0,001509225
5,446428	326	0,4847	0,001488828
5,931122	335	0,4974	0,001484767
6,428571	342	0,5102	0,001493148
6,938776	349	0,5230	0,001498021
7,461735	360	0,5357	0,001488632
7,997449	359	0,5485	0,001528657
8,545918	360	0,5612	0,001560905
9,107143	395	0,5740	0,001453053
9,681122	398	0,5867	0,001472662
10,267857	402	0,5995	0,001490803
10,867347	468	0,6122	0,001308033
11,479592	473	0,6250	0,001322392
12,104592	478	0,6378	0,001334781
12,742347	482	0,6505	0,001348549
13,392857	486	0,6633	0,001363709
14,056123	568	0,6760	0,001190383
14,732143	571	0,6888	0,00120651
15,420918	573	0,7015	0,001223554
16,122449	575	0,7143	0,001241687
16,836734	577	0,7270	0,001259522
17,563775	579	0,7398	0,001278285
18,303571	694	0,7526	0,001084263
19,056123	695	0,7653	0,001100996
19,82143	696	0,7781	0,001118398
20,59949	696	0,7908	0,001136058
21,390306	696	0,8036	0,001153766
22,193877	697	0,8163	0,001170824
23,010204	698	0,8291	0,001187443
23,839286	700	0,8418	0,001202523
24,681123	703	0,8546	0,001215384
25,535714	707	0,8673	0,00122719
26,40306	712	0,8801	0,001236781
27,283162	780	0,8929	0,001144688
28,176019	837	0,9056	0,001081974
29,081631	850	0,9184	0,001080434
30	860	0,0000	0

Calcolco Vseq (Shot n.2)=			420	m/s



INDAGINE M.A.S.W.

Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

3.4. Interpretazione e risultati

La topografia della superficie è sub-pianeggiante su gran parte del tratto investigato. Il rumore ambientale è stato filtrato, di conseguenza non ha influenzato l'acquisizione.

Tra le numerose soluzioni ottenibili con la tecnica M.A.S.W. sono state scelte quelle con errore più basso più attinente con i risultati dei sondaggi a carotaggio continuo e indagini sismiche eseguite e successivamente scelto il profilo 1D combinato.

CALCOLO Vs $_{eq}$:

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

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

in cui Vs_i e h_i sono rispettivamente la velocità delle onde di taglio e lo spessore dell'i-esimo strato.

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

SHOT N°1 Vs_{eq}	SHOT N°2 Vs_{eq}
414 m/s	*420 m/s*

4. INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

Come noto, la sismica a rifrazione utilizza le onde acustiche nei corpi solidi, utilizzando per l'energizzazione un martello percussore, una massa battente oppure una piccola carica esplosiva esplosivo. Le onde sismiche (sonore) viaggiano nel sottosuolo a differente velocità a seconda dei litotipi attraversati e subiscono lungo le superfici di discontinuità geologica i fenomeni della riflessione, rifrazione e diffrazione.

Le superfici di confine degli strati geologici, caratterizzati da una differenza di velocità tra lo strato superiore (V1) e lo strato ad esso sottostante (V2), producono dei raggi rifratti che viaggeranno parallelamente alla superficie di discontinuità (con la stessa velocità dello strato "più veloce") rifrangendo continuamente verso l'alto (quindi verso lo strato "più lento") energia elastica.

Una delle condizioni principali per l'applicazione del metodo della sismica a rifrazione è che la velocità di propagazione delle onde sismiche aumenti con la profondità (V1 < V2). Un altro requisito indispensabile per il buon funzionamento di questa metodologia è che gli strati posseggano uno spessore sufficiente per essere rilevati; in caso contrario occorre aumentare il numero di geofoni e diminuirne la spaziatura. L'energia rifratta che ritorna alla superficie viene misurata utilizzando dei geofoni.

4.1 Il comportamento sismico delle onde SH

Le onde SH sono anche chiamate Onde Secondarie in quanto si propagano nel mezzo attraversato con minore velocità rispetto alle altre onde.

Nelle onde SH, le particelle che costituiscono il mezzo attraversato vengono spostate nello senso opposto di propagazione dell'onda, in questo caso, in senso longitudinale. Quindi, il materiale non si estende e si comprime con il propagarsi dell'onda.

La velocità con la quale le onde SH si propagano in un mezzo dipende dalle proprietà fisiche (cioè rigidità, densità, saturazione) e dal grado di omogeneità del terreno.

Dalla sorgente di energizzazione viene emanato un "treno d'onde" i cui segnali saranno rilevati dalle stazioni riceventi ad intervalli di tempo dipendenti dalle caratteristiche elastiche del terreno. La registrazione grafica del treno d'onda in arrivo è chiamata "sismogramma".

4.2 Applicazioni

Le indagini di sismica a rifrazione vengono normalmente impiegate per le seguenti problematiche:

- Mappatura delle zone formate da materiale disgregato.
- Ricerca della profondità della falda freatica.
- Determinazione della resistenza allo scavo.
- Mappatura della permeabilità di strati ghiaiosi.
- Mappatura degli strati composti da materiale sciolto.
- Localizzazione delle zone di frattura.
- Mappatura del substrato roccioso.
- Classificazione sismica.

4.3 Interpretazione teorica

Gli strumenti capaci di registrare movimenti nel terreno sono detti sismometri o geofoni. Essi saranno necessariamente posti sulla superficie del terreno.

Solitamente, si hanno sismogrammi di diversi geofoni, posti a diversa distanza dalla sorgente:questi possono essere stampati in funzione del tempo e della distanza, in quelle che vengono definite "registrazioni di scoppio" (shot records). La variazione Tempo/Distanza è detta "scostamento" (moveout).

Arrivi con ampio scostamento sono fortemente inclinati nella registrazione di scoppio e viceversa; dalle registrazioni di scoppio è quindi possibile distinguere l'arrivo delle diverse onde sismiche (dirette, riflesse, rifratte).

A piccole distanze (offset) il primo arrivo è delle onde dirette: questo arrivo ha grande ampiezza e lo scostamento è costante a tutte le distanze.

A maggiori distanze il primo arrivo comincia ad essere quello dell'onda rifratta. Questo arrivo è caratterizzato da piccola ampiezza d'onda e da scostamento costante ma minore di quello dell'onda diretta.

L'ultimo arrivo ad ogni geofono è quello dell'onda riflessa: il suo scostamento tende ad aumentare con la distanza secondo una funzione iperbolica.

Il diagramma che rappresenta i tempi di propagazione delle onde sismiche in funzione della distanza del punto di emissione si definisce "curva di propagazione" o "dromocrona" ("travel time curve"). Definirne l'andamento è compito primario nell'interpretazione di sismica a rifrazione.
Ciò che essenzialmente conta, per il metodo a rifrazione, è identificare il tempo di arrivo della prima onda in ogni geofono ("first break picking"). Questa distinzione non è sempre agevole.
I due segmenti relativi all'arrivo delle onde dirette, prima, e delle rifratte frontali poi, non sono sempre facilmente distinguibili. Il punto di ginocchio, il punto cioè a partire dal quale si verifica la variazione di inclinazione, è detto distanza critica ("cross-over distance").

E' quindi importante osservare che la scelta dei primi arrivi deve essere considerata già come parte dell'interpretazione dei dati più che della raccolta; l'operatore dovrà perciò aver cura di verificare direttamente sul sito che il rapporto segnale/rumore sia accettabile, ed eventualmente ripetere l'acquisizione.

4.4 Metodi di interpretazione

I metodi di interpretazione per la sismica a rifrazione possono essere raggruppati in tre classi principali:

1. Metodi dei Tempi di intercetta (ITM - Intercept-Time Methods)
2. Metodi dei Tempi di ritardo o Reciproci (DTM - Delay Time Method)
3. Metodi di Ray tracing
4. Tomografia sismica

Il metodo tomografico utilizzato permette una ricostruzione bidimensionale di dettaglio delle caratteristiche meccanico-elastiche del sottosuolo e con lo scopo di evidenziare eventuali anomalie di velocità sismica dei terreni.

4.5 Indagine e strumentazione utilizzata

Per la ricostruzione del modello geologico del sito è stata eseguita un'indagine sismica a rifrazione in onde SH in corrispondenza dell'area indagata. L'acquisizione è stata in parte disturbata dalle numerose sorgenti di rumore, tra le quali il traffico stradale lungo Viale Centova e Via Alfredo Cotani, le quali non hanno però compromesso l'acquisizione. E' stata rinvenuta anche una falda sub-superficiale.

Strumentazione utilizzata

L'attrezzatura e la strumentazione utilizzata è costituita da:

- un sistema di energizzazione per le onde SH: la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente trasversalmente su di una traversina in legno posta direttamente sul p.c., ben accoppiata per la generazione prevalentemente di onde S, in grado di generare onde trasversali ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali. In corrispondenza delle battute iniziali e finali sono stati eseguiti 3 scoppi destri e 3 scoppi sinistri al fine di ottenere una buona acquisizione. Tutti gli altri punti di acquisizione sono stati eseguiti con 1 scoppio destro e 1 scoppio sinistro;

- un sistema di ricezione: costituito da 24 geofoni verticali con frequenza propria 10 Hz, ovvero dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo si sposta al passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte da una specifica sorgente;
- sistema di acquisizione dati: con memoria dinamica a 24 bit, cavo sismico, interfaccia USB, notebook PC Windows XP con software DOREMI; il sistema è in grado di convertire in digitale e registrare su memoria il segnale proveniente da ciascun canale dal sistema di ricezione; la conversione A/D avviene già dal primo metro di cavo: il sistema permette pertanto di eliminare molte fonti di disturbo dovute al trasferimento del segnale lungo centinaia di metri di cavo sismico ed è inoltre dotato di un sistema di filtraggio in tempo reale, da un hardware complesso, che comporta un anello di regolazione con diversi passaggi di digital signal processing;
- un sistema di trigger: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta, consentendo ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e di produrre un impulso che viene inviato a un sensore collegato al sistema di acquisizione dati; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

Configurazione a 25 shots:

- 2 end-shots posti a 2.00 m dai geofoni esterni (G1 e G24)
- 23 intermedi posti ogni singolo geofono.

Di seguito si riportano in modo sintetico le configurazioni spaziali dell'acquisizione:

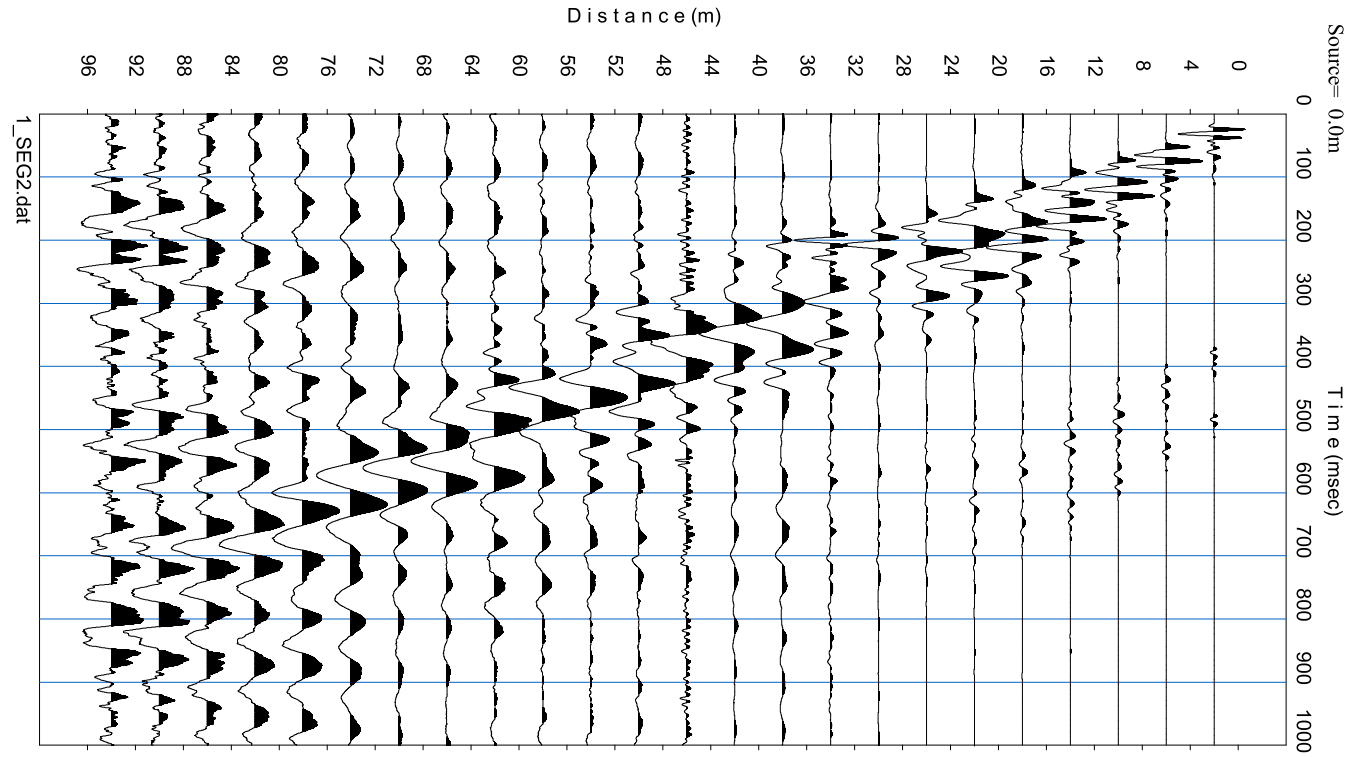
- lunghezza stendimento compresi end-shots: 96.0 m
- lunghezza stendimento ricevitori: 92.0 m
- n. geofoni: 24
- distanza intergeofonica: 4.0 m
- n. punti di energizzazione (shots): 25
- end-shots: 2.00 m

INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

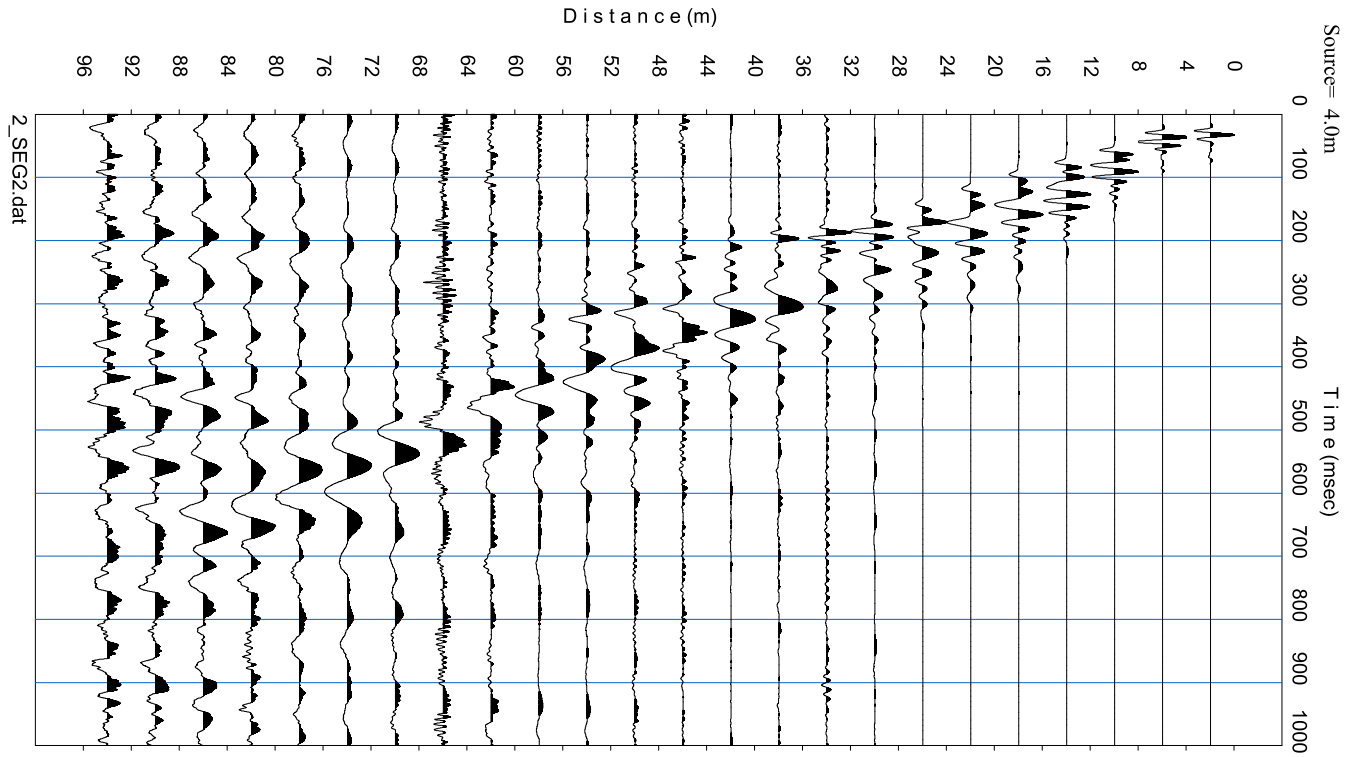
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.1 - 0.00m



Shot n°.2 - 4.00m

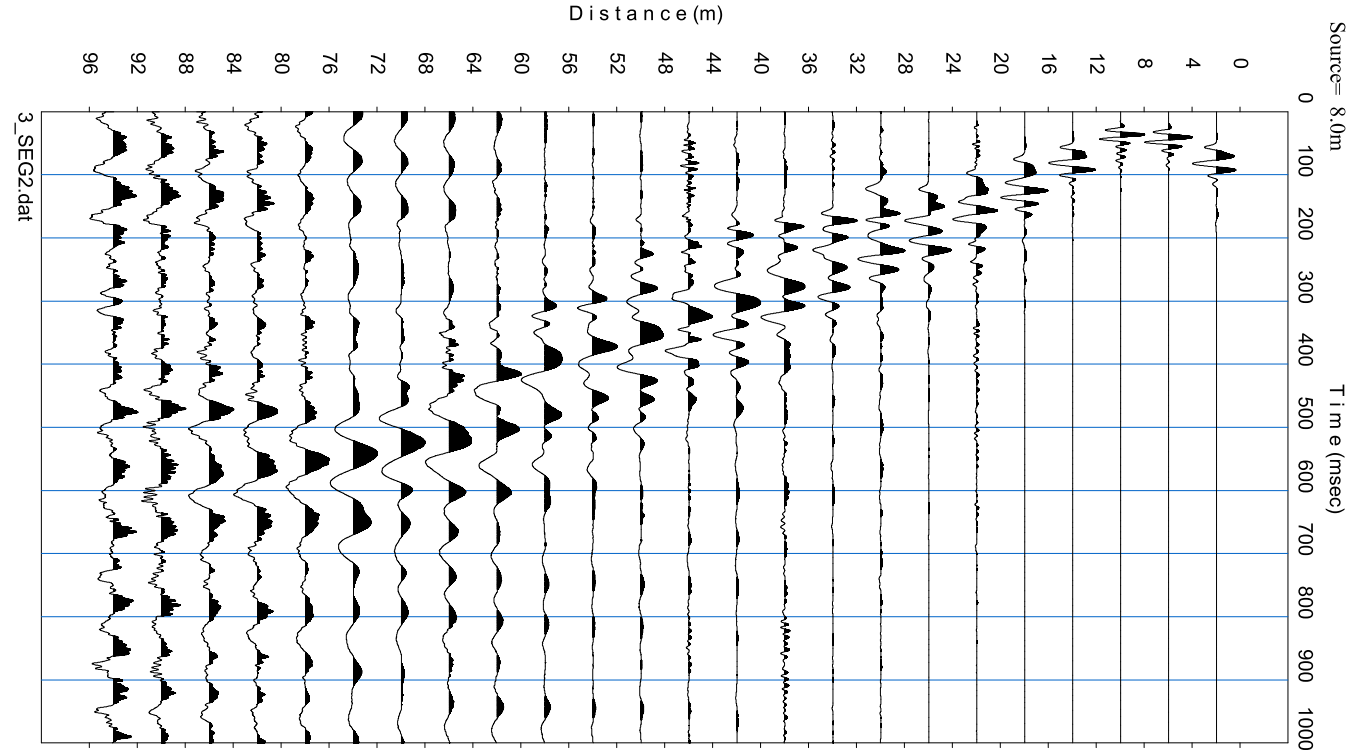


INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

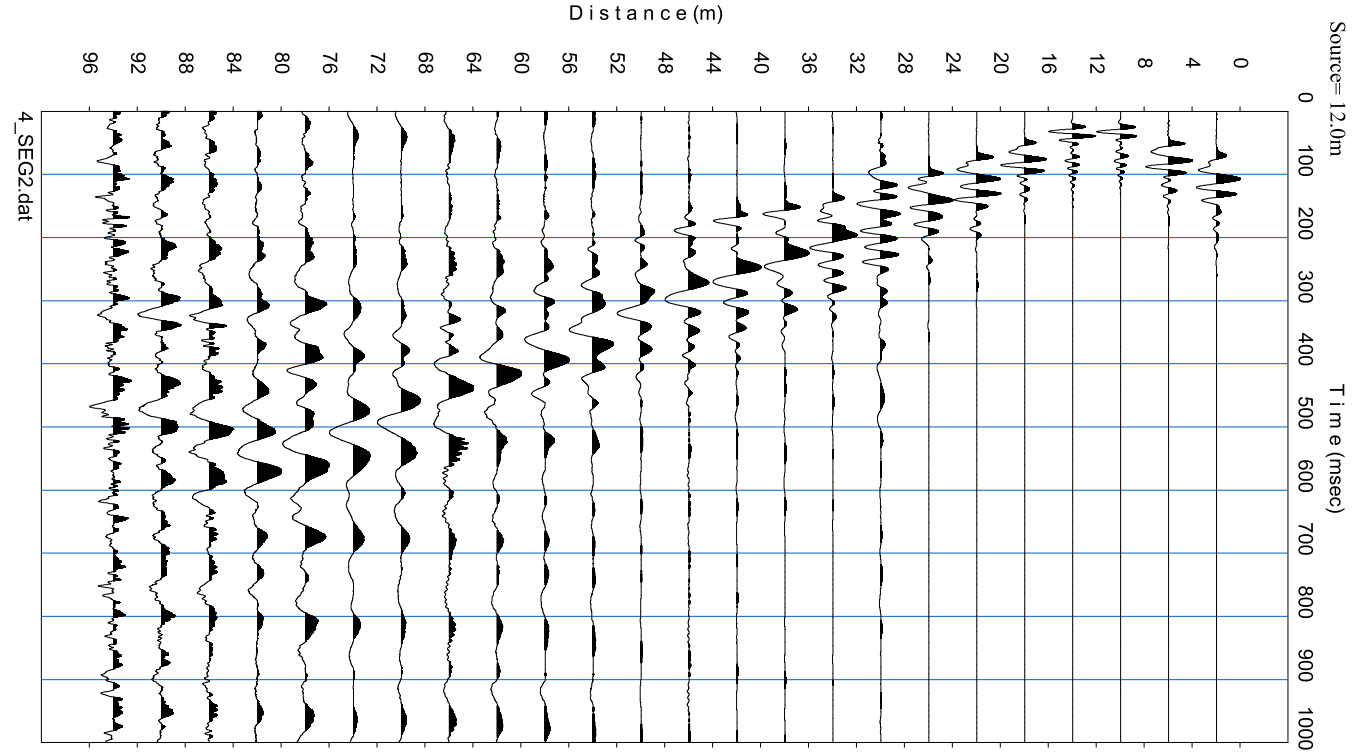
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.3 - 8.00m



Shot n°.4 - 12.00m

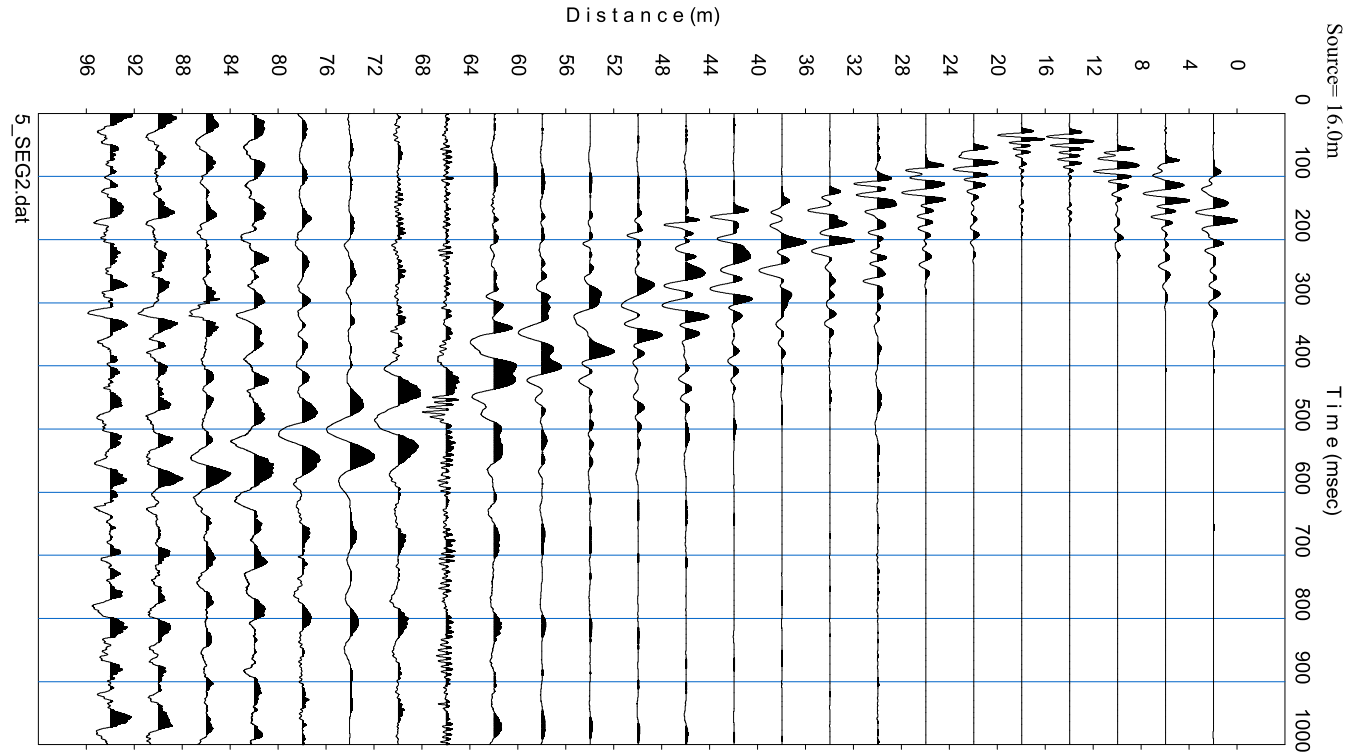


INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

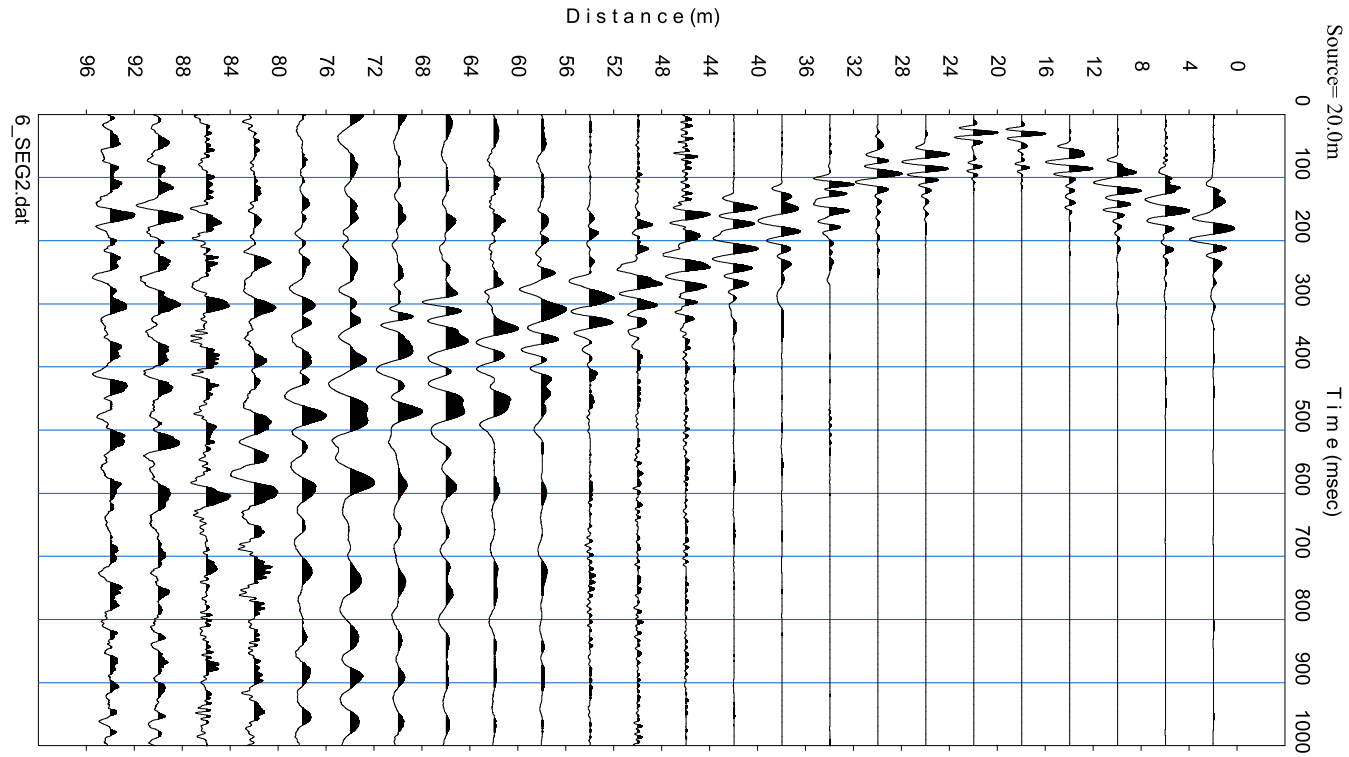
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.5 - 16.00m



Shot n°.6 - 20.00m

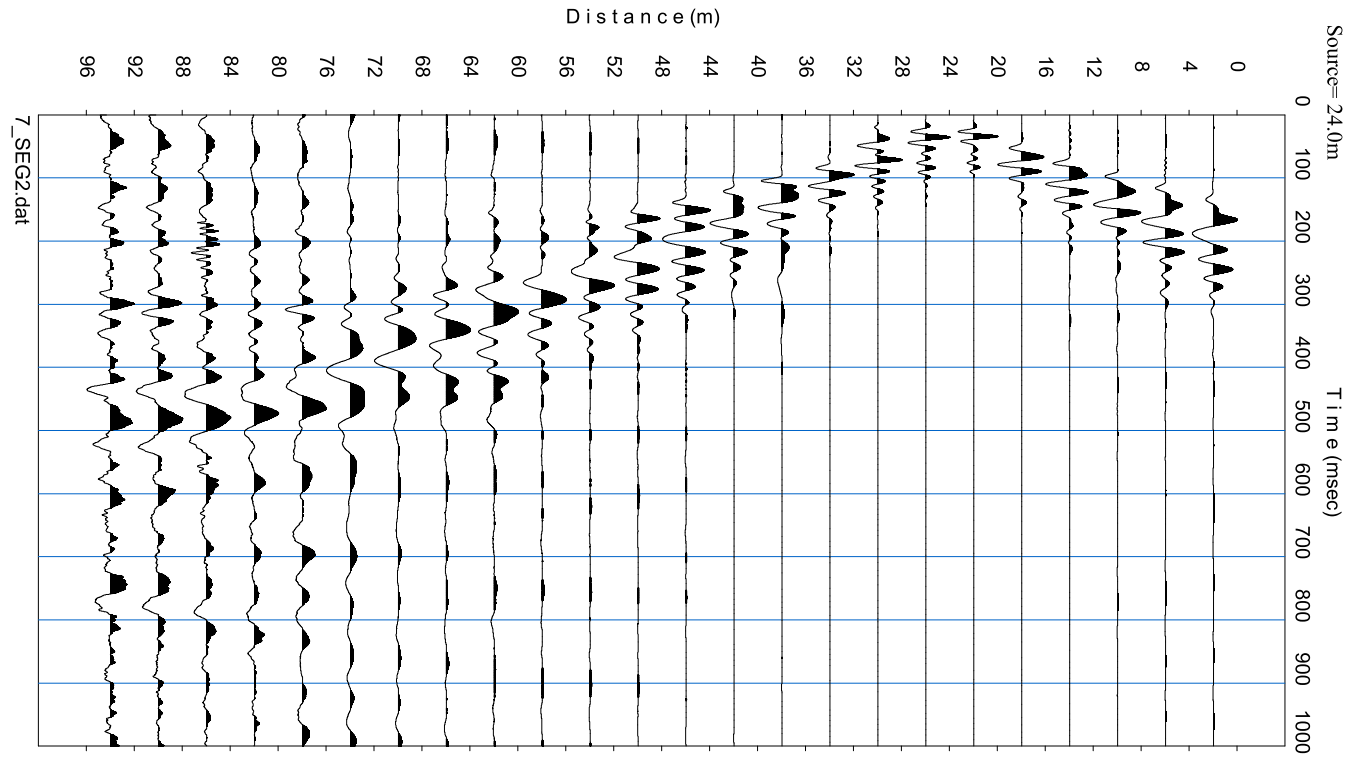


INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

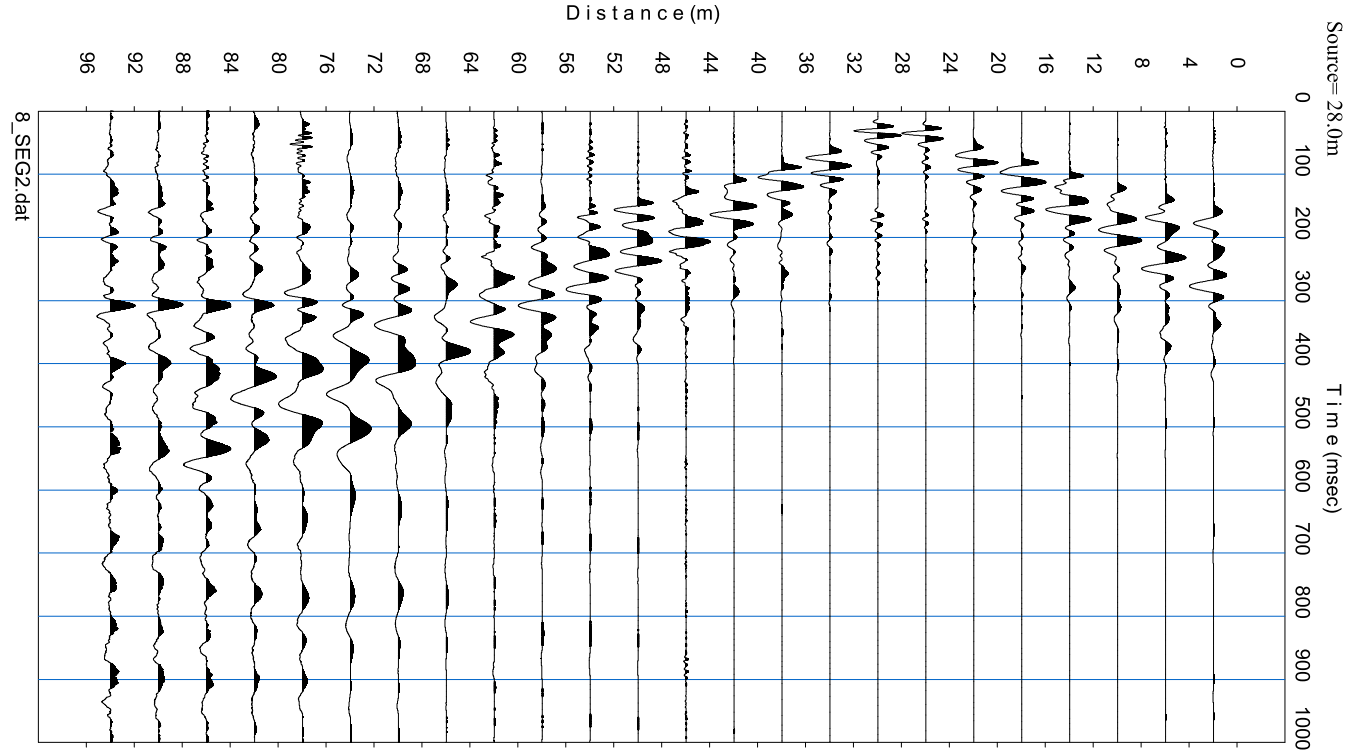
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.7 - 24.00m



Shot n°.8 - 28.00m

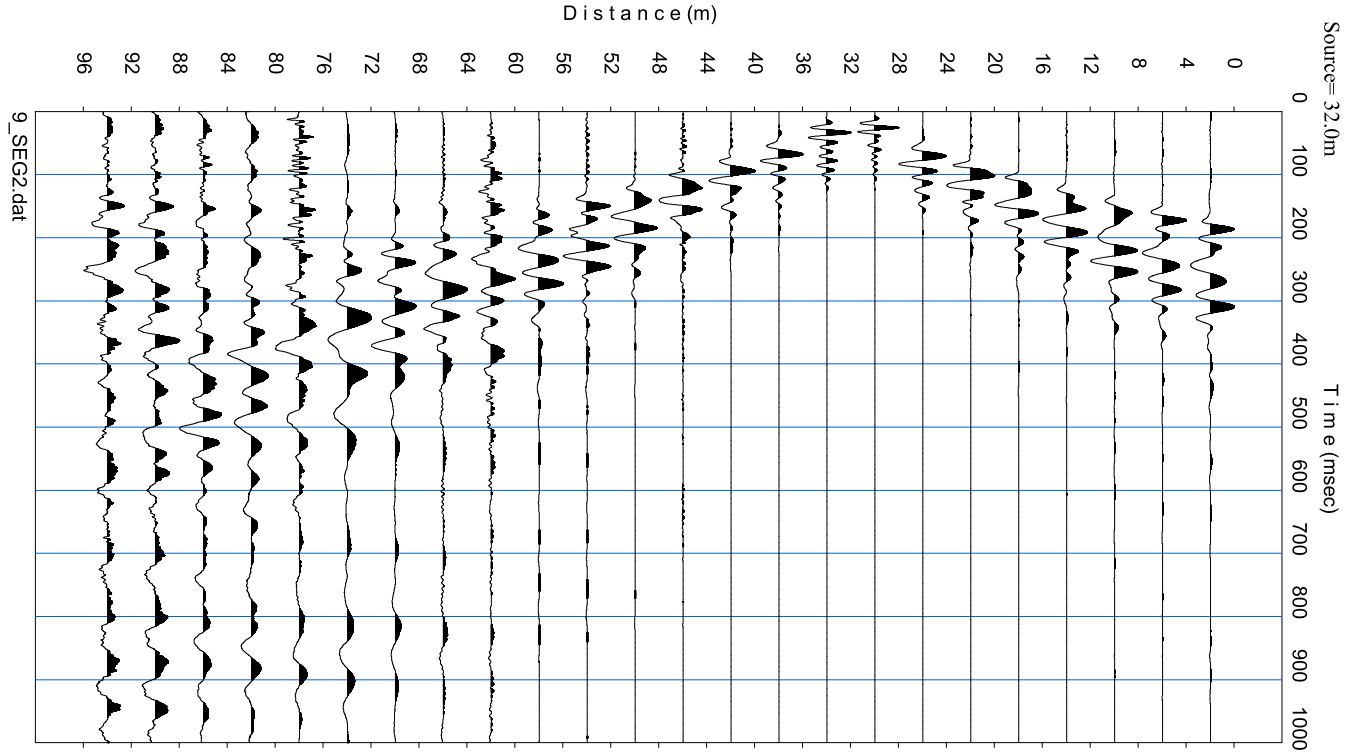


INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

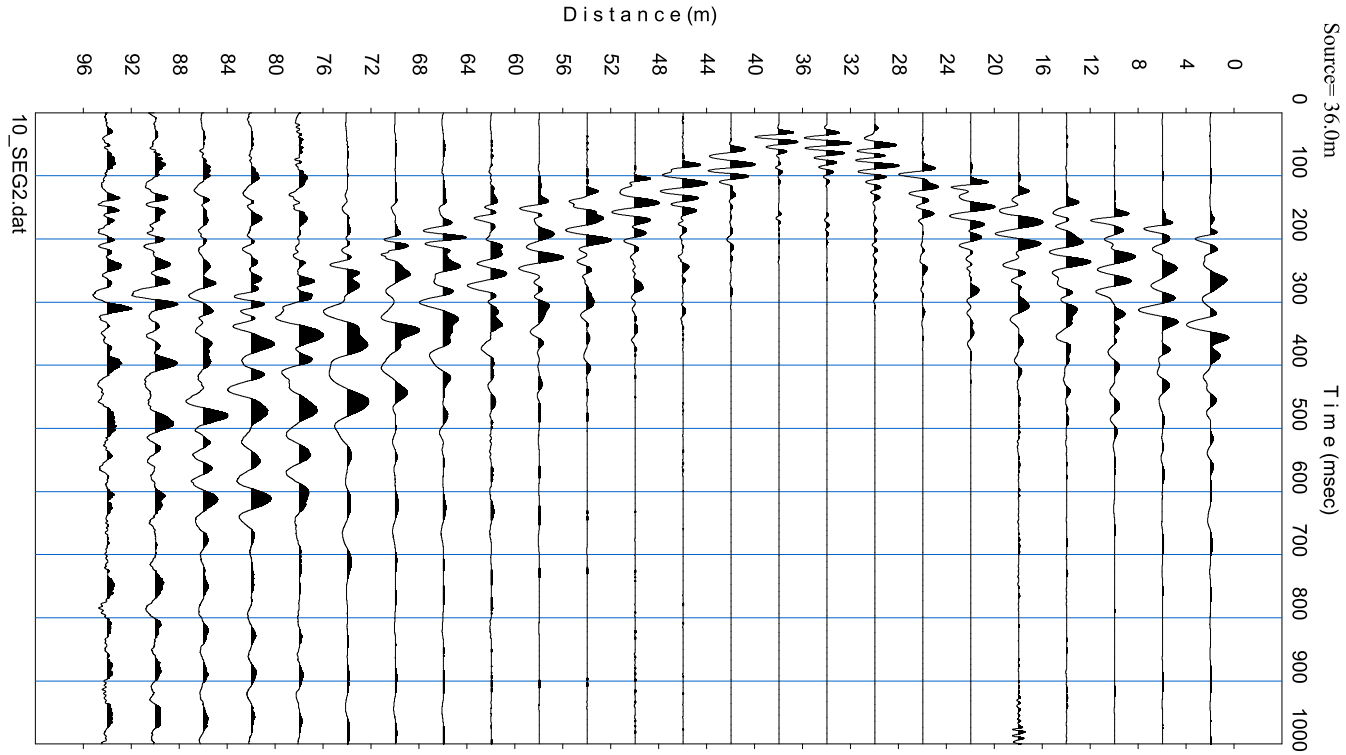
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.9 - 32.00m



Shot n°.10 - 36.00m

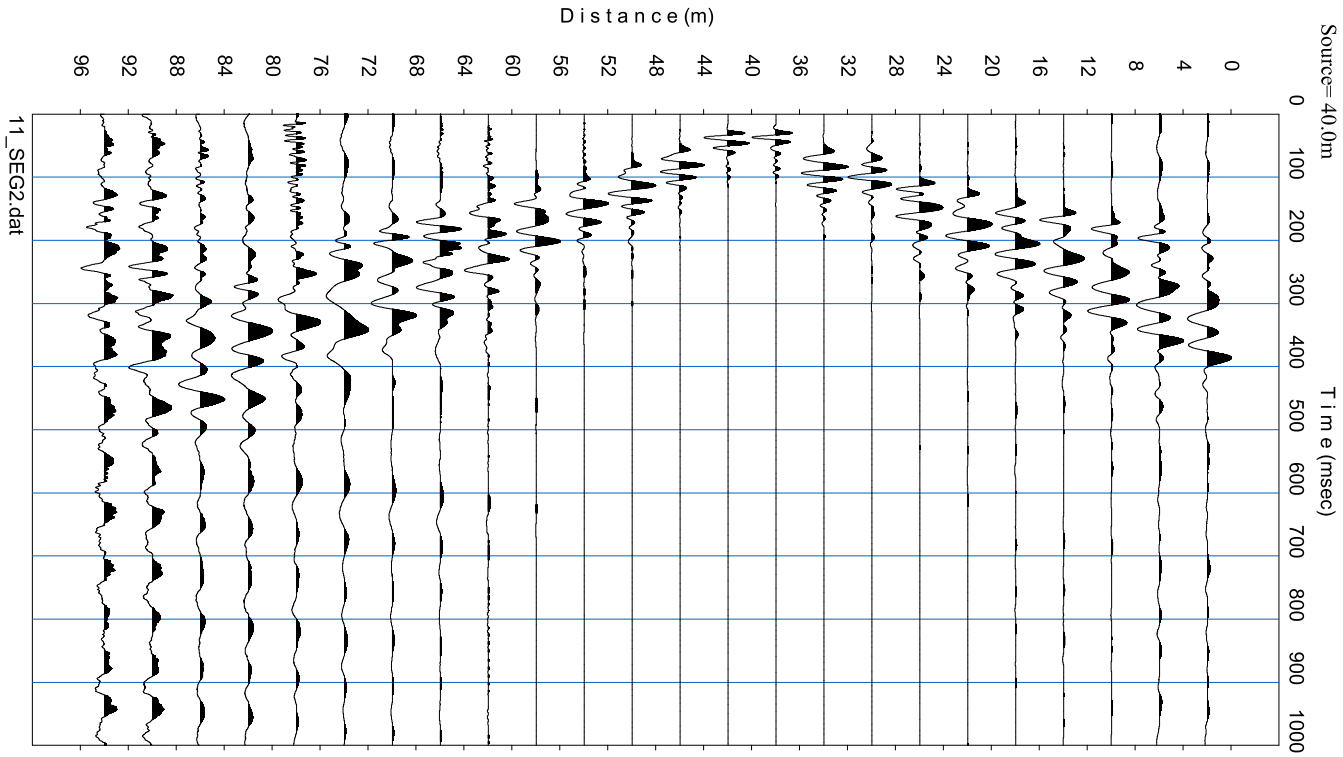


INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

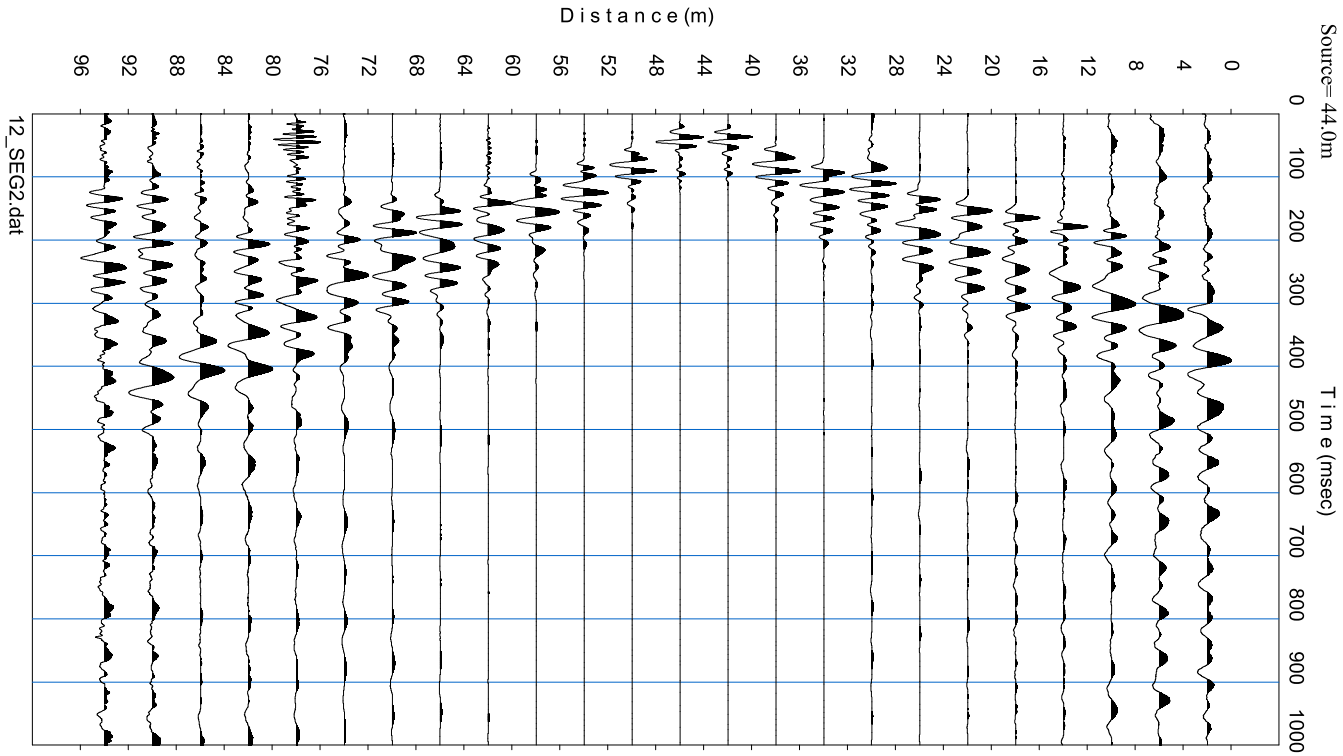
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.11 - 40.00m



Shot n°.12 - 44.00m

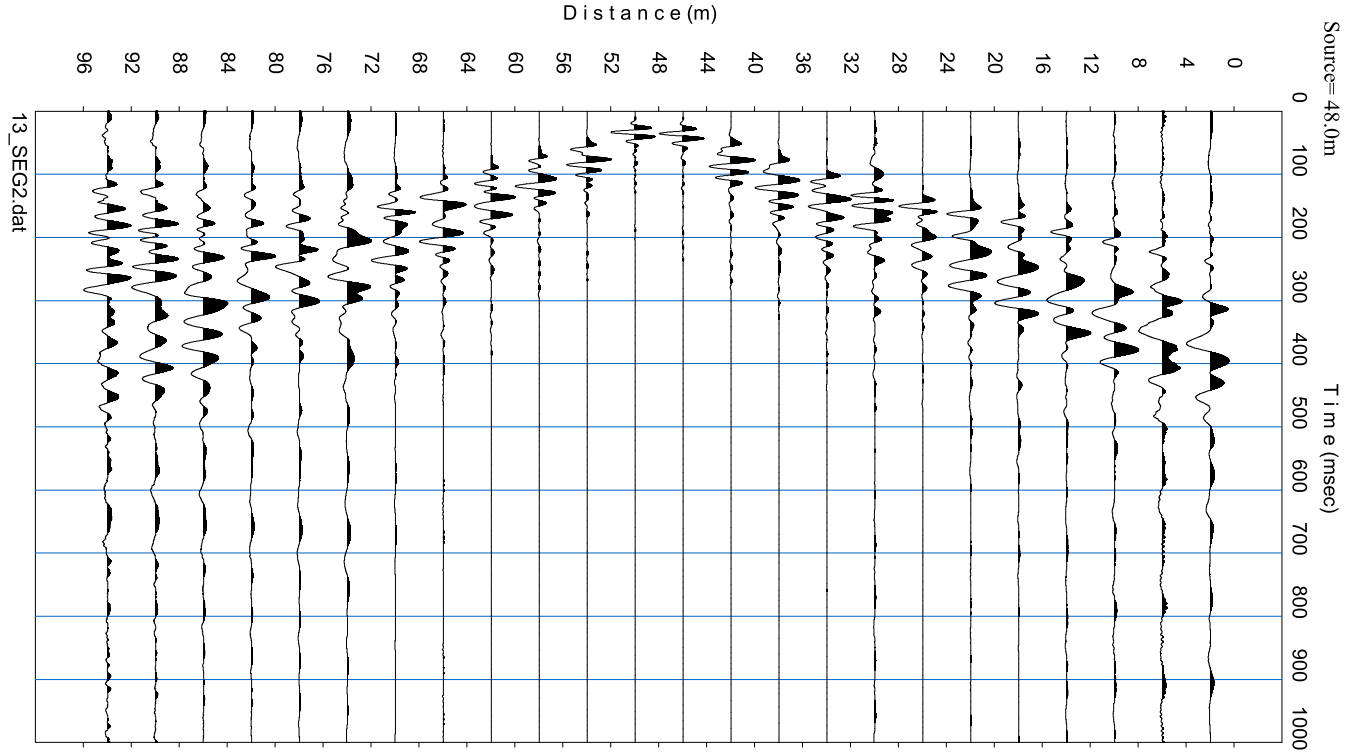


INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

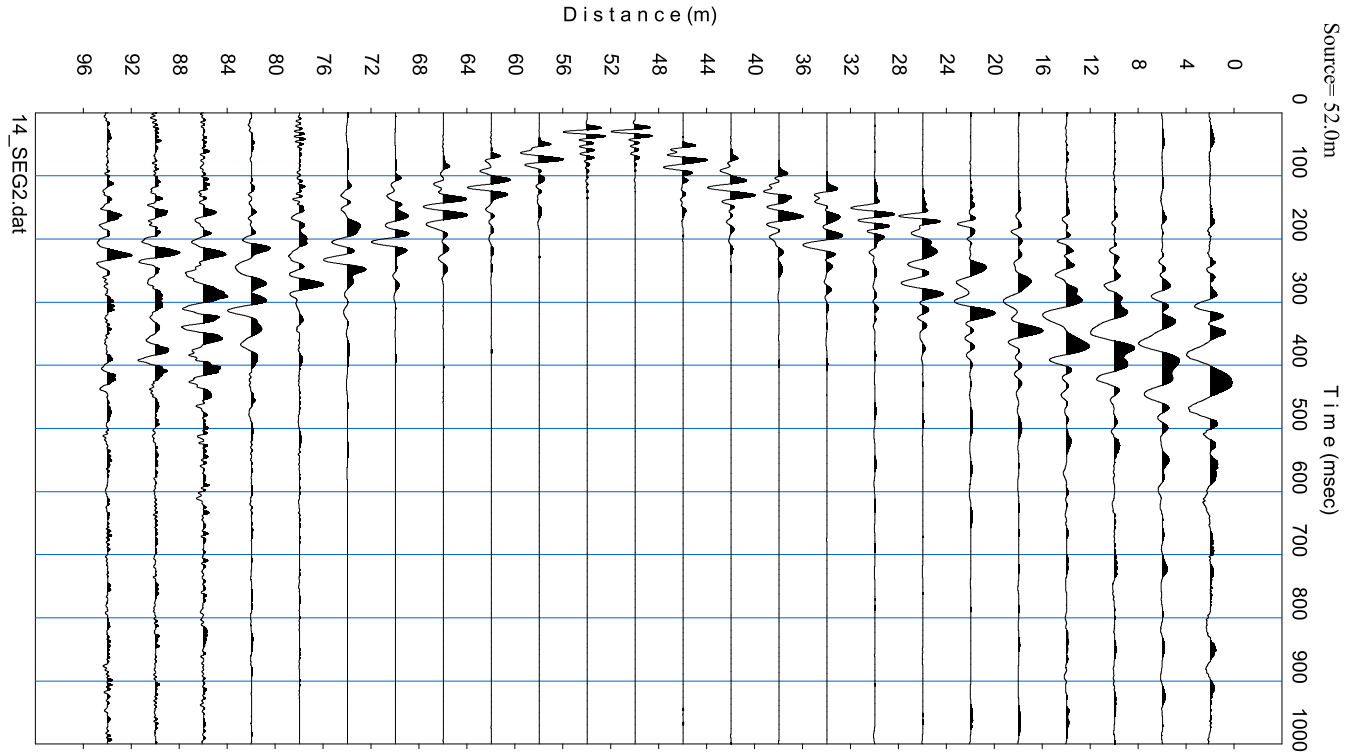
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.13 - 48.00m



Shot n°.14 - 52.00m

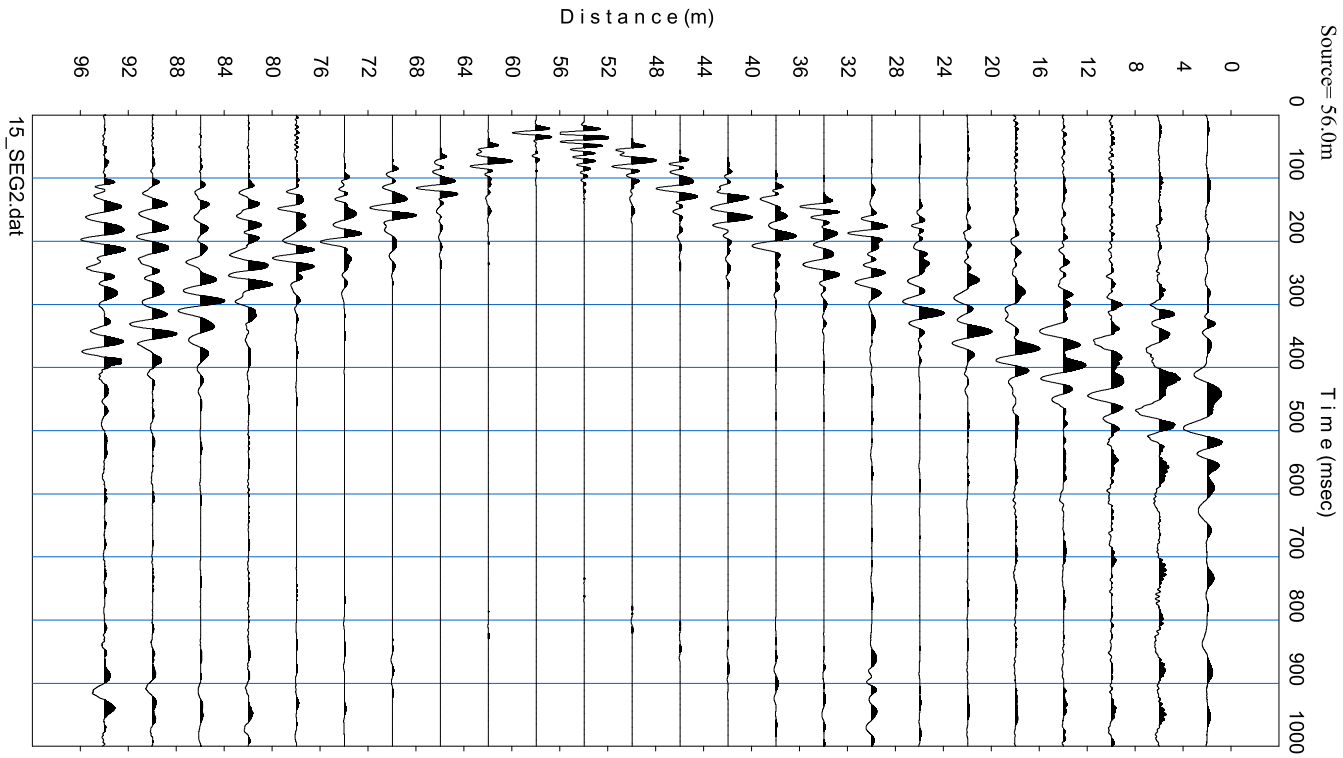


INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

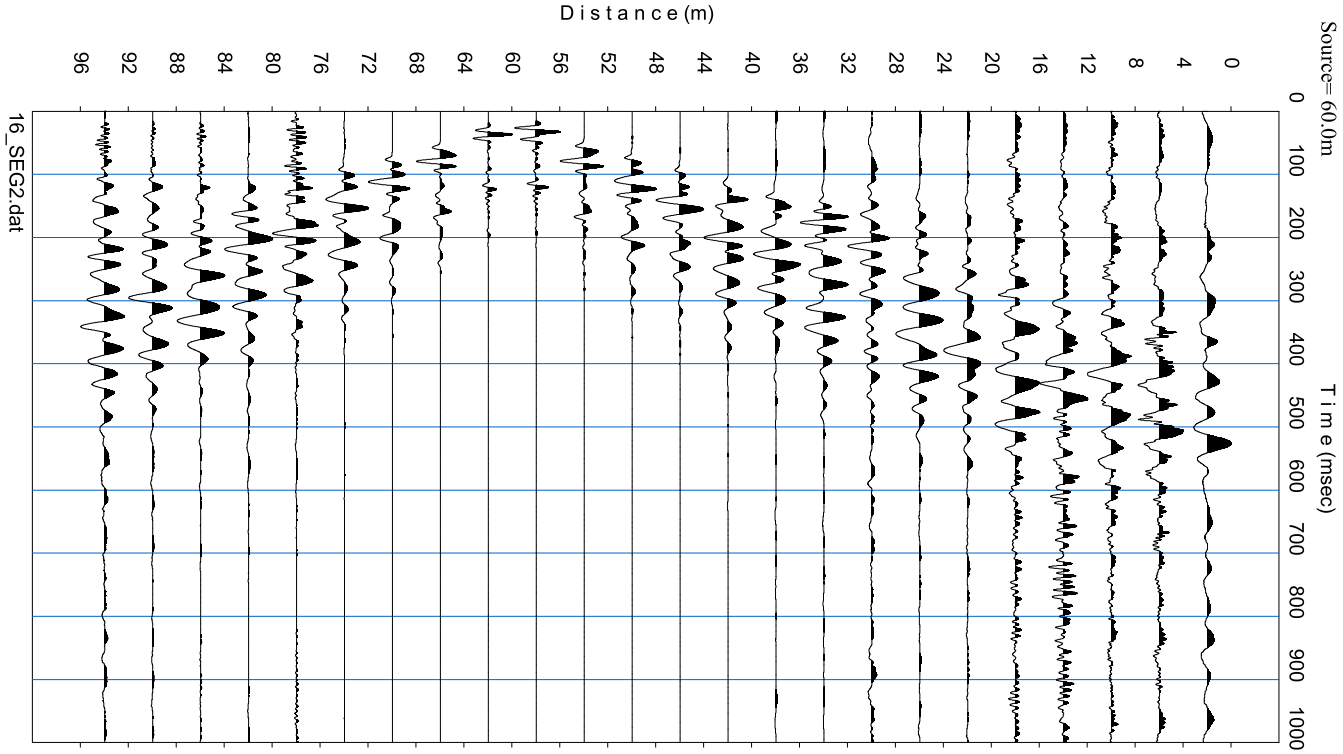
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.15 - 56.00m



Shot n°.16 - 60.00m

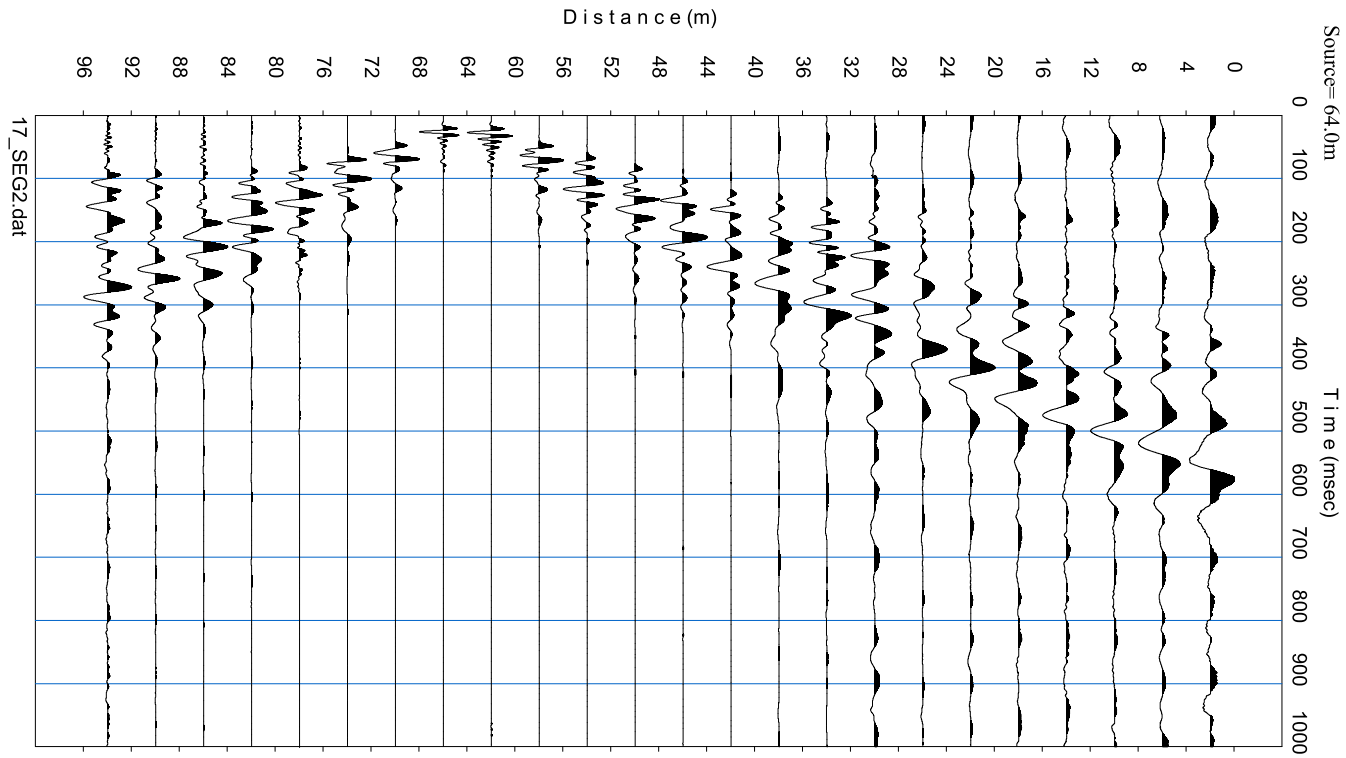


INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

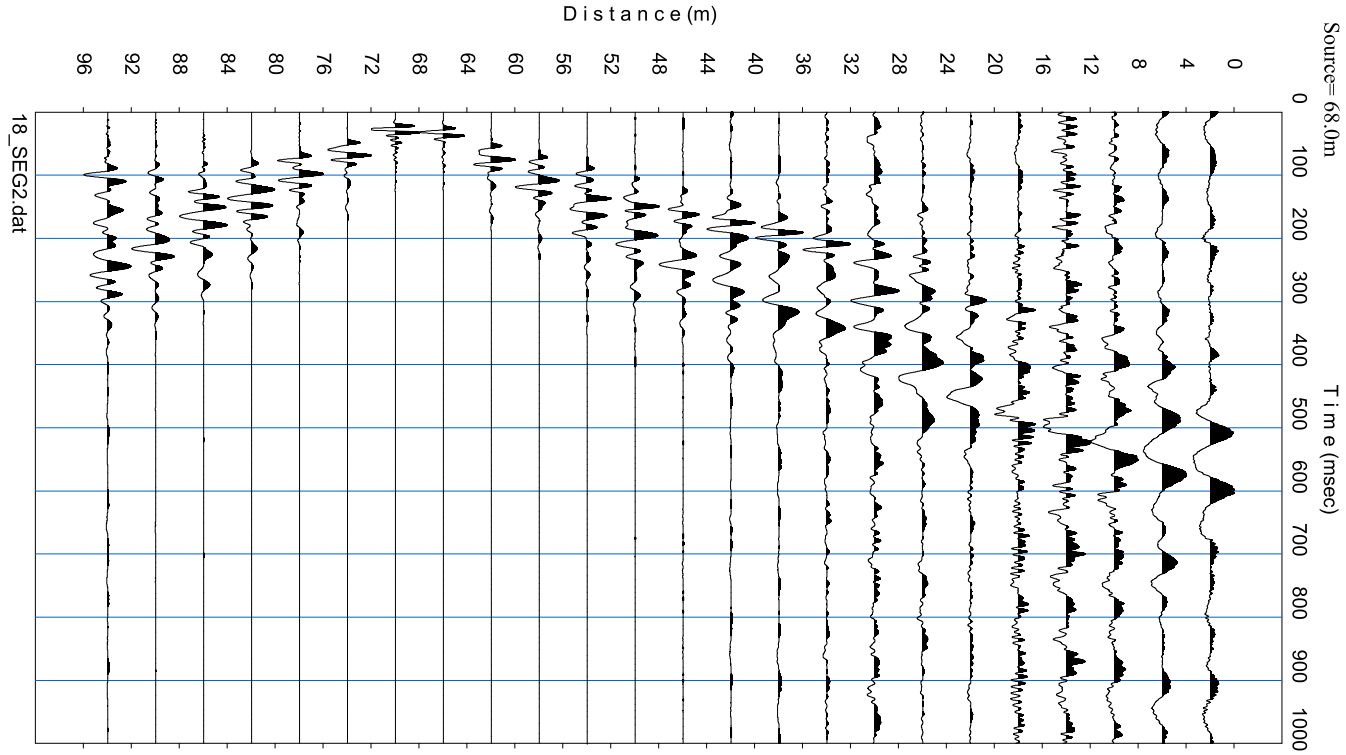
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.17 - 64.00m



Shot n°.18 - 68.00m

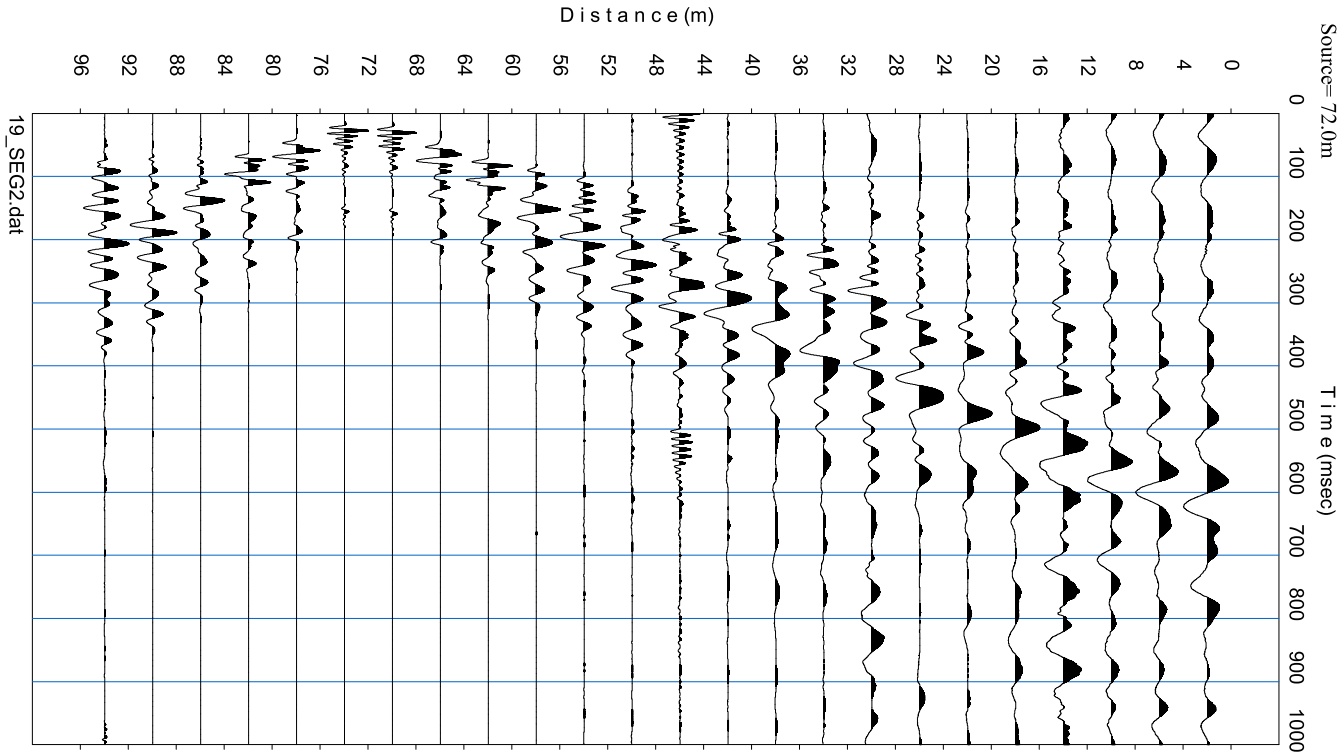


INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

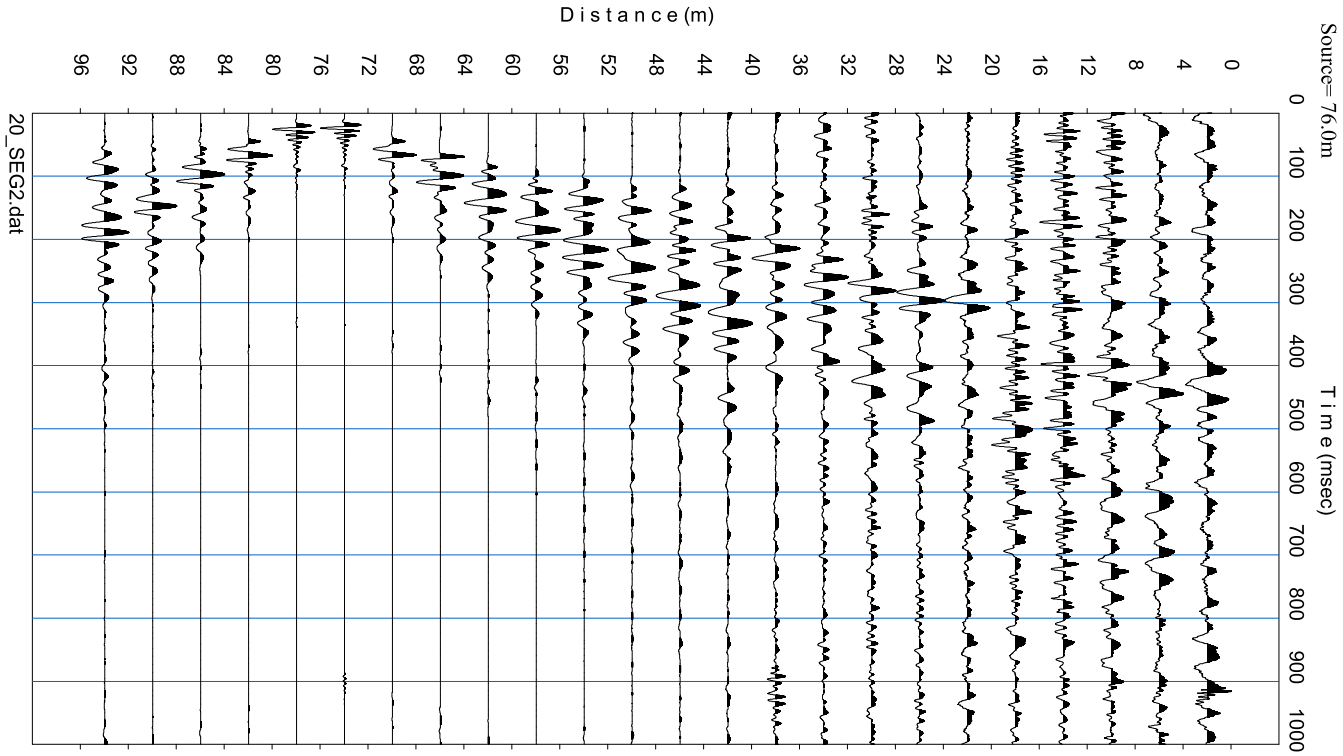
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.19 - 72.00m



Shot n°.20 - 76.00m

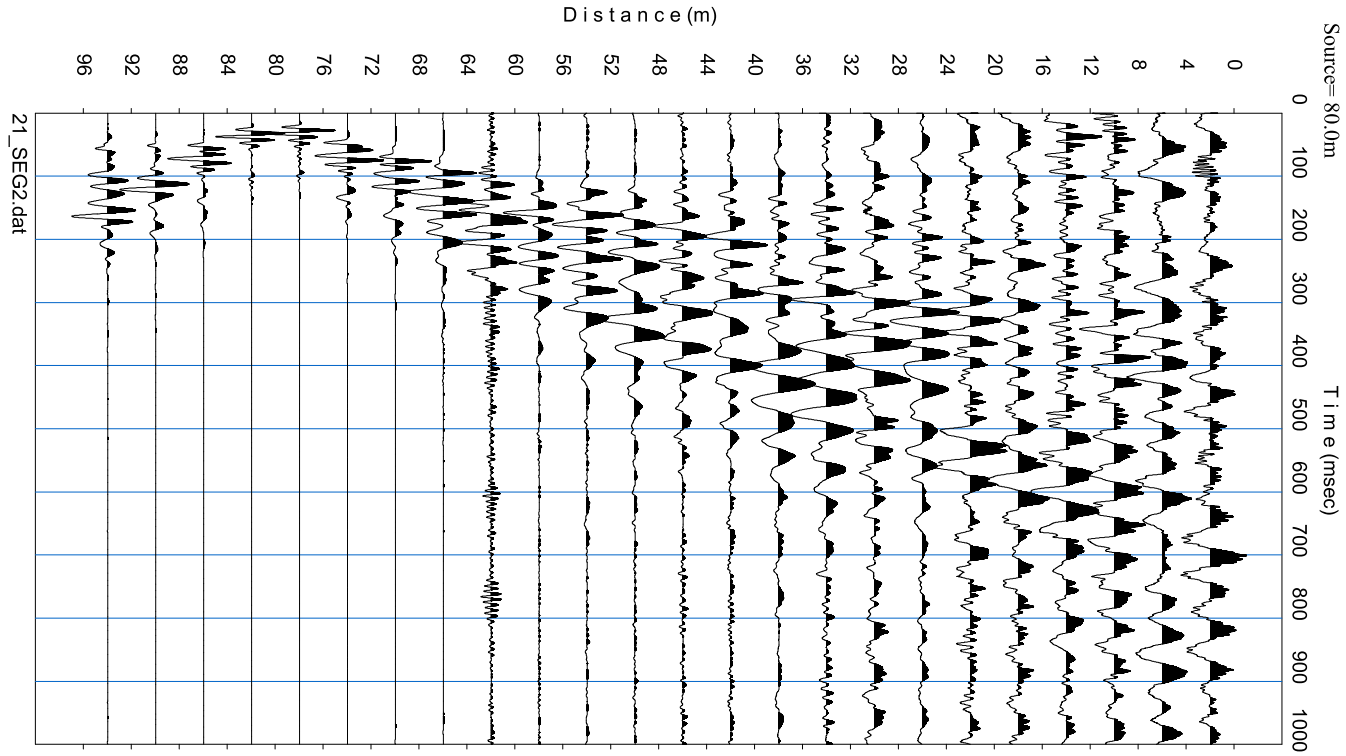


INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

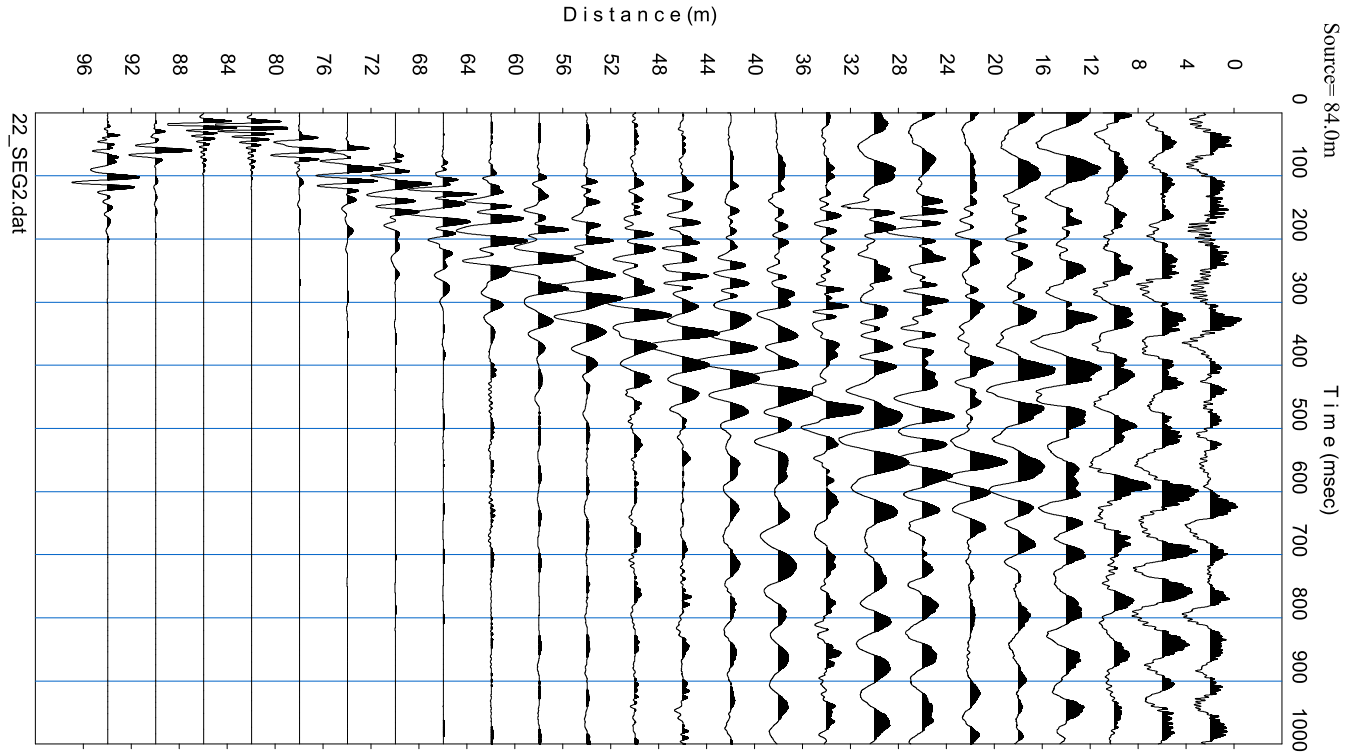
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.21 - 80.00m



Shot n°.22 - 84.00m

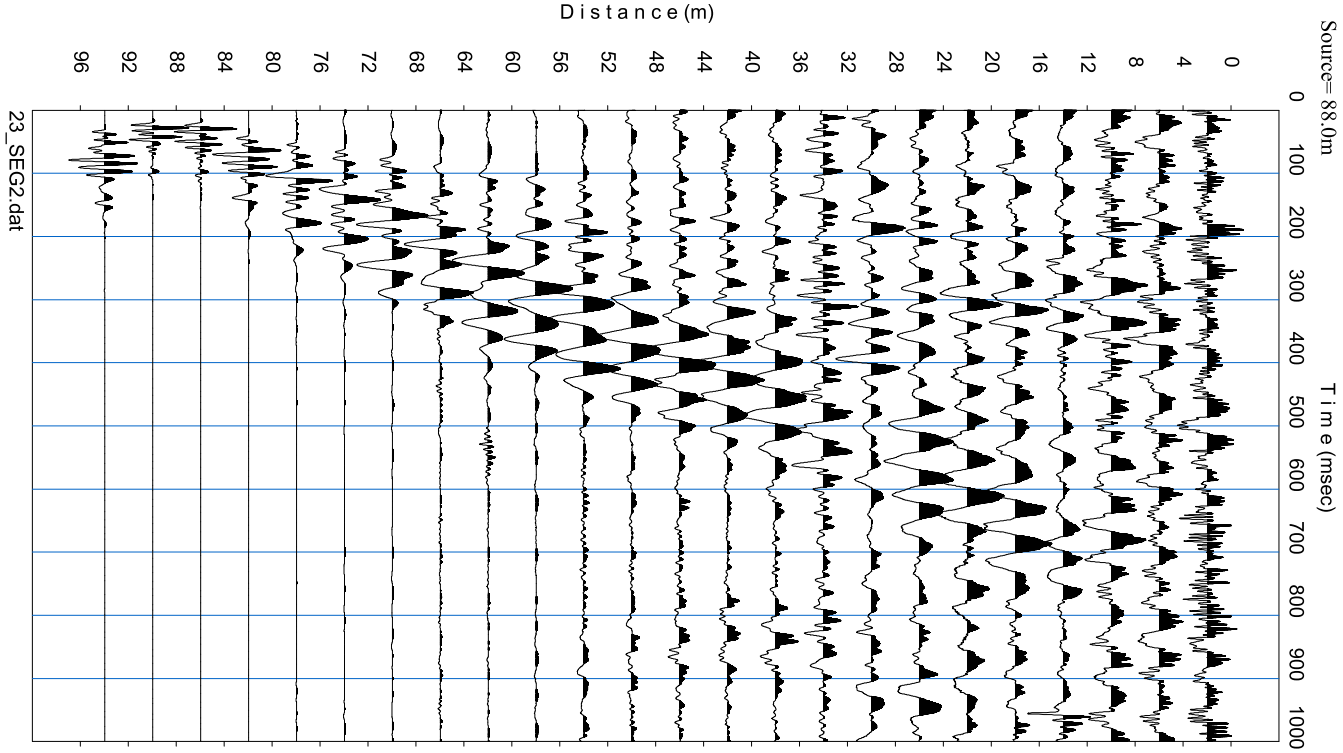


INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

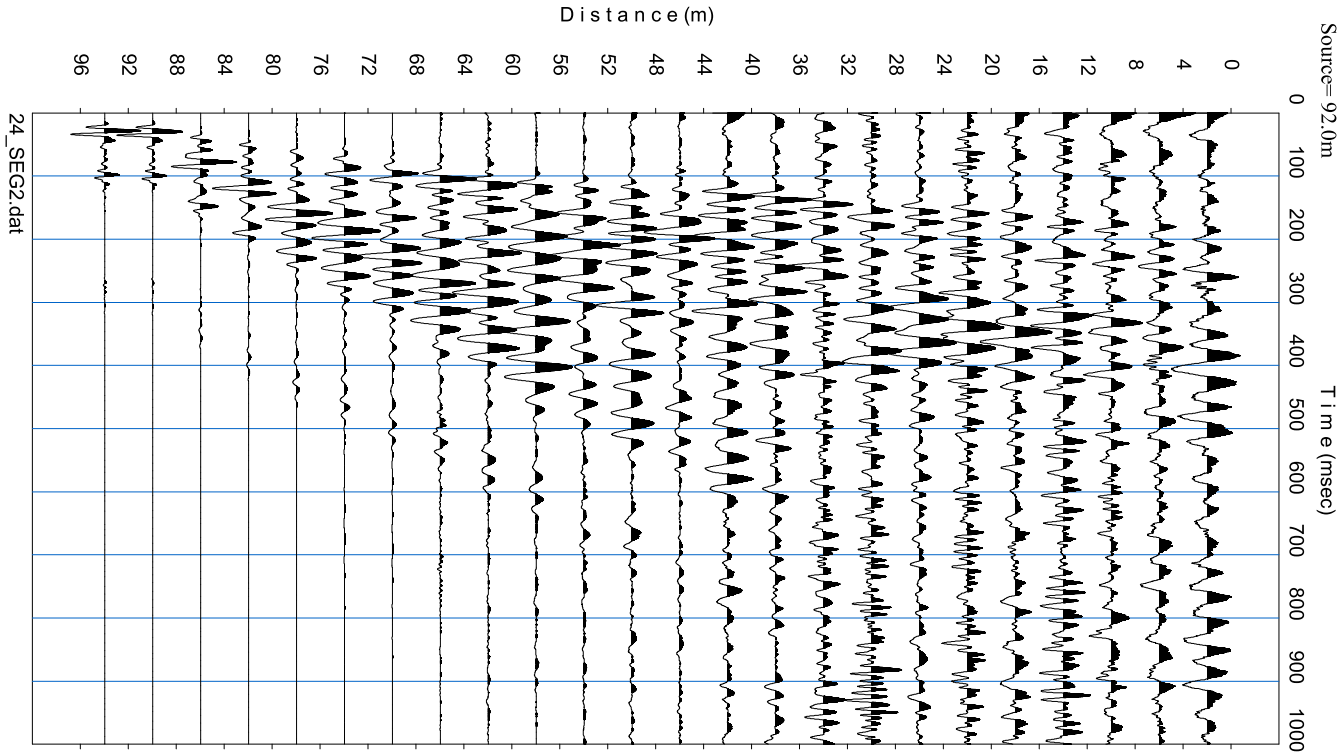
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.23 - 88.00m



Shot n°.24 - 92.00m

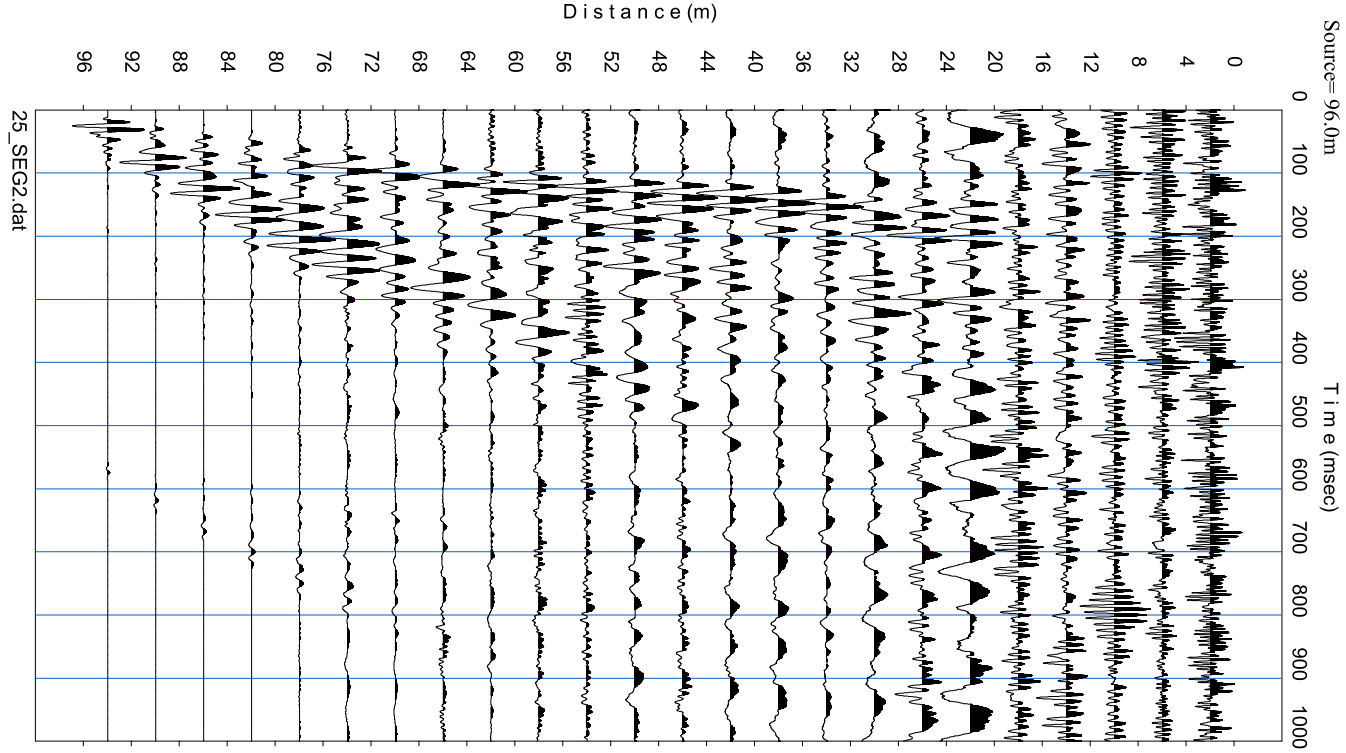


INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

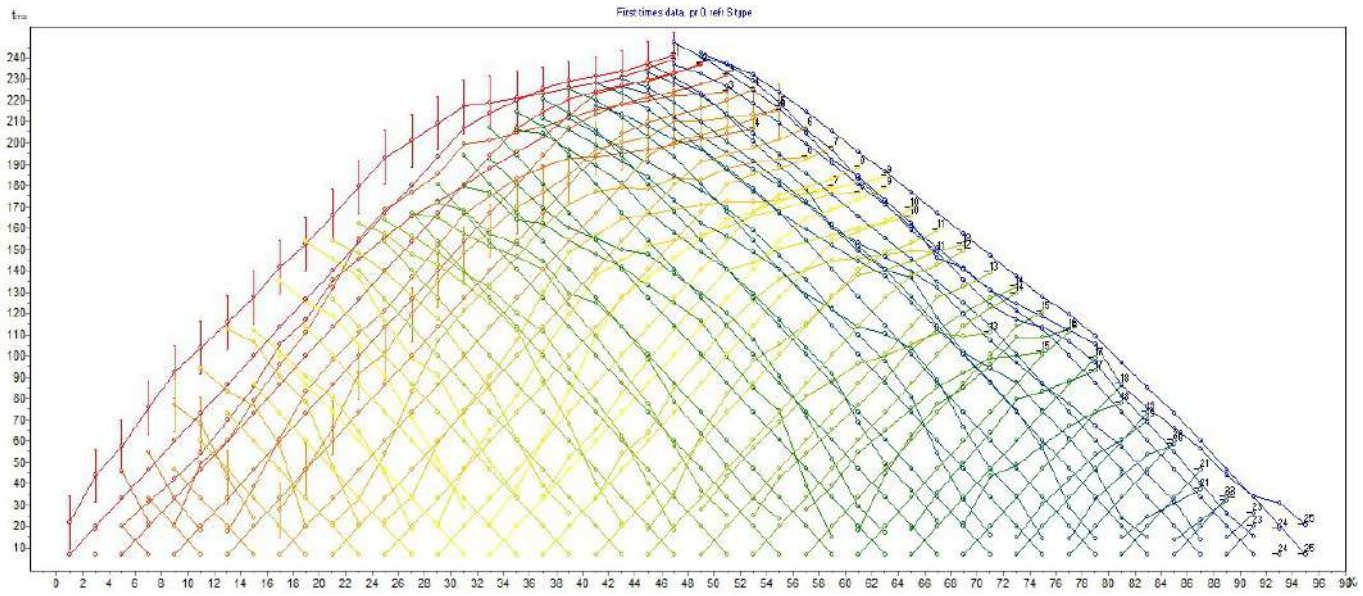
Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Shot n°.25 - 96.00m



DROMOCRONE



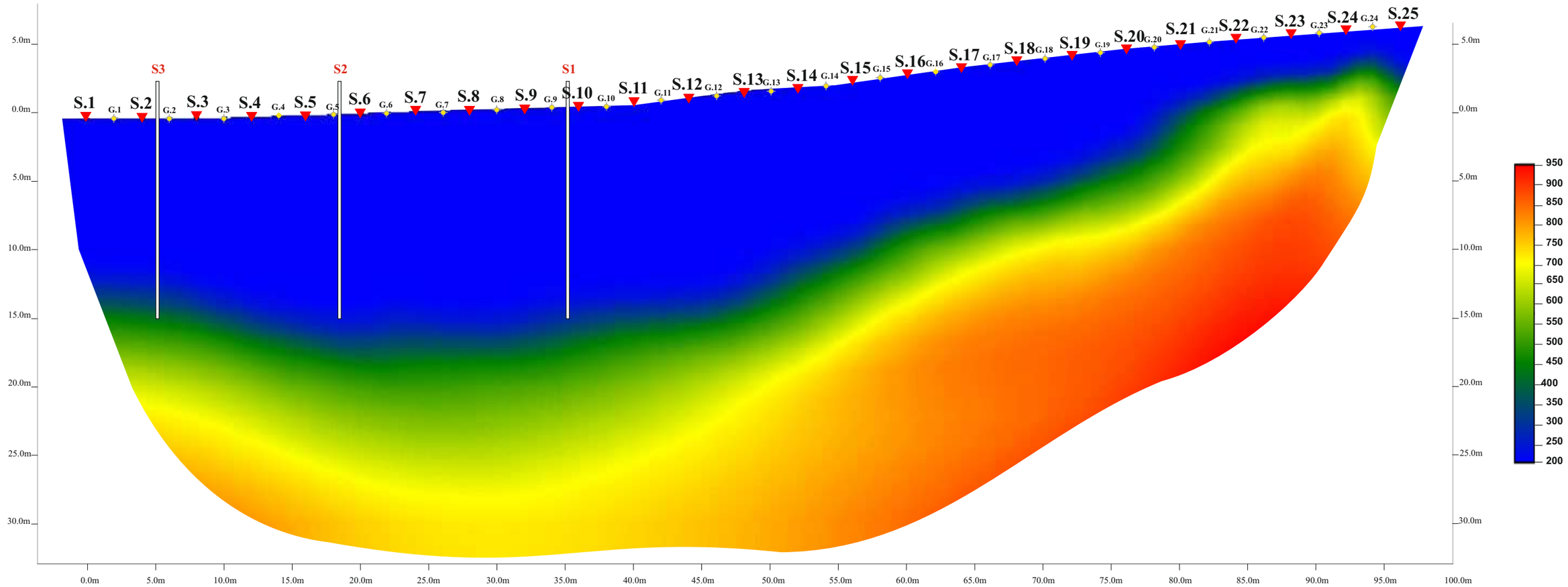
INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE ONDE SH

Oggetto: Indagini geognostiche e geofisiche loc. Viale Centova (Zona I.T.E.T. A. Capiti) Perugia
Committente: Provincia di Perugia

Data :
Gennaio 2021

Scala 1:300

TOMOGRAFIA SISMICA



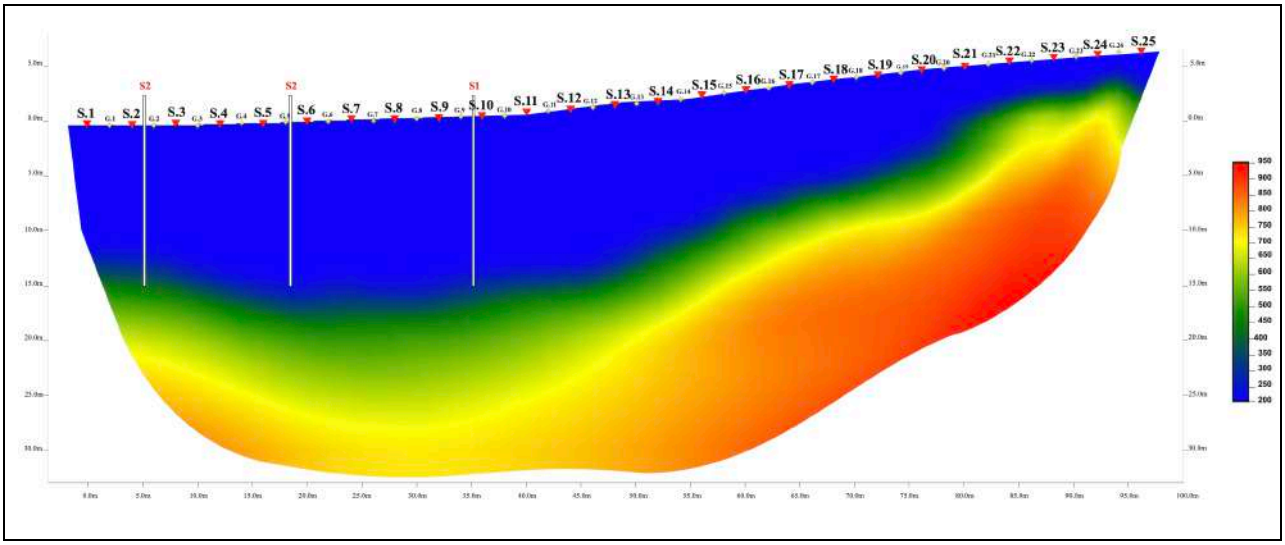
4.6 Interpretazione

Il metodo tomografico prevede la suddivisione dell'area in esame in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio, relativo ai percorsi delle onde sismiche che le attraversano.

La presentazione delle elaborazioni eseguite da come risultato un grafico della distribuzione della velocità delle onde sismiche in una sezione piana contente le sorgenti e i geofoni.

La sezione finale rappresenterà la velocità delle onde SH in m/s in funzione di una scala cromatica definita dall'utente, che in genera va dal blu (basse velocità) al rosso (alte velocità). Tra le soluzioni ottenibili è stata scelta quella con maggior coerenza con i risultati ottenuti delle indagini sismiche a M.A.S.W., H.V.S.R. e i sondaggi geognostici eseguiti.

<u>Profilo tomografico</u>



Si evidenziano pertanto 3 rifrattori principali:

- sismostrato superficiale posto fino a una profondità variabile da 5.00 m a 15.00 m da p.c. caratterizzato da valori delle velocità delle onde V_{SH} compresi tra 200m/s e 500 m/s, associabile ipoteticamente ad argille limose variamente consistenti;
- secondo sismostrato posto fino a una profondità variabile da 10.00 m a 26.00 m da p.c. caratterizzato da valori delle velocità delle onde V_{SH} compresi tra 550m/s e 750 m/s, associabile ipoteticamente a sabbie fini e depositi marnosi;
- ultimo sismostrato caratterizzato da valori delle velocità delle onde V_{SH} maggiori a 800m/s, associabile ipoteticamente al substrato marnoso.

5. INDAGINE DI SISMICA PASSIVA HVSR

5.1 Caratteristiche del metodo di indagine

Il metodo di sismica passiva HVSR (Horizzontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) è basato sul calcolo dei rapporti spettrali tra la componente orizzontale e verticale del segnale acquisito e consente di determinare la frequenza di risonanza ovvero la frequenza con cui un terreno o un edificio vibra con maggiore ampiezza. Tale frequenza viene determinata utilizzando il rumore ambientale (rumore a corto periodo). Mediante un sistema di acquisizione composto da un sensore a tre componenti: verticale, Est-Ovest e Nord-Sud, si registrano finestre di rumore ambientale dalle quali è possibile elaborare i rapporti H/V.

Dall'elaborazione dei dati acquisiti direttamente sul terreno, si ottiene che ciascun picco nel grafico H/V corrisponde ad un livello stratigrafico che presenta un contrasto di impedenza rispetto al livello sottostante. Maggiore è il contrasto di impedenza, maggiore è l'ampiezza attesa del picco H/V.
Il numero di picchi visibili in un grafico HVSR-frequenza dipende dal contrasto, dalla distanza tra le due discontinuità e dalla funzione di lisciamento impiegata.
Va notato che per le stesse ragioni l'aumento del lisciamento porta anche ad una diminuzione dell'ampiezza assoluta di ciascun picco, pertanto, per ovviare a questi problemi, è sufficiente adottare la stessa procedura di analisi dei dati durante tutta la campagna di misura in modo da rendere confrontabili i risultati ottenuti.
I picchi antropici, ad esempio quelli legati alle attività industriali, possono scomparire di notte e compaiono esattamente con la stessa forma in tutte le registrazioni effettuate in una determinata area.

Per valutare le frequenze amplificate nell'area interessata dal progetto sono state eseguite 2 misure di rumore ambientale, mediante la tecnica di Nakamura in due punti distinti.

5.2 Acquisizione con tromografo digitale "theremino"

Il metodo HVSR, come tutti gli altri metodi geofisici, ha bisogno di essere interpretato dall'utente sulla base delle conoscenze geologiche dell'area. Come tutte le indagini indirette hanno il vantaggio di misurare i parametri geofisici del terreno in sito, ma non è sempre facile risalire al profilo geologico reale.

La tecnica HVSR, come già scritto sopra, consente di valutare la frequenza di risonanza di uno strato soffice a partire dalle sole registrazioni di superficie. In particolare, Nakamura (1989) ha ipotizzato che la componente verticale del rumore sismico ambientale (di varia origine) fosse relativamente non influenzata dai sedimenti. Per cui il rapporto H/V tra lo spettro di Fourier delle componenti orizzontali e verticali è stato messo in evidenza come una stima affidabile della risposta di sito alle onde S, non solo per la frequenza di risonanza, ma anche per la relativa amplificazione, partendo dall'ipotesi che la divisione della componente verticale assunta come riferimento, permettesse di rimuovere gli effetti della sorgente, oltre a quelli dovuti alle onde di Rayleigh.

La **strumentazione** e il **software** utilizzati in questo lavoro sono costituiti da:

- scheda madre Theremino master con uscita USB;
- Adc 24 bit;
- n. 2 geofoni orizzontali da 4,5 hz;
- n. 1 geofono verticale da 4,5 hz;
- Frequenza di campionamento 500 Hz;
- Durata acquisizioni 20 minuti;
- Attendibilità delle prove eseguite sul suolo buona, acquisizioni sufficientemente lunghe per avere un buon segnale da essere elaborato;
- Filtraggio software 1,0 - 100 hz
- Registrazione dei dati acquisiti in formato *.SAF;
- pc Windows compatibile con software Theremino-Dolfrang (per visionare e acquisire i dati in tempo reale);
- software open source "geopsy", per l'elaborazione del diagramma H/V-frequenza.

Il software open source Geopsy permette di definire il rapporto H/V, secondo i criteri di attendibilità stabiliti dal progetto SESAME, partendo dalle registrazioni delle vibrazioni misurate sui tre assi dal tomografo digitale.

5.3 Schema esecutivo della prova e processing dei dati

Il ***processing*** dei dati, come fornito dalle linee guida del progetto SESAME (2004), potrà essere effettuato nel seguente modo:

1. Suddivisione della finestra di registrazione completa (la lunghezza della finestra dipende dal valore minimo di frequenza che si è interessati a campionare);
2. Eliminazioni delle sotto-finestre contenenti transienti;
3. Utilizzo delle **FFT** (Fast Fourier Tranform) per il computo degli spettri;
4. Lisciamento (**smoothing**) degli spettri, utilizzando diverse tecniche. Le più utilizzate sono la Konno-Ohmachi smoothing window, valida soprattutto per analizzare frequenze inferiori a 1 Hz, la Hanning smoothing window valida per frequenze superiori a 1Hz;
5. Calcolo facoltativo della componente orizzontale media ottenuta preferibilmente mediando (media geometrica) le due componenti orizzontali E-O e N-S;
6. Calcolo del rapporto spettrale H/V (o dei rapporti NS/V, EO/V) per ciascuna sotto-finestra;
7. Stima del valore medio della curva H/V e della deviazione standard.

REPORT INDAGINE SISMICA A STAZIONE SINGOLA ''HVSR 1''

SCHEDA ACQUISIZIONE DATI HVSR 1

Fig. 1

Committente **PROVINCIA DI PERUGIA**	Località **PERUGIA**	Operatore
Data **22/01/2021**	**Ora** **09.50 - 10.10**	**GPS tipo e num.**
Latitudine 43.101692 (WGS84)	**Longitudine** 12.361398° (WGS84)	**Altitudine**
Denominazione punto di misura **HVSR**		Nome file Capitini 1_2021_1_22_9_50
Frequenza di campionamento (Hz) **500 Hz**	Durata registrazione (min, sec) **20 min**	Software di acquisizione **20 min**
Strumentazione di misura Sismografo digitale triassiale Theremino Dolfrang	Sensore (tipo) Velocimetri Hs1 Geospace da 4.5 Hz	Strumentazione di acquisizione Workstation HP

Condizioni meteorologiche	Vento assente☒ debole☐ medio☐ forte☐ Misura (se disponib.)_____ Pioggia assente☐ debole☒ medio☐ forte☐ Misura (se disponib.)_____ Temperatura (approx.) 9° Note Nuvoloso
Tipo di terreno	terreno☐ (duro☐soffice☐) ghiaia☐ sabbia☐ limo-argilloso☐ roccia☐ erboso☒ asfalto☐ cemento☐ calcestruzzo☐ pavimentazione☐ altro_____☐ note _____ suolo secco☐ suolo umido/bagnato☒ note_____
Accoppiamento artificiale sensore/suolo	☐no ☒si, tipo Piedi in acciaio regolabili
Densità edifici	nessuno☐ sparsi☒ densi☐ altro, tipo_____☐

Transienti

	nessuno	pochi	moderati	molti	molto densi	distanza (m)
auto				X		
camion		X				
pedoni		X				
altro ____						

Sorgenti puntuali di rumore identificabili (fabbriche, pompe, fiumi, ...)
☒no ☐si, tipo_____

Strutture vicine (alberi, sondaggi, edifici, ponti, strutture sotterranee..) (descrizione, altezza o profondità, distanza...)

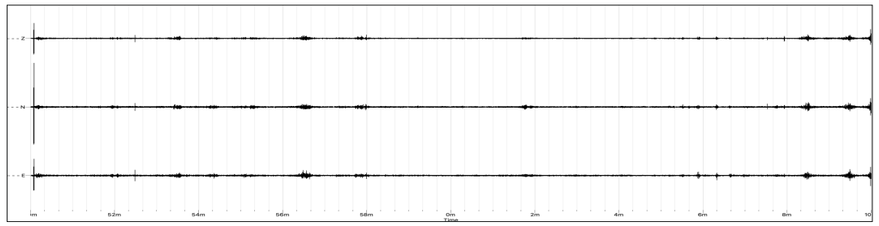
Scuola e traffico stradale

Frequenza di picco misurata in campagna

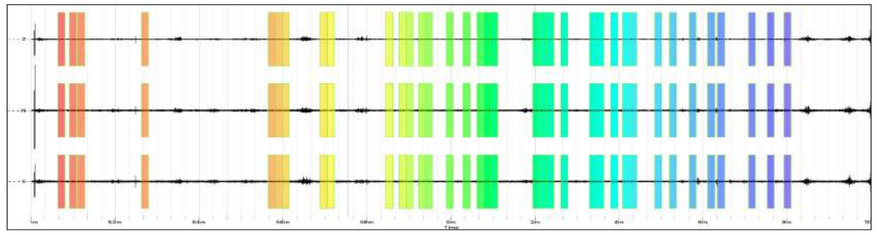
5.3 (± 0.4) Hz

Fig. 2

Horizzontal to Vertical Spectral Ratio	
Dataset:	**Capitini1_2021_1_22_9_50**
DATA ACQUISITION	
Date and time:	**22/01/2021 09:50**
DATA PROCESSING	
Date:	**25/01/2021**
Time:	**08.44**
Sampling frequency (Hz):	**500**
Re-Sampling frequency (Hz):	
Window length (sec):	**10**
Minimum frequency soundly determined [5 cycles]:	**0.054 Hz**
Length of analysed dataset (min):	**20**
Tapering (%):	**5**
Smoothing (%):	**30**



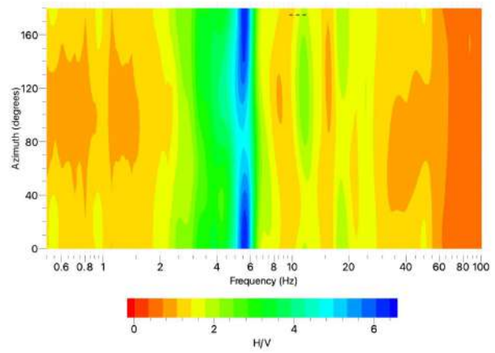
TRACCE REGISTRATE



TRACCE FILTRATE ED ELABORATE

Fig. 5

DIREZIONALITA' GRAFICO H/V



SISMOSTRATIGRAFIA ONDE Vs e Vp

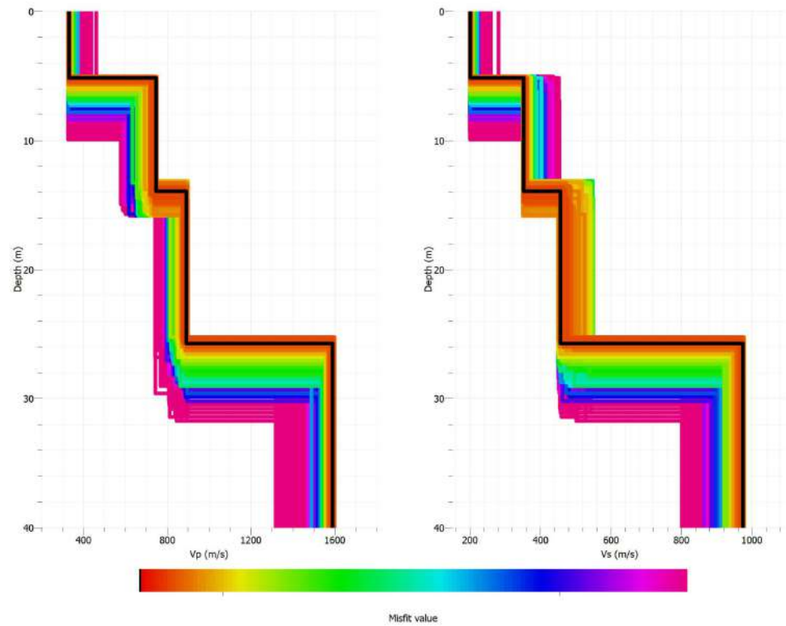
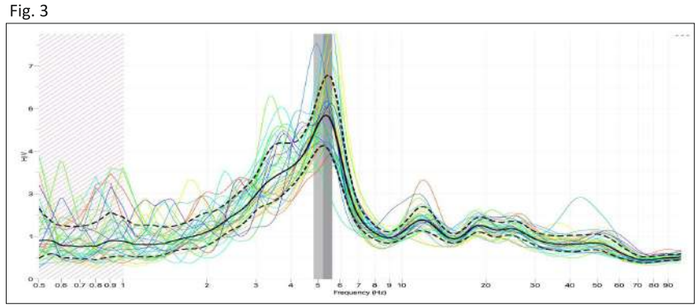
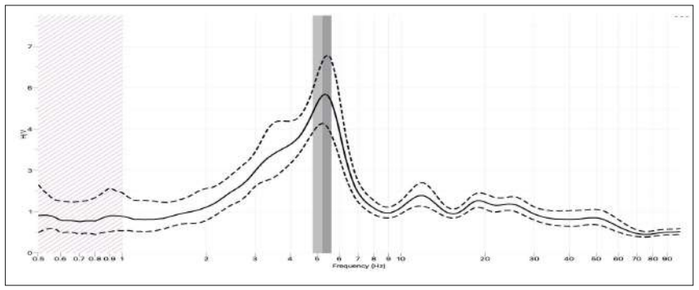


Fig. 3





RAPPORTO SPETTRALE H/V

Frequenza picco:	5.3(±0.4) Hz
Ampiezza picco:	7.6282
Numero finestre:	36
Range picco:	4.82317 Hz - 5.62433 Hz

PICCO H/V a 5,3± 0,4 Hz (intervallo di frequenze esaminate 0,5 □ 100Hz)				
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]				
f_0>10/L	5,300	>	1,000	OK
$n_c(f_0)$>200	1881	>	200	OK
_A(f) < 2 per 0.5f_0 < f < 2f_0 se f_0 >0.5Hz				OK
_A(f) < 3 per 0.5f_0 < f < 2f_0 se f_0 < 0.5Hz				
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]				
Esiste f in [f_0/4, f_0] | $A_{H/V}(f) < A_0/2$				OK
Esiste $f^{'}$ in [f_0, 4f_0] | $A_{H/V}(f^{'}) < A_0/2$				OK
A_0 > 2	7,6282	>	2	OK
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm __A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0,6553	<	0,3	NO
$__f < _(f_0)$	0,4006	<	0,2000	NO
$__A(f_0) < _(f_0)$	0,8095	<	1,5800	OK

Fig.4 **CONFORMITA' DELLA CURVA E PICCO H/V secondo i CRITERI "SESAME"**

PERIGEO S.R.L.

Via della Piaggiola 152, Gubbio (PG) 06024
P.IVa 03425750548
Tel. 075.9221055 email: info@perigeosrl.it

Il responsabile:

REPORT INDAGINE SISMICA A STAZIONE SINGOLA ‘’HVSR 2’’

SCHEDA ACQUISIZIONE DATI HVSR 2

Fig. 1

Committente **PROVINCIA DI PERUGIA**	Località **PERUGIA**	Operatore
Data **22/01/2021**	**Ora** **12.20 - 12.40**	**GPS tipo e num.**
Latitudine 43.101975 (WGS84)	**Longitudine** 12.360987° (WGS84)	**Altitudine**
Denominazione punto di misura **HVSR**		Nome file Capitini 2_2021_1_22_12_20
Frequenza di campionamento (Hz) **500 Hz**	Durata registrazione (min, sec) **20 min**	Software di acquisizione **20 min**
Strumentazione di misura Sismografo digitale triassiale Theremino Dolfrang	Sensore (tipo) Velocimetri Hs1 Geospace da 4.5 Hz	Strumentazione di acquisizione Workstation HP

Condizioni meteorologiche

Vento assente☒ debole☐ medio☐ forte☐ Misura (se disponib.)_____

Pioggia assente☐ debole☒ medio☐ forte☐ Misura (se disponib.)_____

Temperatura (approx.) 11° Note Nuvoloso

Tipo di terreno

terreno☐ (duro☐soffice☐) ghiaia☐ sabbia☐ limo-argilloso☐ roccia☐ erboso☒ asfalto☐ cemento☐ calcestruzzo☐ pavimentazione☐ altro_____☐

note _____

suolo secco☐ suolo umido/bagnato☒ note_____

Accoppiamento artificiale sensore/suolo ☐no ☒si, tipo Piedi in acciaio regolabili

Densità edifici nessuno☐ sparsi☒ densi☐ altro, tipo_____☐

Transienti

	nessuno	pochi	moderati	molti	molto densi	distanza (m)
auto				X		
camion		X				
pedoni		X				
altro						

Sorgenti puntuali di rumore identificabili (fabbriche, pompe, fiumi, ...)
☒no ☐si, tipo_____

Strutture vicine (alberi, sondaggi, edifici, ponti, strutture sotterranee..) (descrizione, altezza o profondità, distanza...)

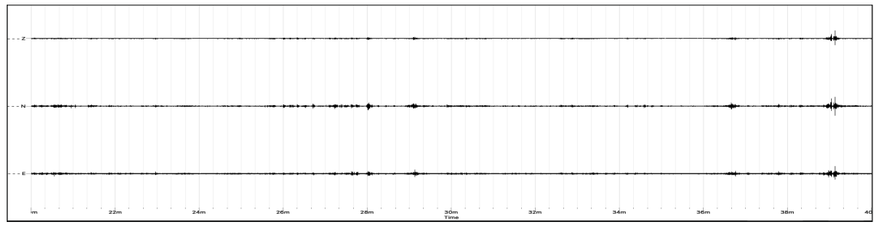
Scuola e traffico stradale

Frequenza di picco misurata in campagna

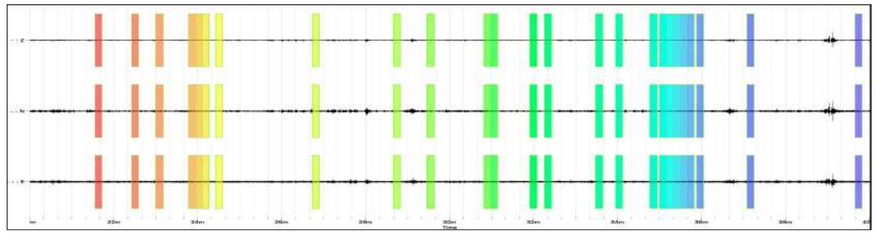
4.3 (± 0.4) Hz

Fig. 2

Horizzontal to Vertical Spectral Ratio	
Dataset:	**Capitini2_2021_1_22_12_20**
DATA ACQUISITION	
Date and time:	**22/01/2021 12:20**
DATA PROCESSING	
Date:	**25/01/2021**
Time:	**11.10**
Sampling frequency (Hz):	**500**
Re-Sampling frequency (Hz):	
Window length (sec):	**10**
Minimum frequency soundly determined [5 cycles]:	**0.054 Hz**
Length of analysed dataset (min):	**20**
Tapering (%):	**5**
Smoothing (%):	**30**



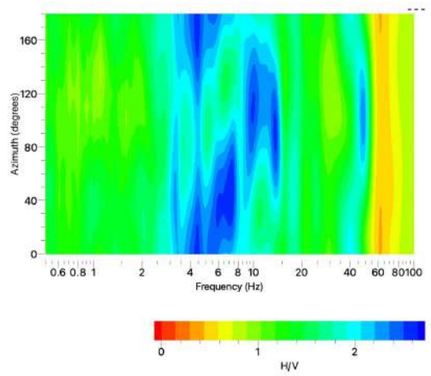
TRACCE REGISTRATE



TRACCE FILTRATE ED ELABORATE

Fig. 5

DIREZIONALITA’ GRAFICO H/V



SISMOSTRATIGRAFIA ONDE Vs e Vp

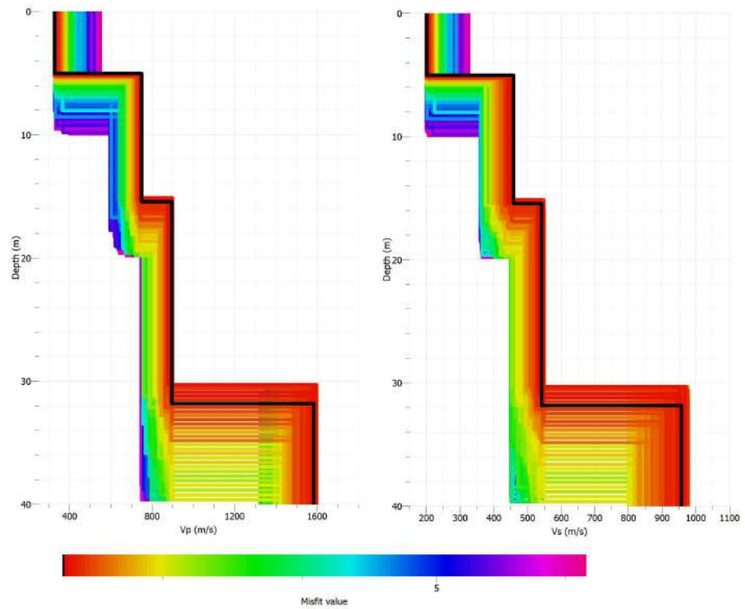
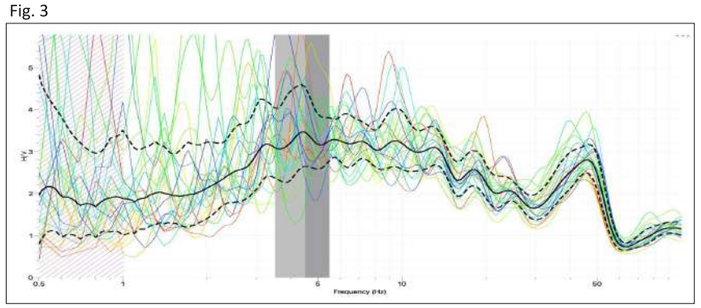
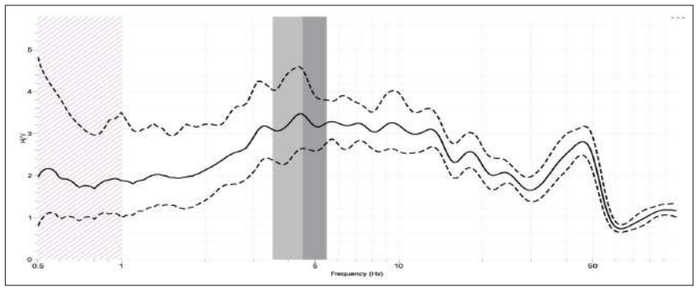


Fig. 3





RAPPORTO SPETTRALE H/V

Frequenza picco:	4.3(±0.4) Hz
Ampiezza picco:	3.46004
Numero finestre:	25
Range picco:	3.50562 Hz - 5.4918 Hz

PICCO H/V a 4,3± 0,4 Hz (intervallo di frequenze esaminate 0,5 □ 100Hz)				
Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti i tre requisiti dovrebbero essere soddisfatti]				
f_0>10/L	4,300	>	1,000	OK
$n_c(f_0)$>200	1125	>	200	OK
_A(f) < 2 per $0.5f_0$ < f < $2f_0$ se f_0 >0.5Hz				OK
_A(f) < 3 per $0.5f_0$ < f < $2f_0$ se f_0 < 0.5Hz				
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]				
Esiste f in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f) < A_0/2$				OK
Esiste f^- in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$				NO
A_0 > 2	3,4600	>	2	OK
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm$ _A(f)$] = f_0 \pm 5\%$	0,572	<	0,2	NO
_f < _(f_0)	0,9931	<	0,2000	NO
_A(f_0) < _(f_0)	0,7563	<	1,5800	OK

Fig.4 **CONFORMITA’ DELLA CURVA E PICCO H/V secondo i CRITERI "SESAME"**

PERIGEO S.R.L.

Via della Piaggiola 152, Gubbio (PG) 06024
P.IVa 03425750548
Tel. 075.9221055 email: info@perigeosrl.it

Il responsabile:

5.4 Risultati delle misure di rumore

Nelle misure eseguite sono state riscontrati piccoli disturbi, i quali non hanno compromesso l'elaborazione e la definizione del risultato.

Per il sito in esame sono state riscontrate in particolare due frequenze proprie di risonanza del moto prevalente, dovute alle eterogeneità stratigrafiche del sottosuolo. A partire da sinistra nel grafico HVSR1 è ben visibile un picco di risonanza a circa 4,3 Hz dovuto ad una discontinuità che potrebbe coincidere con il passaggio tra i depositi superficiali e il substrato alterato e fratturato. Nell'acquisizione HVSR2 è visibile invece un picco di risonanza a circa 5,3 Hz riconducibile possibilmente anch'essa alla medesima discontinuità. Dall'elaborazione delle indagini eseguite è stato possibile ricostruire la sismostratigrafia dell'area in esame, in particolare attraverso i risultati delle altre indagini eseguite è stato possibile individuare la presenza di un substrato sismico posto ad una profondità variabile da circa 27m a 32m.
Durante la prova HVSR diversi sono stati i rumori antropici e occasionali che hanno disturbato il segnale. Per eliminare i transienti dal segnale conservando solo i microtremori, è stata attivata una procedura di ripulitura del segnale, al fine di eseguire la trasformata di Fourier **(FFT)** solo su segnali ripuliti il più possibile dalle azioni antropiche. Quindi sono state eliminate tutte quelle finestre temporali eccessivamente sporche da segnali che non hanno caratteristiche tipiche dei microtremori naturali. Tutte le considerazioni sono state fatte sul segnale ingrandito, in modo da poter selezionare solo i tratti privi di rumori antropici.

Tutti i rumori direzionali dovuti a fattori antropici sono stati modulati e filtrati dal terreno come se fossero microtremori naturali e lontani, con la sola differenza che i microtremori naturali e lontani permettono di avere le linee tratteggiate molto vicine al valore medio del rapporto H/V, se invece si selezionano le frequenze prodotte da rumori antropici forti avremmo un grafico più lisciato, arrotondato e con linee tratteggiate più distanti, come quelle che si hanno a frequenze molto basse.

Come si nota dal grafico di direzionalità del rapporto H/V, c'è un forte appiattimento del segnale in direzione N-S, ciò indica fenomeni di amplificazione del segnale lungo la direttrice E-W.

Dall'analisi del picco individuato è stato possibile verificare e convalidare il sondaggio eseguito secondo le prerogative dei criteri *SESAME*. In particolare i picchi rinvenuti rispettano i criteri di una curva H/V affidabile, ma non quelli di un picco chiaro.

5.5 Conclusioni

Vista la stima dei valori medi della curva HVSR e la rispettiva deviazione standard, il passaggio più significativo corrisponde alle frequenze di 4,3 Hz e 5,3 Hz.

La presenza di picchi con elevati valori H/V entro le frequenze di interesse ingegneristico, potrebbe causare effetti di doppia risonanza struttura-terreno o fenomeni di amplificazione del segnale durante un evento sismico.

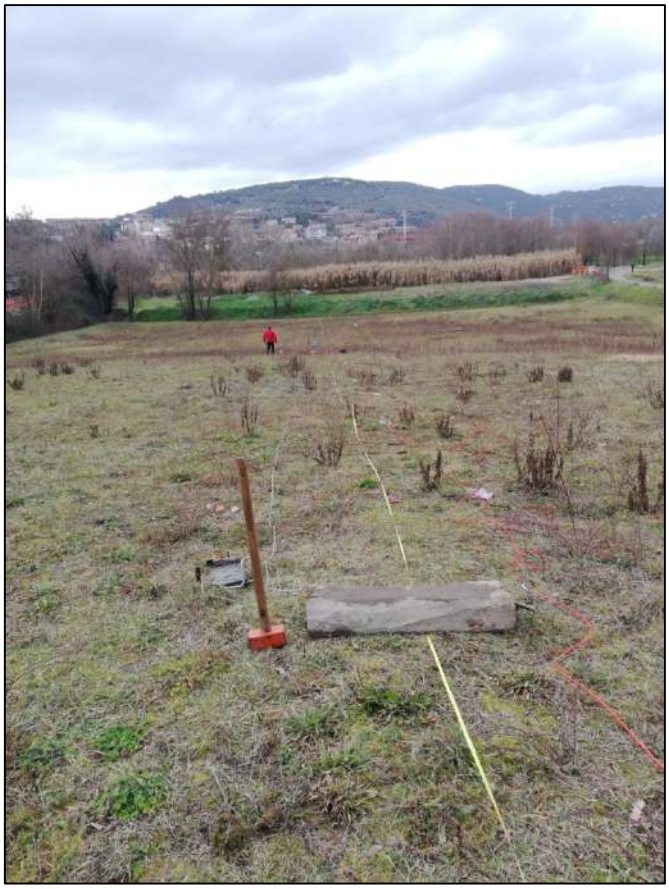
Tramite analisi approfondite anche sull'edificio sarà possibile valutare le frequenze di vibrazione dei vari piani, che messe a confronto con quelle del suolo permetteranno di valutare possibili fenomeni di doppia risonanza o di amplificazioni, in corrispondenza di terremoto e al termine di eventuali modifiche strutturali.

Gennaio 2021

REPORT FOTOGRAFICO

Stendimento sismico M.A.S.W. Shot 1 - 2

Stendimento sismico a Rifrazione onde SH e Rilievo altimetrico



Stazione di sismica passiva H.V.S.R. 1 e 2

4.0 CERTIFICATI DI LABORATORIO

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)

Tel: 0742 381170 Email: geoecotest@gmail.com

SCHEDA RIASSUNTIVA DEL CAMPIONE

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 1
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,0-2,6
TITOLO DEL LAVORO: Interventi su edifici
DESCRIZIONE: Limi argillosi marrone scuro consolidati con rare concrezioni carbonatiche

COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 05/12/20
DATA FINE: 20/12/20

PARAMETRO GEOTECNICO	SIMBOLO	VALORE	UNITA' DI MISURA
PESO DI VOLUME APPARENTE	γ	20,15	kN/m^3
PESO DI VOLUME SECCO	γd	16,43	kN/m^3
PESO DI VOLUME SATURO	γsat	20,28	kN/m^3
PESO DI VOLUME IMMERSO	γimm	10,28	kN/m^3
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γs	26,72	kN/m^3
INDICE DEI VUOTI	e	0,626	
POROSITA'	n	38,51	%
GRADO DI SATURAZIONE INIZIALE	Sr	96,54	%
UMIDITA' NATURALE	w	22,63	%
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL		%
LIMITE DI PLASTICITA'	LP		%
INDICE DI PLASTICITA'	IP		%
LIMITE DI RITIRO	LR		%
INDICE DI CONSISTENZA	Ic		
ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO	ϕ'	-	°
COESIONE DRENATA	c'	-	kPa
ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO	ϕres	-	°
COESIONE NON DRENATA	Cu	232,1	kPa

ANALISI GRANULOMETRICA

PARTE GROSSOLANA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO+ARGILLA (%)	
(% trattenuta al setaccio n°200)	1,76	8,1	90,14	
PARTE FINA	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)	
(% passante al setaccio n°200)				
GRANULOMETRIA CUMULATIVA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)

CLASSIFICAZIONE CNR UNI 10006		
INDICE DI GRUPPO		

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170 Mail: geoecotest@gmail.com

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 1
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,0-2,6
TITOLO DEL LAVORO: Interventi su edifici
DESCRIZIONE: Limi argillosi marrone scuro consolidati con rare concrezioni carbonatiche

COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 05/12/20
DATA FINE: 20/12/20

QUALITA' DEL CAMPIONE	Q5

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170 Email: geoecotest@gmail.com

MISURA DEL CONTENUTO D'ACQUA
MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME
MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME DEI GRANULI SOLIDI

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 1
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,0-2,6

N° CERTIFICATO: 1094/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 05/12/20
DATA FINE: 20/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marrone scuro consolidati con rare concrezioni carbonatiche

MISURA DEL CONTENUTO D'ACQUA

Tara Contenitore	66,66	g
Massa umida del terreno + Tara	266,45	g
Massa secca del terreno + Tara	229,59	g
Massa Netta Secca del terreno	162,93	g
Massa del contenuto in Acqua nel terreno	36,87	g
MISURA DEL CONTENUTO D'ACQUA (w)	**22,63**	%

MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME

Volume Fustella	80,00	cm^3
Tara Fustella	84,34	g
Massa del Terreno e della Fustella	245,52	g
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME (γ)	**20,15**	kN/m^3

MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME DEI GRANULI SOLIDI

	PROVA 1	PROVA 2	
Volume del Picnometro	75,00	75,00	(cm^3)
Tara Picnometro	48,39	73,96	(g)
Massa secca del terreno + Tara	73,47	99,50	(g)
Temperatura di prova	16,5	15,00	(°)
Peso di volume Acqua T° (gw)	0,99889	0,9991	(kN/m^3)
Massa Netta Secca del terreno (p)	25,08	25,54	(g)
Massa acqua e picnometro (p1)	123,092	192,49	(g)
Massa acqua picnometro e terreno (p2)	138,798	208,48	(g)
Peso dell'unità di volume dei granuli solidi (γs)	**26,72**	**26,71**	(kN/m^3)
Valore medio (γs)	**26,72**	(kN/m^3)	

Lo sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti Settore A (Prove di Laboratorio sui Terreni) D.M. n°10324 del 29/10/2012 - Art.59 D.P.R. 380/2001 - Circolare 76128/STC/2010

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170 Email: geoecotest@gmail.com

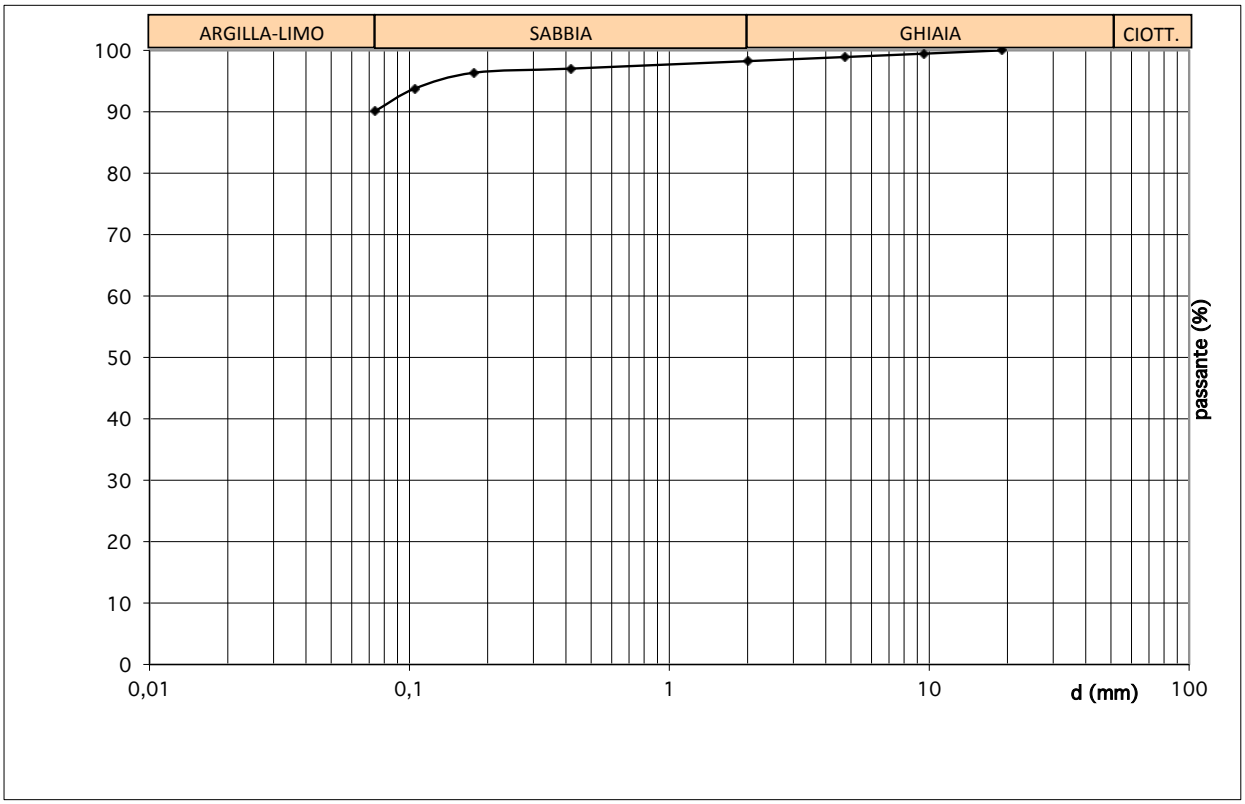
ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 1
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,0-2,6

N° CERTIFICATO: 1095/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 05/12/20
DATA FINE: 20/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marrone scuro consolidati con rare concrezioni carbonatiche
Tipo di prova: per via umida **Umidità (%) :** 22,6
Peso totale del campione (g): 908 **Peso secco (g) :** 740

Setacci (Serie ASTM)	Apertura d (mm)	Peso netto trattenuto (g)	**Trattenuto (%)**	**Passante (%)**
3/4	19,05	0	**0,00**	**100,00**
3/8	9,53	4	**0,54**	**99,46**
N4	4,76	8	**1,08**	**98,92**
N10	2,00	13	**1,76**	**98,24**
N40	0,42	22	**2,97**	**97,03**
N80	0,177	27	**3,65**	**96,35**
N140	0,105	46	**6,21**	**93,79**
N200	0,074	73	**9,86**	**90,14**



Lo sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

Laboratorio con aut. Min. conc. n°10324 del 29/10/2012

Procedura UNI CEN ISO/TS 17892-4:2005

PO-12a

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

PROVA DI COMPRESSIONE NON CONFINATA

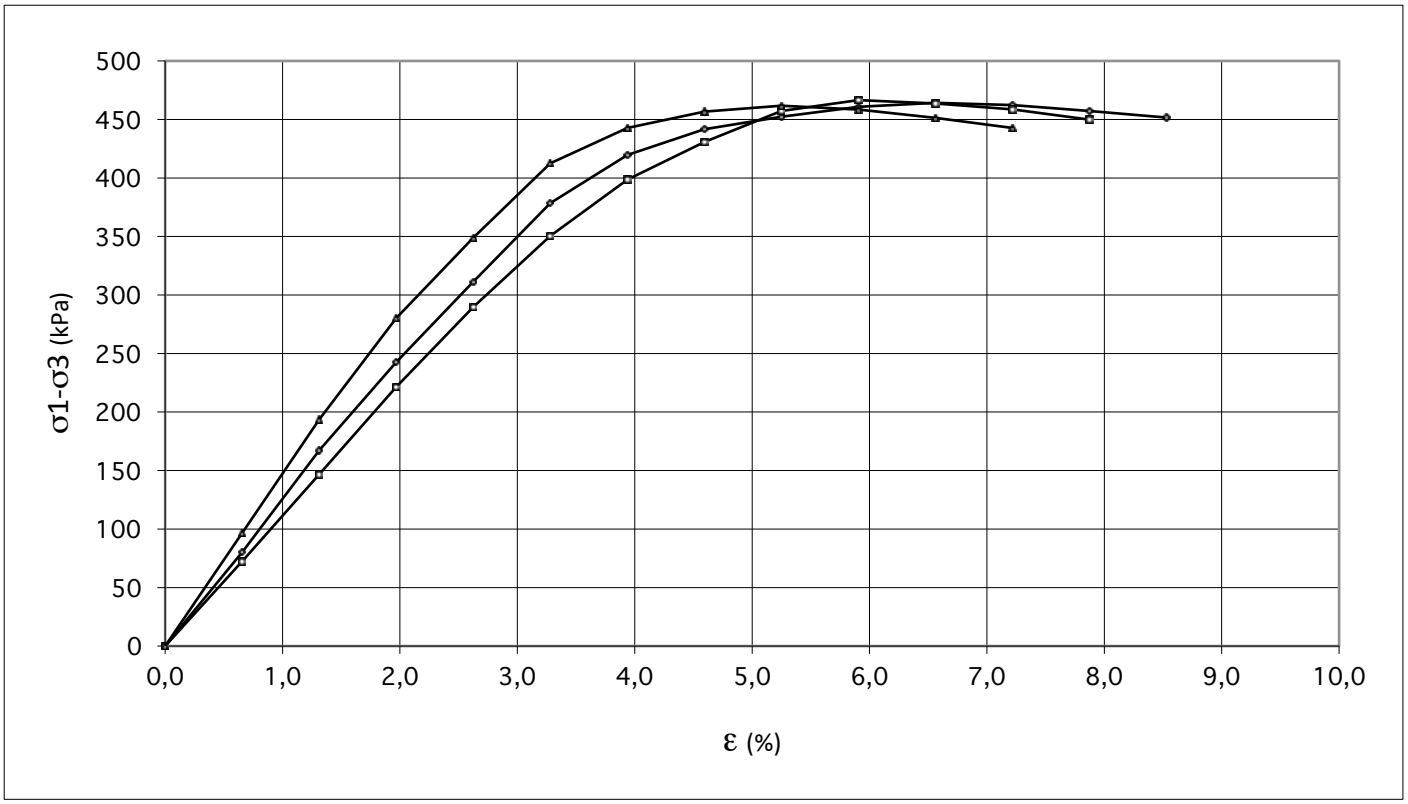
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 1
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,0-2,6

N° CERTIFICATO: 1096/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 05/12/20
DATA FINE: 20/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marrone scuro consolidati con rare concrezioni carbonatic

PROVINO N°	1	2	3
Peso dell'unità di volume (kN/m3)	20,13	20,12	20,10
Contenuto naturale d'acqua (%)	22,6	22,6	22,6
CARATTERISTICHE DELLA PROVA			
Velocità di deformazione (mm/min)	0,38		
Altezza del provino (cm)	7,62		
Diametro del provino (mm)	38,1		



Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

PROVA DI COMPRESSIONE NON CONFINATA

Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 1
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,0-2,6

N° CERTIFICATO: 1096/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 05/12/20
DATA FINE: 20/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici

che **Descrizione del campione :** Limi argillosi marrone scuro consolidati con rare concrezioni carbonatiche

VALORI DEGLI SFORZI MISURATI

Spostamento s (mm)	Cedimento e (%)	Provino 1 s1-s3 (kPa)	Provino 2 s1-s3 (kPa)	Provino 3 s1-s3 (kPa)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	0,7	80,1	72,4	96,5
1,0	1,3	167,3	146,8	193,7
1,5	2,0	242,6	221,4	280,2
2,0	2,6	311,4	289,7	348,9
2,5	3,3	378,5	350,4	412,6
3,0	3,9	419,6	398,6	442,8
3,5	4,6	441,7	430,7	456,7
4,0	5,2	452,3	457,3	461,8
4,5	5,9	460,8	466,5	458,5
5,0	6,6	464,2	463,7	451,3
5,5	7,2	462,3	458,6	442,7
6,0	7,9	457,2	449,8	
6,5	8,5	451,7		
7,0	9,2			
7,5	9,8			
8,0	10,5			
8,5	11,2			
9,0	11,8			
9,5	12,5			
10,0	13,1			

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 1
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,0-2,6

N° CERTIFICATO: 1097/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 05/12/20
DATA FINE: 20/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici

Descrizione del campione : Limi argillosi marrone scuro consolidati con rare concrezioni carbonatiche

Dati provino

SEZIONE PROVINO		40	cm2
ALTEZZA INIZIALE		20	mm
ALTEZZA FINALE (dopo fase di carico)		18,12	mm
ALTEZZA FINALE (dopo fase di scarico)		20,00	mm
PESO TARA 1		84,34	g
PESO LORDO UMIDO INIZIALE		245,52	g
PESO TARA 2		84,34	g
PESO LORDO UMIDO FINALE		238,75	g
PESO LORDO SECCO		215,77	g
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γs	26,72	kN/m3
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME INIZIALE	γn	20,15	kN/m3
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME FINALE	γf	20,42	kN/m3
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME SECCO	γd	16,43	kN/m3
CONTENUTO D'ACQUA INIZIALE	$w0$	22,63	%
CONTENUTO D'ACQUA FINALE	wf	14,10	%
SATURAZIONE INIZIALE	$S0$	96,54	%
SATURAZIONE FINALE	Sf	99,88	%
INDICE DEI VUOTI INIZIALE	$e0$	0,626	
INDICE DEI VUOTI FINALE	ef	0,468	
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME SECCO FINALE	γdf	17,38	kN/m3

METODO CASAGRANDE

Risultati

σ (kPa)	ΔH (mm)	ε (%)	e	M (MPa)	cv (cm2/sec)	k (cm/sec)	cα	Cc (kPa)
12,5	0,053	0,265	0,622	4,704	1,64E-02	3,48E-04		
25	0,088	0,440	0,619	7,111	1,09E-02	1,53E-04	0,000	0,0095
50	0,200	1,000	0,610	4,420	2,16E-03	4,88E-05	0,000	0,0303
100	0,390	1,950	0,595	5,161	1,06E-03	2,06E-05	0,010	0,0513
200	0,609	3,045	0,577	8,854	2,84E-03	3,21E-05	0,070	0,0592
400	0,926	4,630	0,551	12,034	1,13E-03	9,38E-06	0,031	0,0856
800	1,350	6,750	0,516	17,594	1,63E-03	9,26E-06	0,073	0,1145
1600	1,950	9,750	0,468	24,067	7,72E-04	3,21E-06	0,157	0,1621
800	1,821	9,105	0,478					
200	1,470	7,350	0,507					
50	1,110	5,550	0,536					

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

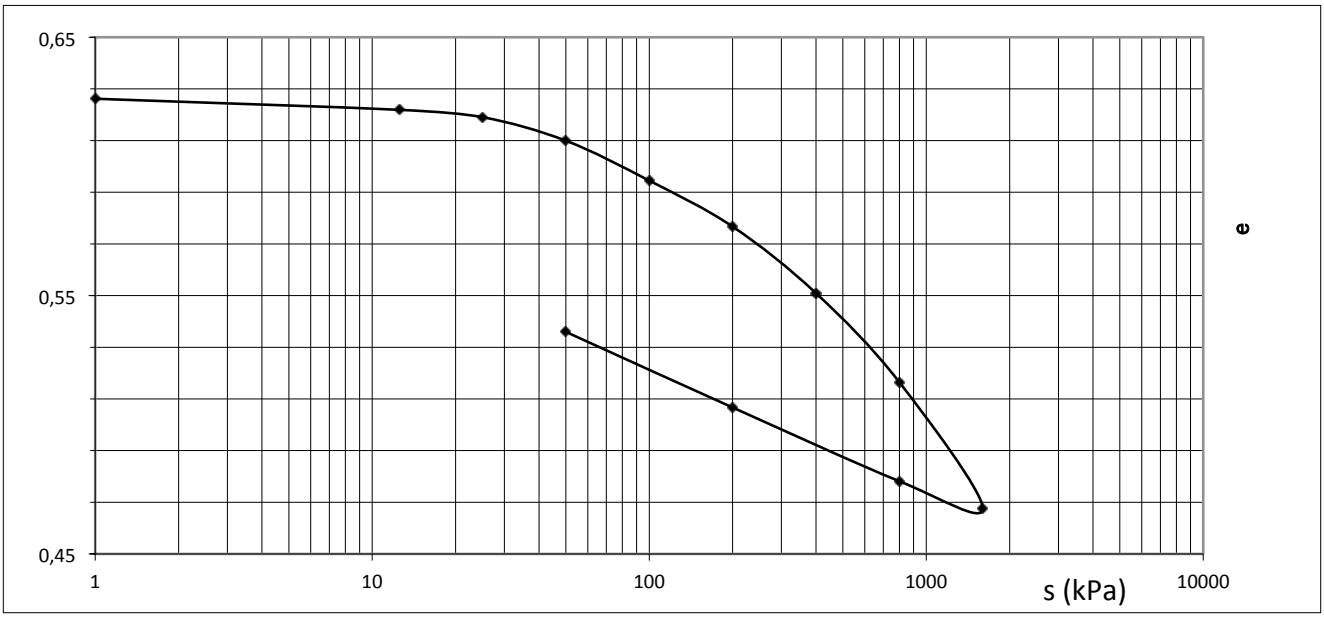
GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

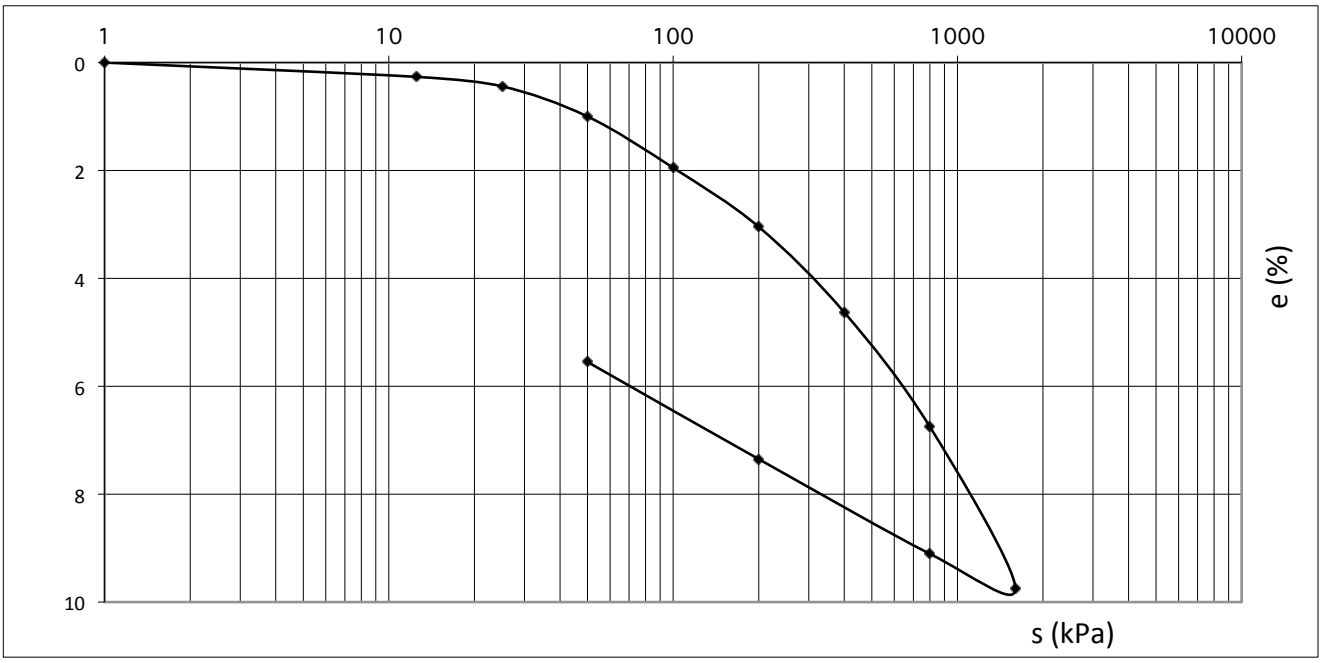
PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 1
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,0-2,6

N° CERTIFICATO: 1097/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 05/12/20
DATA FINE: 20/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marrone scuro consolidati con rare concrezioni carbonatiche





Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

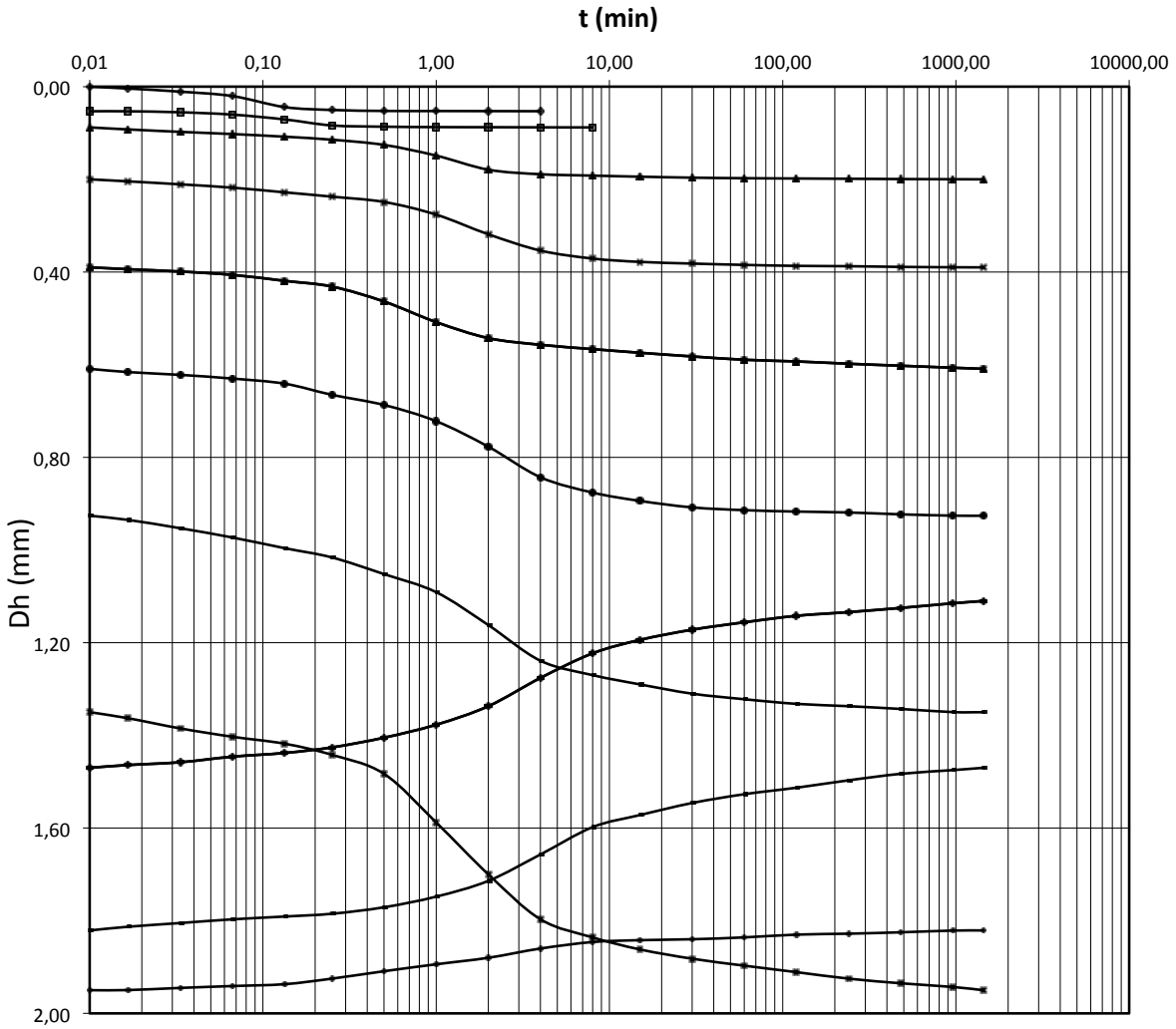
N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 1
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,0-2,6

N° CERTIFICATO: 1097/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 05/12/20
DATA FINE: 20/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici

Descrizione del campione : Limi argillosi marrone scuro consolidati con rare concrezioni carbonatiche

CURVE EDOMETRICHE



Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 1
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,0-2,6

N° CERTIFICATO: 1097/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 05/12/20
DATA FINE: 20/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici

Descrizione del campione : Limi argillosi marrone scuro consolidati con rare concrezioni carbonatiche

VALORI DELLE CURVE EDOMETRICHE

tempi (min)	12,5	25	50	100	200	400	800
0,01	0,0000	0,0530	0,0880	0,2000	0,3900	0,6090	0,9260
0,02	0,0041	0,0532	0,0923	0,2044	0,3940	0,6160	0,9350
0,03	0,0108	0,0553	0,0976	0,2108	0,3990	0,6220	0,9530
0,07	0,0203	0,0603	0,1023	0,2180	0,4062	0,6300	0,9730
0,13	0,0441	0,0707	0,1080	0,2281	0,4191	0,6410	0,9960
0,25	0,0503	0,0837	0,1145	0,2374	0,4314	0,6650	1,0160
0,50	0,0524	0,0864	0,1257	0,2489	0,4637	0,6870	1,0520
1	0,0526	0,0873	0,1488	0,2762	0,5082	0,7220	1,0910
2	0,0528	0,0875	0,1792	0,3186	0,5427	0,7770	1,1620
4	0,0530	0,0878	0,1890	0,3538	0,5571	0,8430	1,2390
8		0,0880	0,1920	0,3710	0,5664	0,8760	1,2700
15			0,1943	0,3782	0,5743	0,8940	1,2900
30			0,1964	0,3818	0,5822	0,9080	1,3100
60			0,1976	0,3847	0,5894	0,9140	1,3220
120			0,1982	0,3868	0,5930	0,9170	1,3320
240			0,1988	0,3875	0,5980	0,9190	1,3370
480			0,1994	0,3890	0,6023	0,9230	1,3430
960			0,1998	0,3898	0,6066	0,9258	1,3498
1440			0,2000	0,3900	0,6090	0,9260	1,3500

tempi (min)	1600	800	200	50
0,01	1,3500	1,9500	1,8210	1,4700
0,02	1,3630	1,9497	1,8130	1,4640
0,03	1,3850	1,9450	1,8050	1,4580
0,07	1,4030	1,9410	1,7970	1,4460
0,13	1,4180	1,9370	1,7910	1,4380
0,25	1,4420	1,9250	1,7850	1,4260
0,50	1,4830	1,9090	1,7710	1,4050
1	1,5880	1,8940	1,7480	1,3770
2	1,7000	1,8800	1,7140	1,3370
4	1,7970	1,8600	1,6570	1,2760
8	1,8360	1,8460	1,5980	1,2230
15	1,8620	1,8420	1,5720	1,1940
30	1,8820	1,8400	1,5460	1,1720
60	1,8970	1,8360	1,5270	1,1560
120	1,9110	1,8300	1,5130	1,1420
240	1,9250	1,8280	1,4970	1,1340
480	1,9350	1,8250	1,4830	1,1250
960	1,9430	1,8213	1,4750	1,1150
1440	1,9500	1,8210	1,4700	1,1100

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)

Tel: 0742 381170 Email: geoecotest@gmail.com

SCHEDA RIASSUNTIVA DEL CAMPIONE

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 2
CAMPIONE: 2
PROFONDITA': 6,0-6,6
TITOLO DEL LAVORO: Interventi su edifici
DESCRIZIONE: Limi argillosi marroni con concrezioni carbonatiche

COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

PARAMETRO GEOTECNICO	SIMBOLO	VALORE	UNITA' DI MISURA
PESO DI VOLUME APPARENTE	γ	19,19	kN/m^3
PESO DI VOLUME SECCO	γd	15,45	kN/m^3
PESO DI VOLUME SATURO	γsat	19,77	kN/m^3
PESO DI VOLUME IMMERSO	γimm	9,77	kN/m^3
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γs	27,20	kN/m^3
INDICE DEI VUOTI	e	0,760	
POROSITA'	n	43,19	%
GRADO DI SATURAZIONE INIZIALE	Sr	86,60	%
UMIDITA' NATURALE	w	24,20	%
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL		%
LIMITE DI PLASTICITA'	LP		%
INDICE DI PLASTICITA'	IP		%
LIMITE DI RITIRO	LR		%
INDICE DI CONSISTENZA	Ic		
ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO	ϕ'	25	°
COESIONE DRENATA	c'	27,0	kPa
ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO	ϕres	-	°
COESIONE NON DRENATA	Cu	-	kPa

ANALISI GRANULOMETRICA

PARTE GROSSOLANA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO+ARGILLA (%)	
(% trattenuta al setaccio n°200)	1,19	5,42	93,39	
PARTE FINA	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)	
(% passante al setaccio n°200)				
GRANULOMETRIA CUMULATIVA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)

CLASSIFICAZIONE CNR UNI 10006		
INDICE DI GRUPPO		

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170 Mail: geoecotest@gmail.com

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 2
CAMPIONE: 2
PROFONDITA': 6,0-6,6
TITOLO DEL LAVORO: Interventi su edifici
DESCRIZIONE: Limi argillosi marroni con concrezioni carbonatiche

COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

QUALITA' DEL CAMPIONE	Q5

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)

Tel: 0742 381170 Email: geoecotest@gmail.com

MISURA DEL CONTENUTO D'ACQUA
MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME
MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME DEI GRANULI SOLIDI

N° D'ORDINE:	130/20	**N° CERTIFICATO:**	1098/20
SONDAGGIO:	2	**COMMITTENTE:**	Perigeo srl per Provincia PG
CAMPIONE:	2	**LOCALITA':**	ITET A.Capitini Perugia
PROFONDITA':	6,0-6,6	**DATA INIZIO:**	10/12/20
		DATA FINE:	24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici

Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con concrezioni carbonatiche

MISURA DEL CONTENUTO D'ACQUA

Tara Contenitore	66,66	g
Massa umida del terreno + Tara	256,81	g
Massa secca del terreno + Tara	219,76	g
Massa Netta Secca del terreno	153,10	g
Massa del contenuto in Acqua nel terreno	37,06	g
MISURA DEL CONTENUTO D'ACQUA (w)	**24,20**	%

MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME

Volume Fustella	40,00	cm^3
Tara Fustella	65,86	g
Massa del Terreno e della Fustella	142,63	g
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME (γ)	**19,19**	kN/m^3

MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME DEI GRANULI SOLIDI

	PROVA 1	PROVA 2	
Volume del Picnometro	75,00	75,00	(cm^3)
Tara Picnometro	48,39	73,96	(g)
Massa secca del terreno + Tara	73,11	100,14	(g)
Temperatura di prova	17	14,50	(°)
Peso di volume Acqua T° (gw)	0,9988	0,9992	(kN/m^3)
Massa Netta Secca del terreno (p)	24,72	26,19	(g)
Massa acqua e picnometro (p1)	123,081	192,79	(g)
Massa acqua picnometro e terreno (p2)	138,737	209,34	(g)
Peso dell'unità di volume dei granuli solidi (γs)	**27,24**	**27,16**	(kN/m^3)
Valore medio (γs)	**27,20**	(kN/m^3)	

Lo sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti Settore A (Prove di Laboratorio sui Terreni) D.M. n°10324 del 29/10/2012 - Art.59 D.P.R. 380/2001 - Circolare 76128/STC/2010

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170 Email: geoecotest@gmail.com

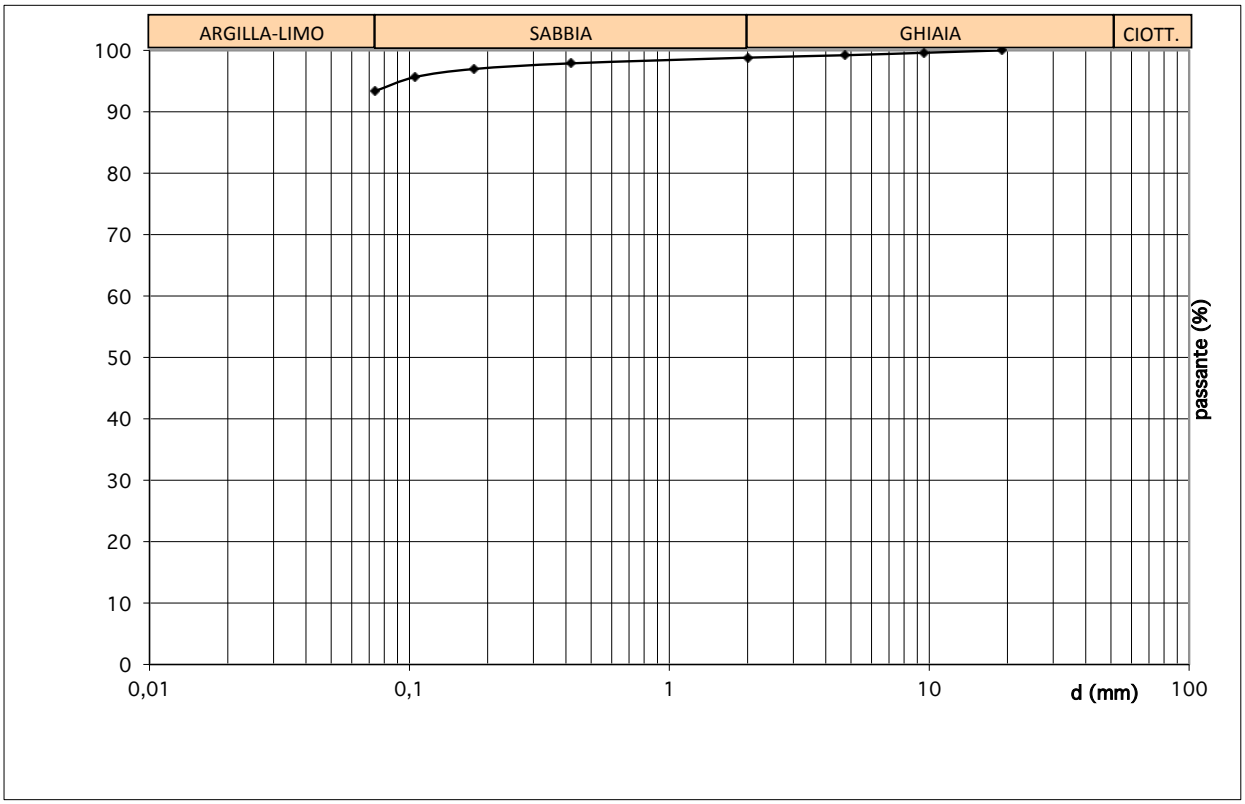
ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 2
CAMPIONE: 2
PROFONDITA': 6,0-6,6

N° CERTIFICATO: 1099/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con concrezioni carbonatiche
Tipo di prova: per via umida
Umidità (%) : 24,2
Peso totale del campione (g): 940
Peso secco (g) : 757

Setacci (Serie ASTM)	Apertura d (mm)	Peso netto trattenuto (g)	**Trattenuto (%)**	**Passante (%)**
3/4	19,05	0	**0,00**	**100,00**
3/8	9,53	3	**0,40**	**99,60**
N4	4,76	6	**0,79**	**99,21**
N10	2,00	9	**1,19**	**98,81**
N40	0,42	16	**2,11**	**97,89**
N80	0,177	23	**3,04**	**96,96**
N140	0,105	33	**4,36**	**95,64**
N200	0,074	50	**6,61**	**93,39**



Lo sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

Laboratorio con aut. Min. conc. n°10324 del 29/10/2012

Procedura UNI CEN ISO/TS 17892-4:2005

PO-12a

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

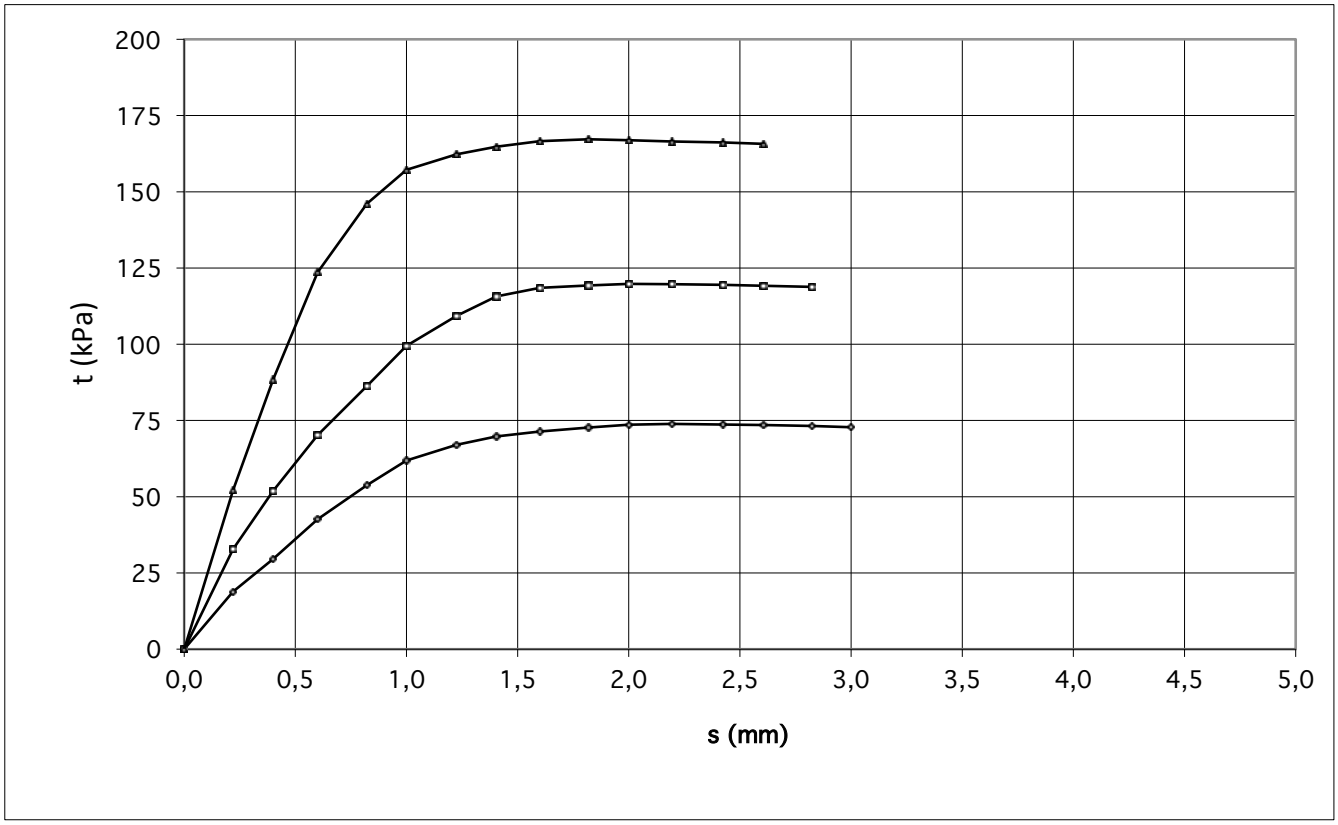
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 2
CAMPIONE: 2
PROFONDITA': 6,0-6,6

N° CERTIFICATO: 1100/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con concrezioni carbonatiche

PROVINO N.	1	2	3
Peso dell'unità di volume (kN/m3)	19,12	19,23	19,16
Contenuto naturale d'acqua (%)	24,20	24,20	24,20
Pressione verticale (kPa)	100	200	300
CARATTERISTICHE DELLA PROVA			
Velocità di deformazione (mm/min)	0,001		
Dimensione dei provini (cm)	2,00 x 6,00		
Tipo di prova eseguita:	CD		



Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 2
CAMPIONE: 2
PROFONDITA': 6,0-6,6

N° CERTIFICATO: 1100/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con concrezioni carbonatiche

VALORI DEGLI SFORZI DI TAGLIO

Spostamento s (mm)	Provino 1 t (kPa)	Provino 2 t (kPa)	Provino 3 t (kPa)
0,0	0,0	0,0	0,0
0,2	18,9	32,8	52,1
0,4	29,6	51,9	88,4
0,6	42,6	70,2	123,6
0,8	53,8	86,3	146,1
1,0	61,9	99,5	157,2
1,2	67,0	109,3	162,3
1,4	69,8	115,7	164,8
1,6	71,4	118,5	166,6
1,8	72,7	119,3	167,2
2,0	73,6	119,8	166,9
2,2	73,9	119,7	166,5
2,4	73,7	119,5	166,2
2,6	73,5	119,2	165,7
2,8	73,2	118,8	
3,0	72,8		
3,2			
3,4			
3,6			
3,8			
4,0			
4,2			
4,4			
4,6			
4,8			
5,0			

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 2
CAMPIONE: 2
PROFONDITA': 6,0-6,6

N° CERTIFICATO: 1101/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con concrezioni carbonatiche

Dati provino

SEZIONE PROVINO		20	cm2
ALTEZZA INIZIALE		20	mm
ALTEZZA FINALE (dopo fase di carico)		18,60	mm
ALTEZZA FINALE (dopo fase di scarico)		20,00	mm
PESO TARA 1		65,86	g
PESO LORDO UMIDO INIZIALE		142,63	g
PESO TARA 2		65,86	g
PESO LORDO UMIDO FINALE		141,85	g
PESO LORDO SECCO		127,67	g
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γs	27,20	kN/m3
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME INIZIALE	γn	19,19	kN/m3
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME FINALE	γf	19,53	kN/m3
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME SECCO	γd	15,45	kN/m3
CONTENUTO D'ACQUA INIZIALE	w0	24,20	%
CONTENUTO D'ACQUA FINALE	wf	9,26	%
SATURAZIONE INIZIALE	S0	86,60	%
SATURAZIONE FINALE	Sf	99,34	%
INDICE DEI VUOTI INIZIALE	e0	0,760	
INDICE DEI VUOTI FINALE	ef	0,628	
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME SECCO FINALE	γdf	15,89	kN/m3

METODO CASAGRANDE

Risultati

σ (kPa)	ΔH (mm)	ε (%)	e	M (MPa)	cv (cm2/sec)	k (cm/sec)	cα	Cc (kPa)
12,5	0,014	0,070	0,759	17,845	3,28E-03	1,84E-05		
25	0,042	0,210	0,756	8,910	2,52E-03	2,83E-05	0,000	0,0082
50	0,069	0,345	0,754	18,455	1,02E-03	5,53E-06	0,000	0,0079
100	0,132	0,660	0,749	15,768	7,07E-04	4,49E-06	0,013	0,0184
200	0,236	1,180	0,739	19,004	8,50E-04	4,47E-06	0,009	0,0304
400	0,399	1,995	0,725	24,050	2,32E-04	9,66E-07	0,044	0,0477
800	0,788	3,940	0,691	19,755	3,65E-04	1,85E-06	0,081	0,1137
1600	1,499	7,495	0,628	20,817	3,17E-04	1,52E-06	0,503	0,2079
800	1,337	6,685	0,643					
200	0,928	4,640	0,678					
50	0,589	2,945	0,708					

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

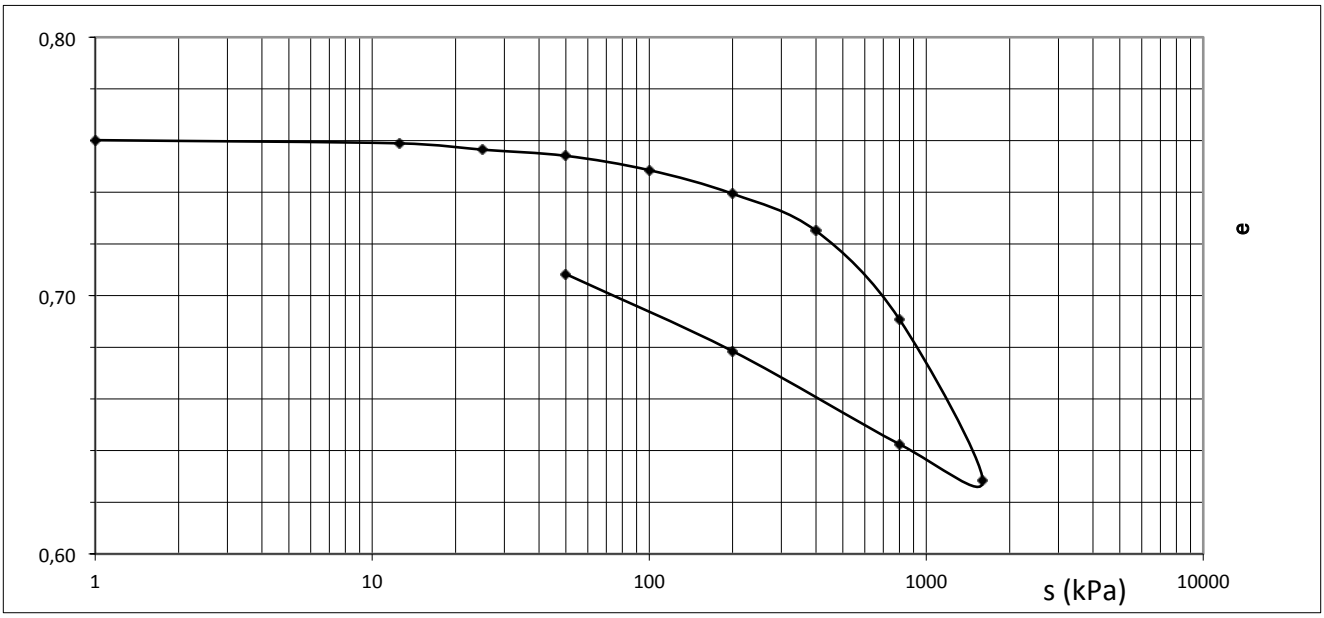
GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

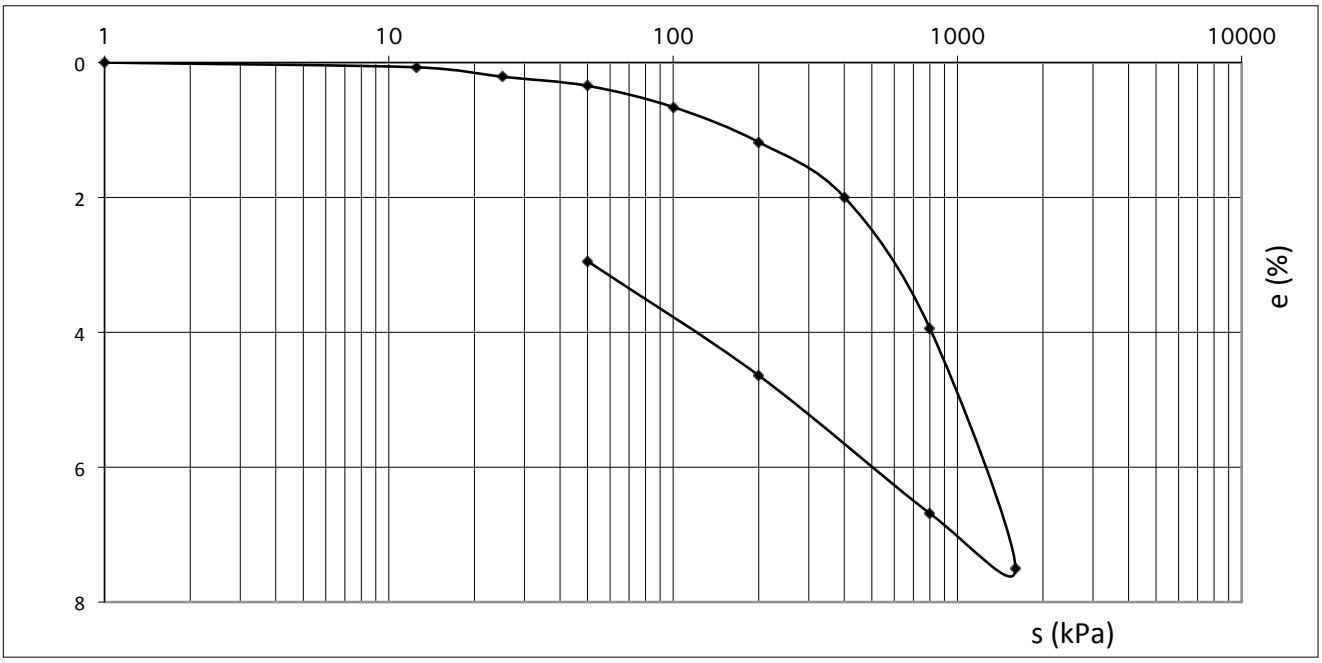
PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 2
CAMPIONE: 2
PROFONDITA': 6,0-6,6

N° CERTIFICATO: 1101/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con concrezioni carbonatiche





Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

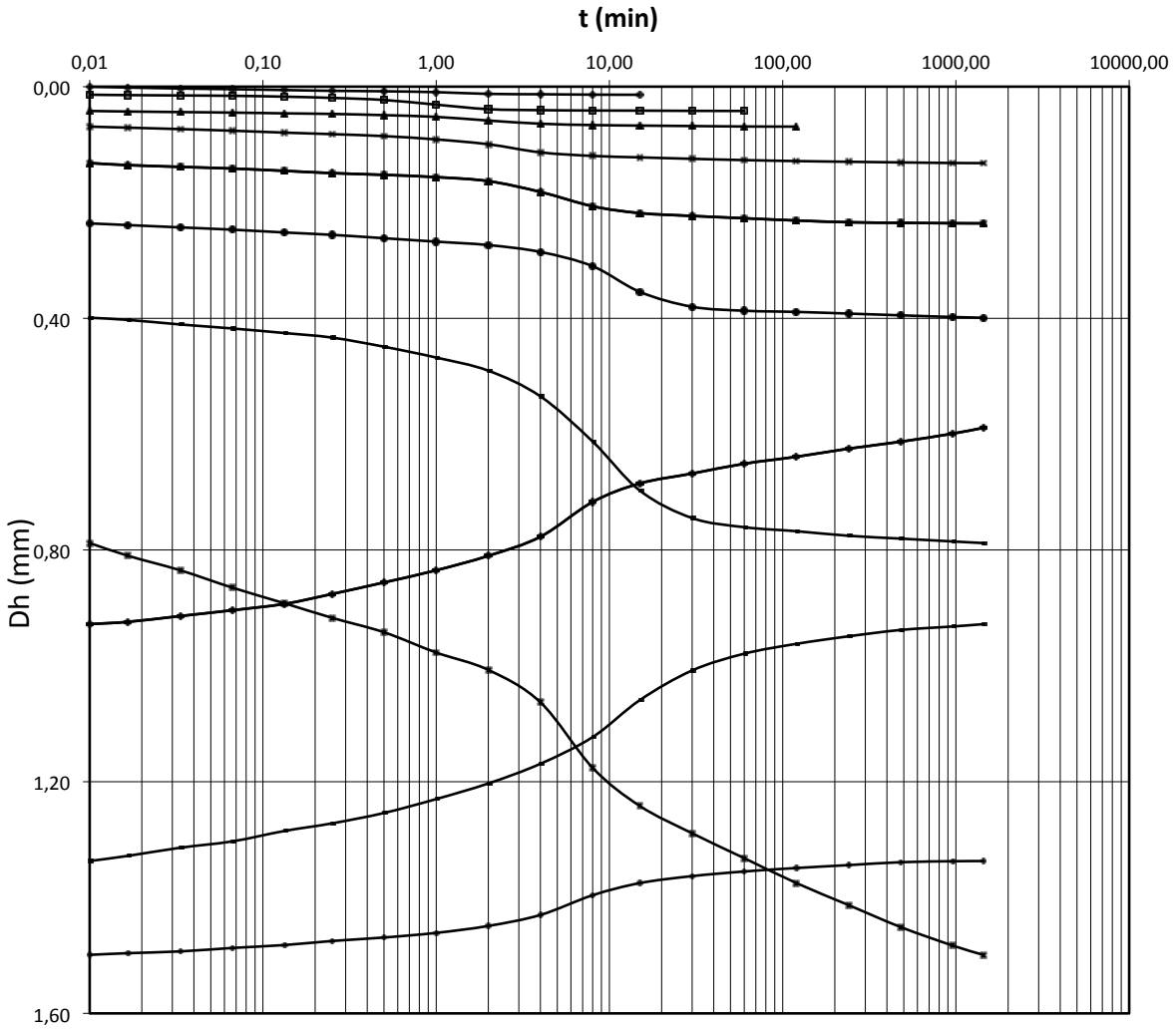
PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 2
CAMPIONE: 2
PROFONDITA': 6,0-6,6

N° CERTIFICATO: 1101/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con concrezioni carbonatiche

CURVE EDOMETRICHE



Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 2
CAMPIONE: 2
PROFONDITA': 6,0-6,6

N° CERTIFICATO: 1101/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici

Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con concrezioni carbonatiche

VALORI DELLE CURVE EDOMETRICHE

tempi (min)	12,5	25	50	100	200	400	800
0,01	0,0000	0,0140	0,0420	0,0690	0,1320	0,2360	0,3990
0,02	0,0015	0,0146	0,0429	0,0708	0,1355	0,2390	0,4027
0,03	0,0032	0,0152	0,0439	0,0733	0,1385	0,2430	0,4106
0,07	0,0044	0,0158	0,0448	0,0761	0,1414	0,2469	0,4175
0,13	0,0059	0,0173	0,0461	0,0794	0,1454	0,2518	0,4254
0,25	0,0072	0,0194	0,0471	0,0820	0,1493	0,2558	0,4332
0,50	0,0080	0,0230	0,0492	0,0854	0,1523	0,2617	0,4490
1	0,0095	0,0311	0,0522	0,0911	0,1562	0,2676	0,4677
2	0,0125	0,0389	0,0585	0,0995	0,1631	0,2735	0,4904
4	0,0131	0,0406	0,0640	0,1135	0,1818	0,2854	0,5348
8	0,0138	0,0412	0,0663	0,1196	0,2065	0,3100	0,6127
15	0,0140	0,0414	0,0672	0,1221	0,2183	0,3544	0,6975
30		0,0418	0,0680	0,1246	0,2232	0,3800	0,7448
60		0,0420	0,0688	0,1268	0,2272	0,3869	0,7606
120			0,0690	0,1285	0,2311	0,3889	0,7675
240				0,1297	0,2341	0,3918	0,7754
480				0,1308	0,2351	0,3948	0,7803
960				0,1318	0,2358	0,3977	0,7852
1440				0,1320	0,2360	0,3990	0,7880

tempi (min)	1600	800	200	50
0,01	0,7880	1,4990	1,3370	0,9280
0,02	0,8100	1,4960	1,3280	0,9240
0,03	0,8350	1,4930	1,3140	0,9140
0,07	0,8650	1,4870	1,3030	0,9040
0,13	0,8920	1,4820	1,2850	0,8930
0,25	0,9170	1,4750	1,2720	0,8760
0,50	0,9420	1,4690	1,2540	0,8560
1	0,9770	1,4610	1,2300	0,8350
2	1,0070	1,4490	1,2030	0,8100
4	1,0630	1,4300	1,1690	0,7770
8	1,1760	1,3960	1,1230	0,7170
15	1,2420	1,3750	1,0590	0,6850
30	1,2890	1,3630	1,0080	0,6680
60	1,3320	1,3550	0,9790	0,6510
120	1,3750	1,3490	0,9620	0,6390
240	1,4130	1,3440	0,9490	0,6250
480	1,4510	1,3390	0,9380	0,6130
960	1,4830	1,3373	0,9320	0,5990
1440	1,4990	1,3370	0,9280	0,5890

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)

Tel: 0742 381170 Email: geoecotest@gmail.com

SCHEDA RIASSUNTIVA DEL CAMPIONE

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 3
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,4-3,0
TITOLO DEL LAVORO: Interventi su edifici
DESCRIZIONE: Limi argillosi marroni con rare concrezioni carbonatiche e frustoli nerastri

COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

PARAMETRO GEOTECNICO	SIMBOLO	VALORE	UNITA' DI MISURA
PESO DI VOLUME APPARENTE	γ	19,67	kN/m^3
PESO DI VOLUME SECCO	γd	15,70	kN/m^3
PESO DI VOLUME SATURO	γsat	19,99	kN/m^3
PESO DI VOLUME IMMERSO	γimm	9,99	kN/m^3
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γs	27,47	kN/m^3
INDICE DEI VUOTI	e	0,749	
POROSITA'	n	42,84	%
GRADO DI SATURAZIONE INIZIALE	Sr	92,64	%
UMIDITA' NATURALE	w	25,27	%
LIMITE DI LIQUIDITA'	LL		%
LIMITE DI PLASTICITA'	LP		%
INDICE DI PLASTICITA'	IP		%
LIMITE DI RITIRO	LR		%
INDICE DI CONSISTENZA	Ic		
ANGOLO DI ATTRITO DI PICCO	ϕ'	24	°
COESIONE DRENATA	c'	33,0	kPa
ANGOLO DI ATTRITO RESIDUO	ϕres	-	°
COESIONE NON DRENATA	Cu	60,4	kPa

ANALISI GRANULOMETRICA

PARTE GROSSOLANA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO+ARGILLA (%)	
(% trattenuta al setaccio n°200)	1,90	7,26	90,84	
PARTE FINA	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)	
(% passante al setaccio n°200)				
GRANULOMETRIA CUMULATIVA	GHIAIA (%)	SABBIA (%)	LIMO (%)	ARGILLA (%)

CLASSIFICAZIONE CNR UNI 10006		
INDICE DI GRUPPO		

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170 Mail: geoecotest@gmail.com

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 3
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,4-3,0
TITOLO DEL LAVORO: Interventi su edifici
DESCRIZIONE: Limi argillosi marroni con rare concrezioni carbonatiche e frustoli nerastri

COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

QUALITA' DEL CAMPIONE	Q5

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170 Email: geoecotest@gmail.com

MISURA DEL CONTENUTO D'ACQUA
MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME
MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME DEI GRANULI SOLIDI

N° D'ORDINE:	130/20	**N° CERTIFICATO:**	1102/20
SONDAGGIO:	3	**COMMITTENTE:**	Perigeo srl per Provincia PG
CAMPIONE:	1	**LOCALITA':**	ITET A.Capitini Perugia
PROFONDITA':	2,4-3,0	**DATA INIZIO:**	10/12/20
		DATA FINE:	24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici

Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con rare concrezioni carbonatiche e frustoli nerastri

MISURA DEL CONTENUTO D'ACQUA

Tara Contenitore	53,37	g
Massa umida del terreno + Tara	240,41	g
Massa secca del terreno + Tara	202,68	g
Massa Netta Secca del terreno	149,31	g
Massa del contenuto in Acqua nel terreno	37,73	g
MISURA DEL CONTENUTO D'ACQUA (w)	**25,27**	%

MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME

Volume Fustella	80,00	cm^3
Tara Fustella	87,02	g
Massa del Terreno e della Fustella	244,39	g
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME (γ)	**19,67**	kN/m^3

MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME DEI GRANULI SOLIDI

	PROVA 1	PROVA 2	
Volume del Picnometro	75,00	75,00	(cm^3)
Tara Picnometro	48,39	73,98	(g)
Massa secca del terreno + Tara	73,34	98,93	(g)
Temperatura di prova	20	17,00	(°)
Peso di volume Acqua T° (gw)	0,99823	0,9988	(kN/m^3)
Massa Netta Secca del terreno (p)	24,95	24,95	(g)
Massa acqua e picnometro (p1)	123,014	193,02	(g)
Massa acqua picnometro e terreno (p2)	138,914	208,88	(g)
Peso dell'unità di volume dei granuli solidi (γs)	**27,52**	**27,42**	(kN/m^3)
Valore medio (γs)	**27,47**	(kN/m^3)	

Lo sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti Settore A (Prove di Laboratorio sui Terreni) D.M. n°10324 del 29/10/2012 - Art.59 D.P.R. 380/2001 - Circolare 76128/STC/2010

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170 Email: geoecotest@gmail.com

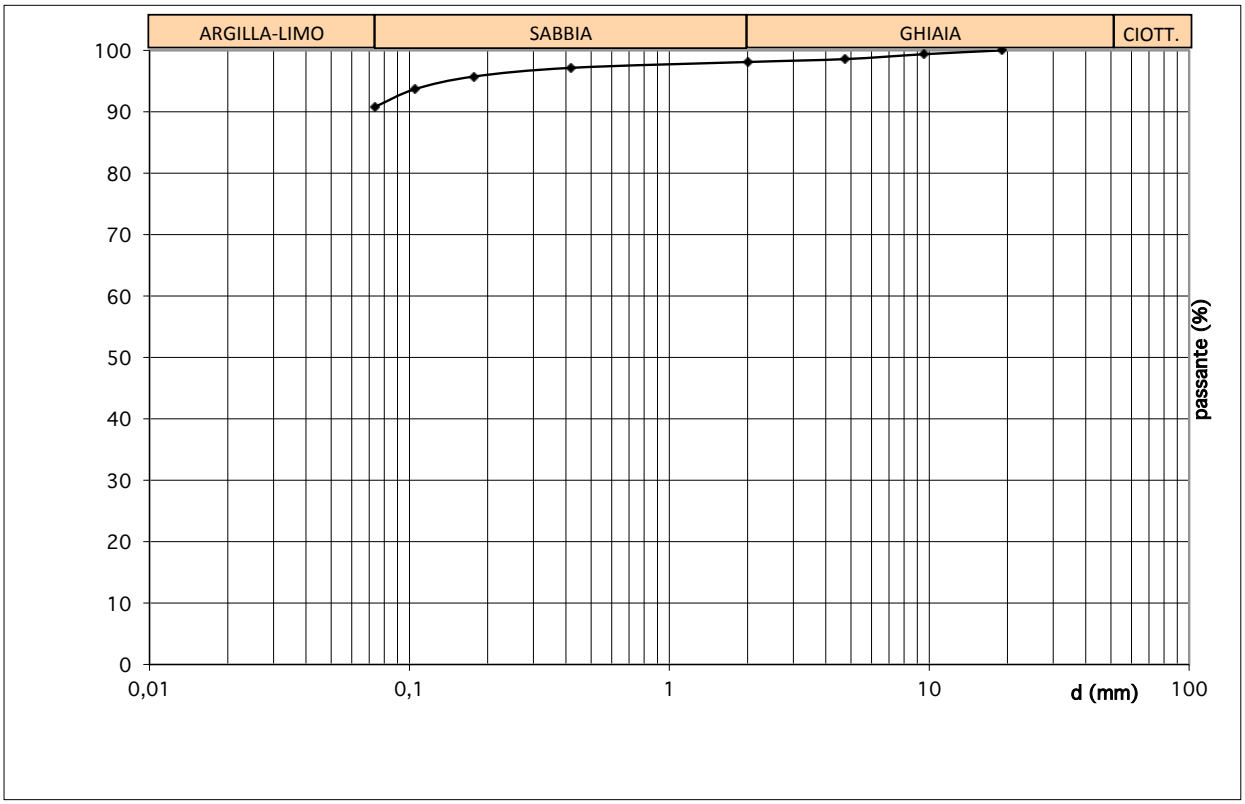
ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 3
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,4-3,0

N° CERTIFICATO: 1103/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con rare concrezioni carbonatiche e frustoli nerastri
Tipo di prova: per via umida
Umidità (%) : 25,3
Peso totale del campione (g): 793
Peso secco (g) : 633

Setacci (Serie ASTM)	Apertura d (mm)	Peso netto trattenuto (g)	**Trattenuto (%)**	**Passante (%)**
3/4	19,05	0	**0,00**	**100,00**
3/8	9,53	4	**0,63**	**99,37**
N4	4,76	9	**1,42**	**98,58**
N10	2,00	12	**1,90**	**98,10**
N40	0,42	18	**2,84**	**97,16**
N80	0,177	27	**4,27**	**95,73**
N140	0,105	40	**6,32**	**93,68**
N200	0,074	58	**9,16**	**90,84**



Lo sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

Laboratorio con aut. Min. conc. n°10324 del 29/10/2012

Procedura UNI CEN ISO/TS 17892-4:2005

PO-12a

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

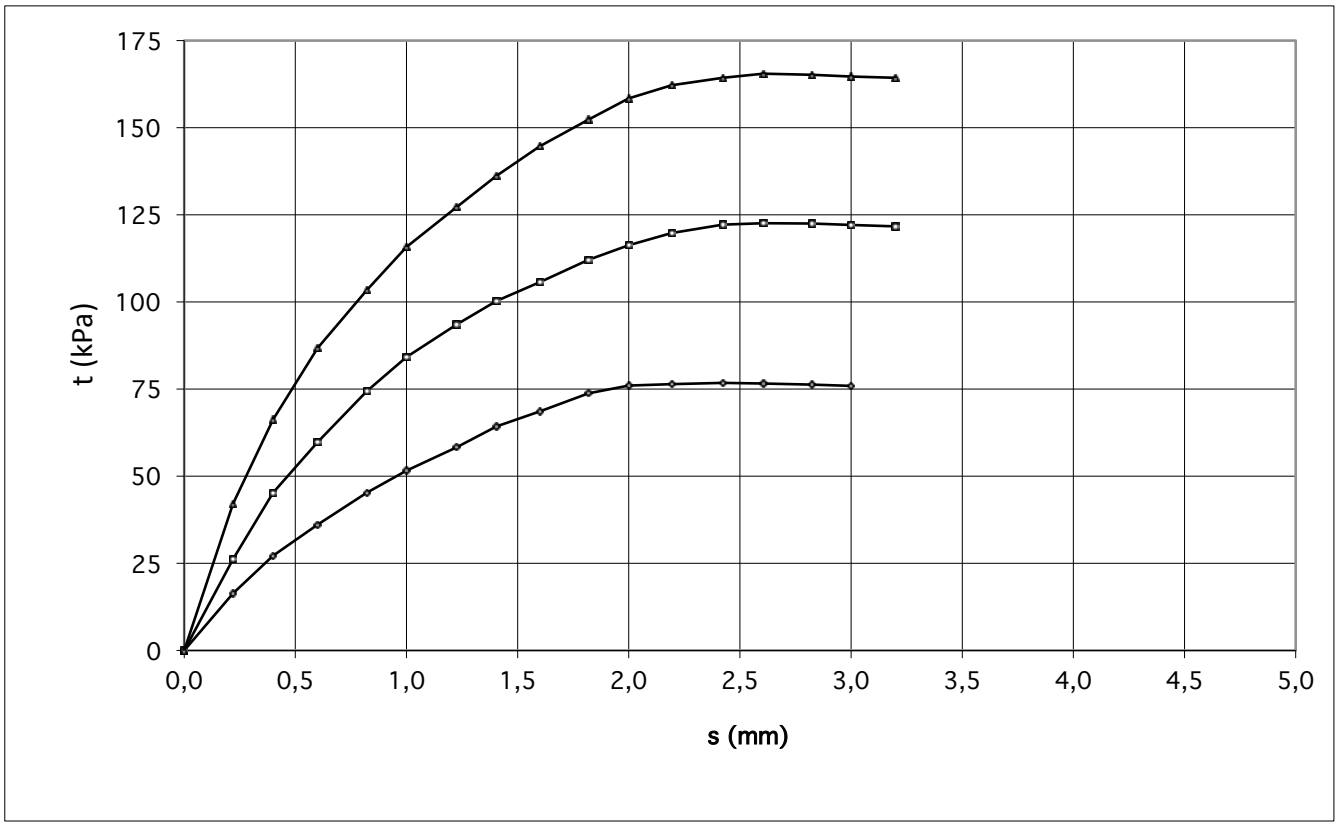
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 3
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,4-3,0

N° CERTIFICATO: 1104/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con rare concrezioni carbonatiche e frustoli nerastri

PROVINO N.	1	2	3
Peso dell'unità di volume (kN/m3)	19,68	19,65	19,58
Contenuto naturale d'acqua (%)	25,27	25,27	25,27
Pressione verticale (kPa)	100	200	300
CARATTERISTICHE DELLA PROVA			
Velocità di deformazione (mm/min)	0,001		
Dimensione dei provini (cm)	2,00 x 6,00		
Tipo di prova eseguita:	CD		



Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 3
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,4-3,0

N° CERTIFICATO: 1104/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con rare concrezioni carbonatiche e frustoli nerastri

VALORI DEGLI SFORZI DI TAGLIO

Spostamento s (mm)	Provino 1 t (kPa)	Provino 2 t (kPa)	Provino 3 t (kPa)
0,0	0,0	0,0	0,0
0,2	16,4	26,2	42,1
0,4	27,2	45,3	66,3
0,6	36,1	59,8	86,8
0,8	45,3	74,4	103,4
1,0	51,6	84,2	115,8
1,2	58,3	93,5	127,2
1,4	64,3	100,3	136,2
1,6	68,6	105,7	144,7
1,8	73,8	112,1	152,3
2,0	76,0	116,3	158,4
2,2	76,4	119,8	162,2
2,4	76,8	122,2	164,3
2,6	76,6	122,6	165,5
2,8	76,3	122,5	165,2
3,0	75,9	122,1	164,7
3,2		121,7	164,3
3,4			
3,6			
3,8			
4,0			
4,2			
4,4			
4,6			
4,8			
5,0			

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

PROVA DI COMPRESSIONE NON CONFINATA

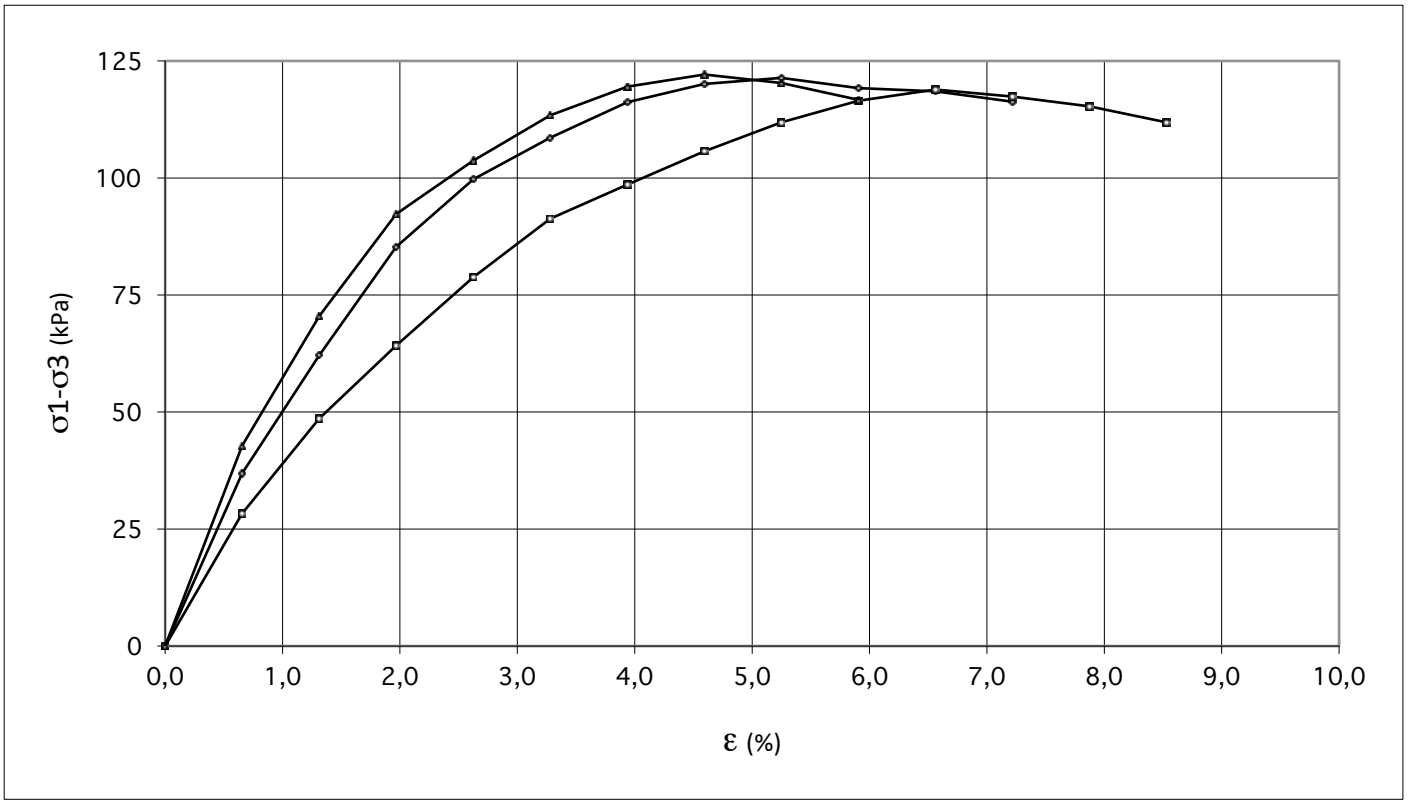
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 3
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,4-3,0

N° CERTIFICATO: 1105/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con rare concrezioni carbonatiche e frustoli neras

PROVINO N°	1	2	3
Peso dell'unità di volume (kN/m3)	19,67	19,66	19,64
Contenuto naturale d'acqua (%)	25,3	25,3	25,3
CARATTERISTICHE DELLA PROVA			
Velocità di deformazione (mm/min)	0,38		
Altezza del provino (cm)	7,62		
Diametro del provino (mm)	38,1		



Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE

PROVA DI COMPRESSIONE NON CONFINATA

Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 3
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,4-3,0

N° CERTIFICATO: 1105/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici

stri **Descrizione del campione :** Limi argillosi marroni con rare concrezioni carbonatiche e frustoli nerastri

VALORI DEGLI SFORZI MISURATI

Spostamento s (mm)	Cedimento e (%)	Provino 1 s1-s3 (kPa)	Provino 2 s1-s3 (kPa)	Provino 3 s1-s3 (kPa)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0,5	0,7	36,9	28,3	42,8
1,0	1,3	62,1	48,6	70,5
1,5	2,0	85,3	64,2	92,3
2,0	2,6	99,7	78,8	103,7
2,5	3,3	108,6	91,3	113,4
3,0	3,9	116,2	98,6	119,5
3,5	4,6	120,1	105,7	122,1
4,0	5,2	121,4	111,9	120,3
4,5	5,9	119,2	116,5	116,7
5,0	6,6	118,5	118,9	
5,5	7,2	116,3	117,4	
6,0	7,9		115,3	
6,5	8,5		111,9	
7,0	9,2			
7,5	9,8			
8,0	10,5			
8,5	11,2			
9,0	11,8			
9,5	12,5			
10,0	13,1			

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 3
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,4-3,0

N° CERTIFICATO: 1106/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con rare concrezioni carbonatiche e frustoli nerastri

Dati provino

SEZIONE PROVINO		40	cm2
ALTEZZA INIZIALE		20	mm
ALTEZZA FINALE (dopo fase di carico)		18,03	mm
ALTEZZA FINALE (dopo fase di scarico)		20,00	mm
PESO TARA 1		87,02	g
PESO LORDO UMIDO INIZIALE		244,39	g
PESO TARA 2		87,02	g
PESO LORDO UMIDO FINALE		238,65	g
PESO LORDO SECCO		212,64	g
PESO SPECIFICO DEI GRANULI	γs	27,47	kN/m3
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME INIZIALE	γn	19,67	kN/m3
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME FINALE	γf	20,12	kN/m3
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME SECCO	γd	15,70	kN/m3
CONTENUTO D'ACQUA INIZIALE	w0	25,27	%
CONTENUTO D'ACQUA FINALE	wf	17,42	%
SATURAZIONE INIZIALE	S0	92,64	%
SATURAZIONE FINALE	Sf	99,46	%
INDICE DEI VUOTI INIZIALE	e0	0,749	
INDICE DEI VUOTI FINALE	ef	0,572	
PESO DELL'UNITA' DI VOLUME SECCO FINALE	γdf	16,67	kN/m3

METODO CASAGRANDE

Risultati

σ (kPa)	ΔH (mm)	ε (%)	e	M (MPa)	cv (cm2/sec)	k (cm/sec)	cα	Cc (kPa)
12,5	0,049	0,244	0,745	5,121	1,09E-02	2,13E-04		
25	0,090	0,452	0,742	5,982	1,09E-02	1,82E-04	0,000	0,0121
50	0,157	0,785	0,736	7,437	9,83E-04	1,32E-05	0,000	0,0194
100	0,342	1,710	0,720	5,313	1,07E-04	2,01E-06	0,052	0,0538
200	0,591	2,955	0,698	7,795	1,09E-04	1,40E-06	0,094	0,0724
400	0,939	4,695	0,667	10,955	1,01E-04	9,25E-07	0,136	0,1011
800	1,430	7,150	0,624	15,128	1,06E-04	7,03E-07	0,168	0,1427
1600	2,030	10,150	0,572	23,960	1,34E-04	5,58E-07	0,293	0,1743
800	1,910	9,550	0,582					
200	1,405	7,025	0,627					
50	0,927	4,635	0,668					

Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

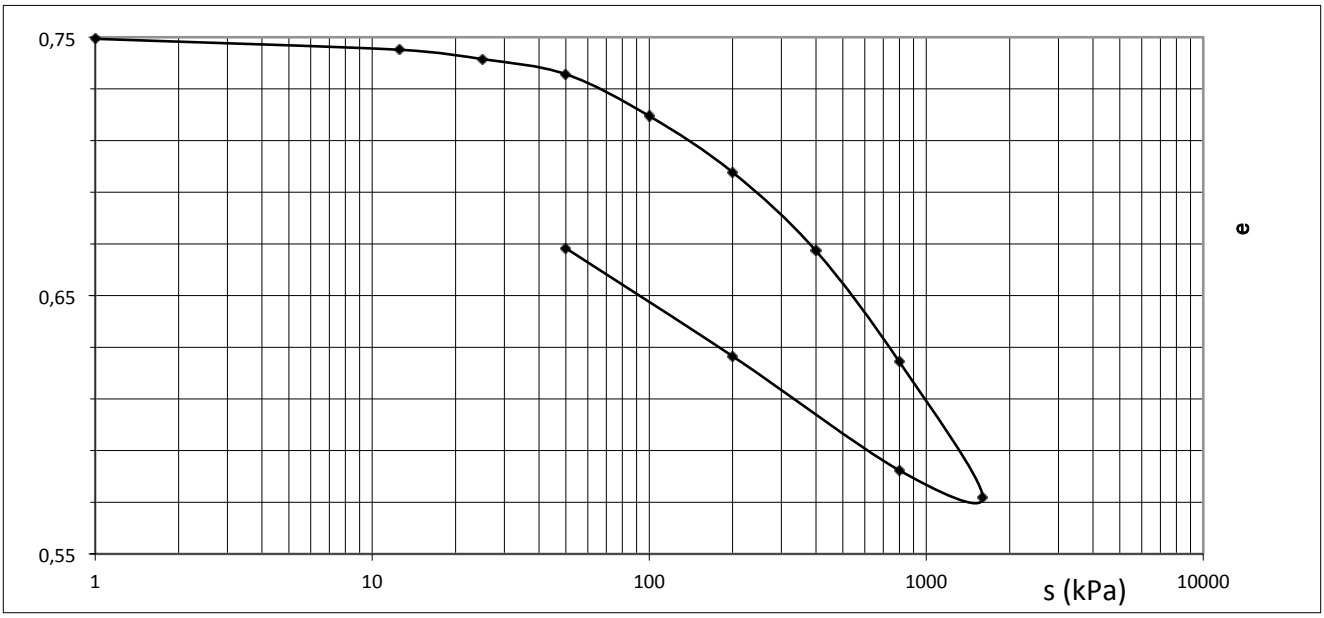
GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

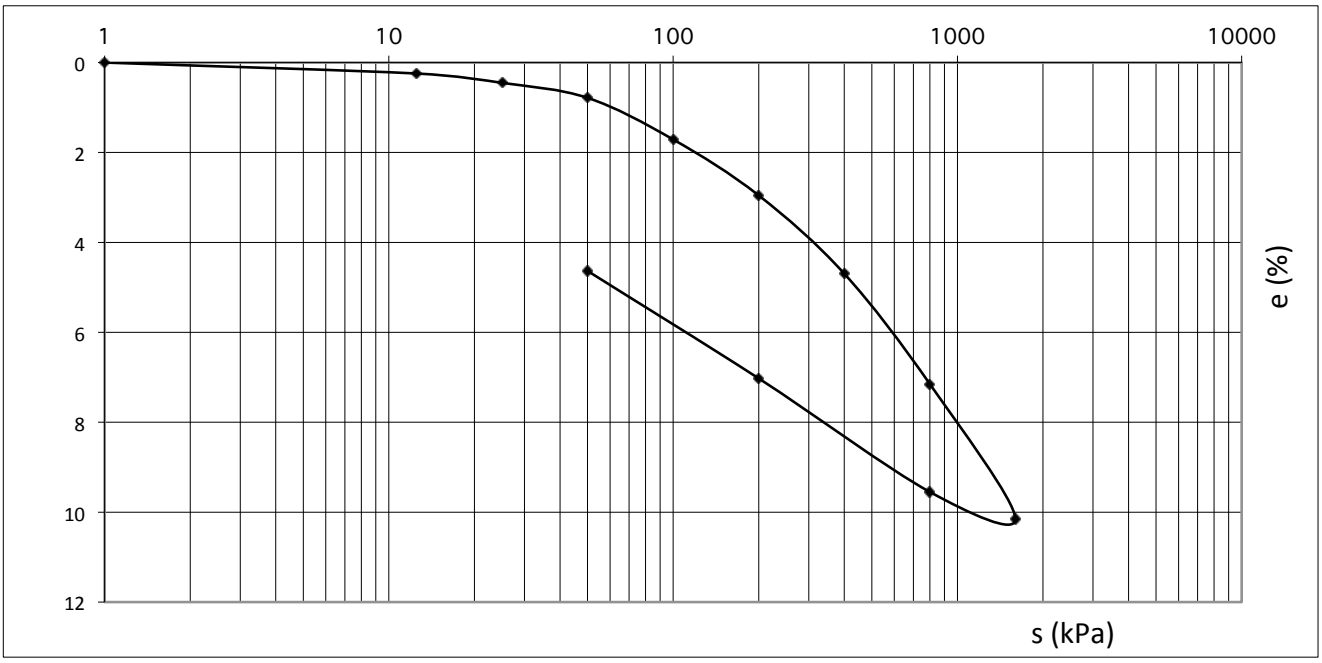
PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 3
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,4-3,0

N° CERTIFICATO: 1106/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici
Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con rare concrezioni carbonatiche e frustoli nerastri





Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

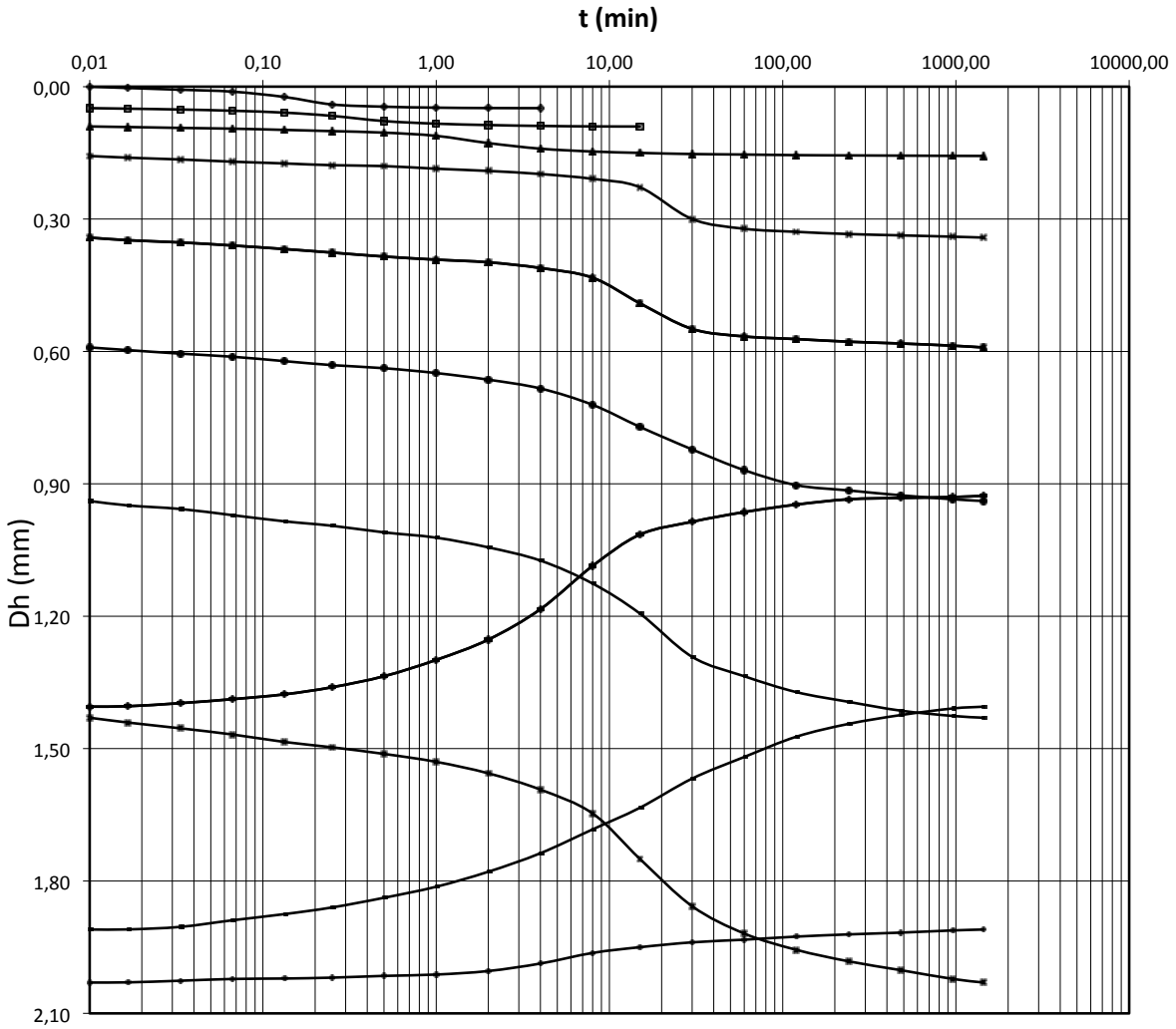
N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 3
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,4-3,0

N° CERTIFICATO: 1106/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici

Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con rare concrezioni carbonatiche e frustoli nerastri

CURVE EDOMETRICHE



Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

GEO ECO TEST
LABORATORIO TERRE
Via Sant'Angelo 65 - Trevi (PG)
Tel: 0742 381170
Email: geoecotest@gmail.com

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

N° D'ORDINE: 130/20
SONDAGGIO: 3
CAMPIONE: 1
PROFONDITA': 2,4-3,0

N° CERTIFICATO: 1106/20
COMMITTENTE: Perigeo srl per Provincia PG
LOCALITA': ITET A.Capitini Perugia
DATA INIZIO: 10/12/20
DATA FINE: 24/12/20

Titolo del lavoro: Interventi su edifici

Descrizione del campione : Limi argillosi marroni con rare concrezioni carbonatiche e frustoli nerastri

VALORI DELLE CURVE EDOMETRICHE

tempi (min)	12,5	25	50	100	200	400	800
0,01	0,0000	0,0487	0,0903	0,1570	0,3420	0,5910	0,9390
0,02	0,0031	0,0499	0,0915	0,1610	0,3480	0,5970	0,9490
0,03	0,0070	0,0518	0,0935	0,1650	0,3530	0,6050	0,9570
0,07	0,0113	0,0546	0,0952	0,1700	0,3600	0,6120	0,9710
0,13	0,0234	0,0589	0,0980	0,1740	0,3680	0,6220	0,9850
0,25	0,0403	0,0662	0,1008	0,1780	0,3760	0,6310	0,9950
0,50	0,0454	0,0780	0,1042	0,1800	0,3850	0,6380	1,0100
1	0,0476	0,0839	0,1115	0,1860	0,3920	0,6490	1,0220
2	0,0485	0,0870	0,1279	0,1910	0,3980	0,6640	1,0440
4	0,0487	0,0890	0,1406	0,1980	0,4110	0,6840	1,0740
8		0,0901	0,1470	0,2090	0,4330	0,7210	1,1260
15		0,0903	0,1501	0,2280	0,4910	0,7710	1,1940
30			0,1527	0,3000	0,5490	0,8220	1,2920
60			0,1538	0,3220	0,5660	0,8690	1,3360
120			0,1552	0,3290	0,5720	0,9030	1,3720
240			0,1558	0,3340	0,5780	0,9150	1,3940
480			0,1563	0,3370	0,5820	0,9260	1,4140
960			0,1568	0,3400	0,5870	0,9350	1,4260
1440			0,1570	0,3420	0,5910	0,9390	1,4300

tempi (min)	1600	800	200	50
0,01	1,4300	2,0300	1,9100	1,4050
0,02	1,4410	2,0297	1,9097	1,4040
0,03	1,4540	2,0260	1,9040	1,3970
0,07	1,4680	2,0220	1,8890	1,3880
0,13	1,4850	2,0210	1,8750	1,3770
0,25	1,4970	2,0190	1,8600	1,3610
0,50	1,5120	2,0150	1,8380	1,3360
1	1,5300	2,0120	1,8130	1,2990
2	1,5560	2,0040	1,7790	1,2530
4	1,5930	1,9870	1,7370	1,1840
8	1,6470	1,9630	1,6830	1,0860
15	1,7500	1,9500	1,6340	1,0150
30	1,8570	1,9390	1,5680	0,9860
60	1,9190	1,9330	1,5190	0,9640
120	1,9560	1,9260	1,4730	0,9470
240	1,9820	1,9210	1,4440	0,9350
480	2,0020	1,9170	1,4240	0,9320
960	2,0220	1,9120	1,4090	0,9300
1440	2,0300	1,9100	1,4050	0,9270

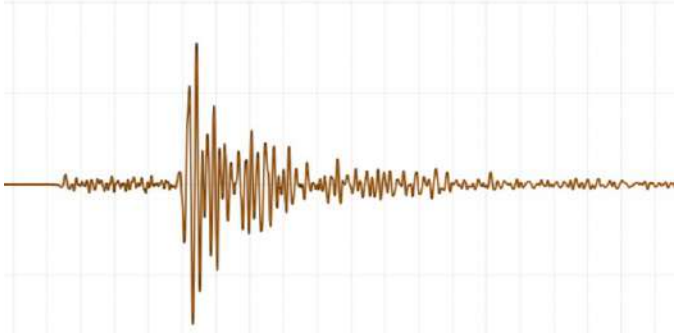
Lo Sperimentatore
Dott. Geol. David Severini

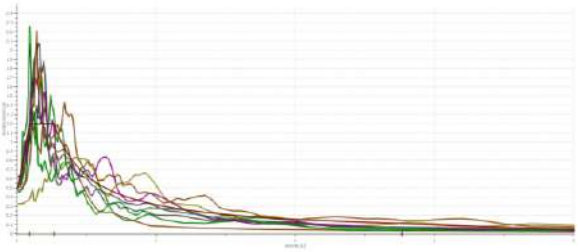
Il Direttore del Laboratorio
Ing. Fabio Bonazzi Bonaca

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (R.S.L.)

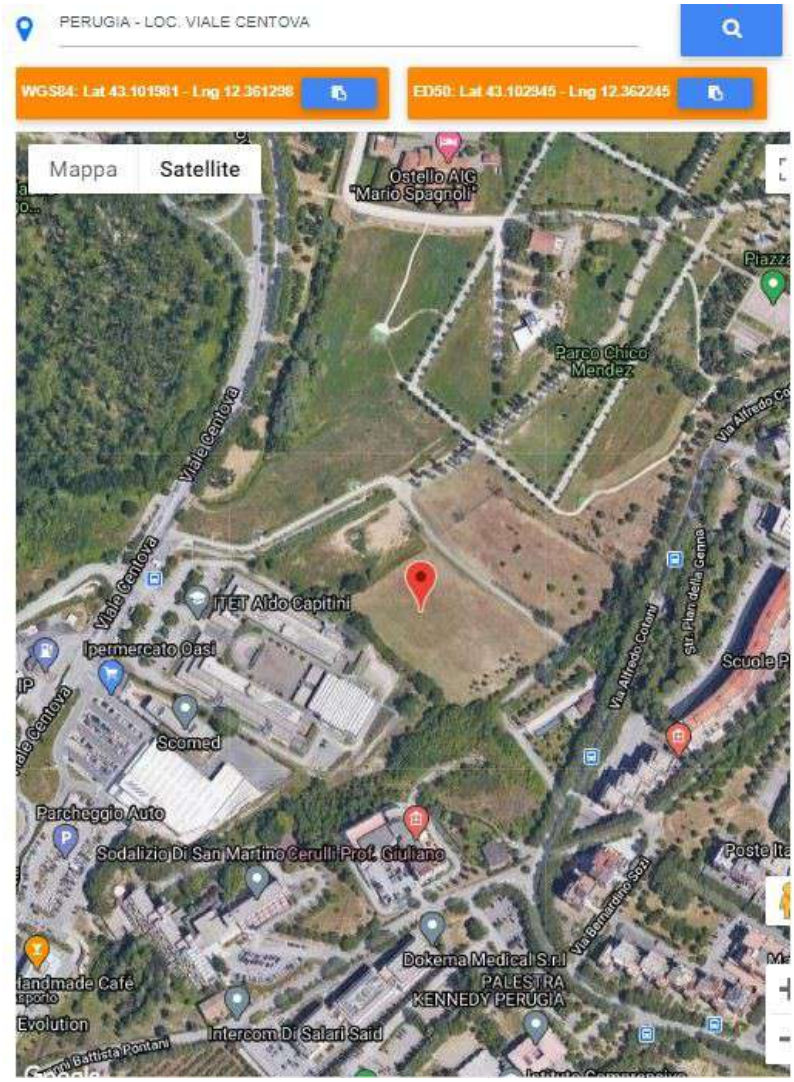
SPECIFICHE ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE MODELLAZIONE SISMICA CON L'UTILIZZO DI ACCELEROGRAMMI NATURALI

Località: PERUGIA (PG) – Realizzazione Nuovo Edificio Scolastico





Coord. Geogr. ED 50: Lat 43.102945° N Long. 12.362245° E



PREMESSA

Viene effettuata una specifica analisi di risposta sismica locale in un'area localizzata a Perugia (PG), al fine di determinare **l'azione sismica** attraverso una **modellazione di RSL.** Le coordinate geografiche indicative del sito risultano le seguenti (sistema ED 50): Lat. 43.102945°N Long. 12.362245°E. La modellazione numerica viene effettuata rispettando scrupolosamente quanto indicato dalle N.T.C. 17/01/18.

E' stato utilizzato un codice di calcolo **monodimensionale lineare equivalente**. Gli spettri forniti si riferiscono al p.c. Il modello di velocità è stato fornito dalla relazione finale delle indagini

I parametri progettuali forniti risultano:

- Classe d'uso III;

- Coefficiente d'uso 1.5;

- Vita nominale 50 anni;

Di seguito vengono riportati i parametri di pericolosità sismica di base ed il periodo di riporto per ogni stato limite. I parametri di disaggregazione sono stati determinati secondo quanto indicato dalle NTC.

Lo spettro ricavato dall'analisi degli accelerogrammi (i PGA sono stati opportunamente scalati alle accelerazioni ag relative ad ogni stato limite e riferite a suolo A), è stato sovrapposto ad uno spettro A di Normativa per il sito in questione, al fine di controllare la spettro compatibilità degli accelerogrammi.

Sono state utilizzate **curve di degrado dei materiali da bibliografia**, sulla base di **correlazioni con la natura litologica e geotecnica emersa dai dati geotecnici forniti (sondaggi a carotaggio continuo)** e da quelli geofisici.

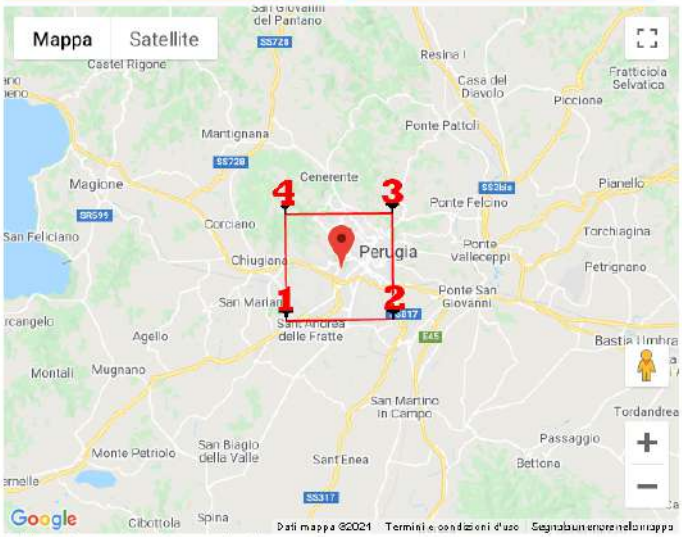
Si fa presente che, in questa fase, non conoscendo il coefficiente di struttura q, **vengono forniti solo gli spettri di output "elastici".** E' stato considerato quindi uno smorzamento del 5%, relativo, per convenzione, allo spettro elastico, anche per SLV e SLC. Tali spettri, attraverso il coefficiente di struttura (fattore q), verranno trasformato negli spettri di progetto.

Latitudine 43.101981

Longitudine 12.361298

WGS84: Lat 43.101981 - Lng 12.361298

ED50: Lat 43.102945 - Lng 12.362245



Stati limite

Classe Edificio: III. Affollamento significativo...

Vita Nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1.5

Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc^* [s]
Operatività (SLO)	45	0.073	2.477	0.276
Danno (SLD)	75	0.091	2.453	0.284
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.209	2.441	0.313
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.259	2.471	0.322
Periodo di riferimento per l'azione sismica	75			

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	45	0,073	2,477	0,276
SLD	75	0,091	2,453	0,284
SLV	712	0,209	2,441	0,313
SLC	1462	0,259	2,471	0,322

Parametri indipendenti che esprimono la pericolosità sismica di base (ag, Fo, Tc).*

Sono stati scelti **n. 7 accelerogrammi** naturali forniti dalla Regione Umbria per gli studi di MS3 del Comune di Perugia (https://www.regione.umbria.it/accelerogrammi-dei-comuni-umbri).
Anche se riferiti ad un TR di 475 anni (differente rispetto a quello dei parametri progettuali), tali accelerogrammi risultano essere "**spettro compatibili**" anche per i parametri progettuali indicati del progettista. La spettro compatibilità viene verificata (ved. oltre) per tutti gli stati limite.

```
BO.SMNOA..HNE.D.20001006.043017.C.ACC.txt
EU.108..HN2.D.20000617.154041.C.ACC.txt
EU.112..HN3.D.20080529.154600.C.ACC.txt
IT.CLO..HGE.D.20161026.191806.C.ACC.txt
IT.CLO..HGN.D.20161026.191806.C.ACC.txt
IT.MMO..HGE.D.20161030.064018.C.ACC.txt
IT.MMO..HGN.D.20161030.064018.C.ACC.txt
```

Nome degli accelerogrammi utilizzati come input sismico

PROCEDURA DI CALCOLO PER LA MODELLAZIONE SISMICA DI TERZO LIVELLO. SPECIFICHE ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE.

La procedura di calcolo utilizzata per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, 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 attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

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

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:

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

che sostituita nella (1) pone

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

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

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

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:

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

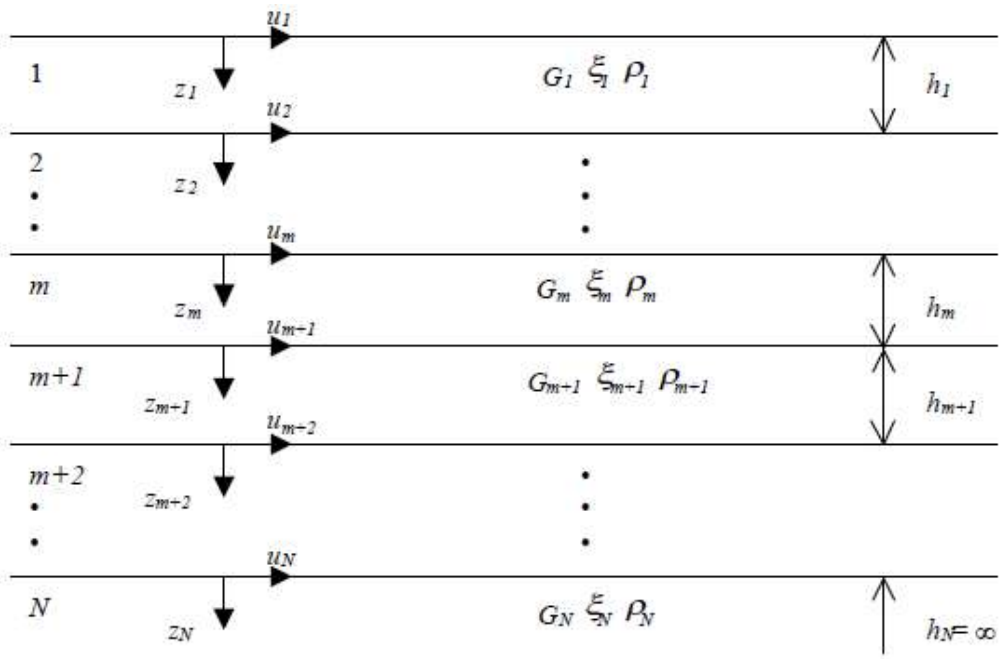


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

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:

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

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:

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

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

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,

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

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.

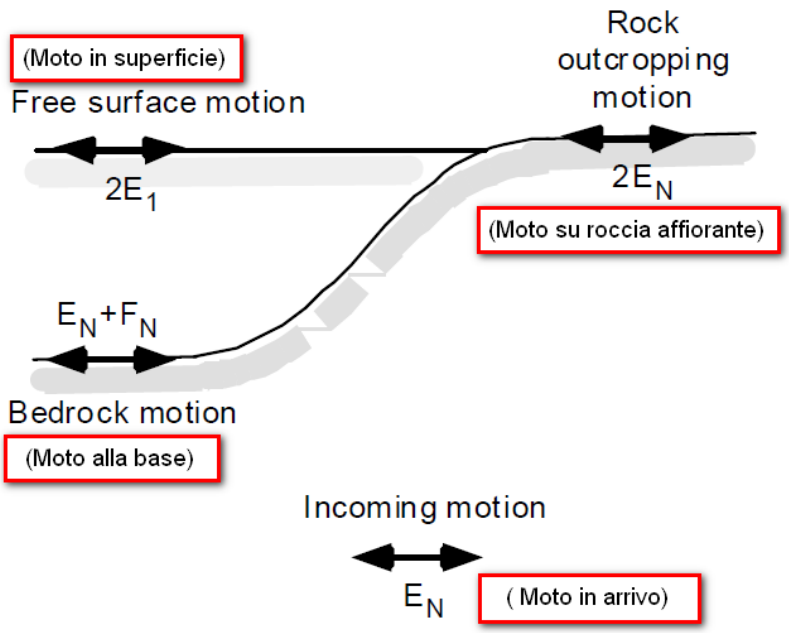


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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 $G(\gamma)$ 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.

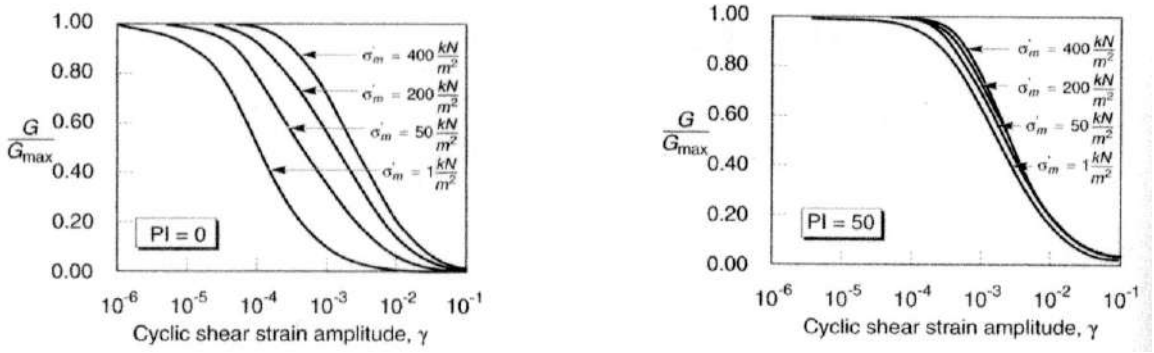


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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.

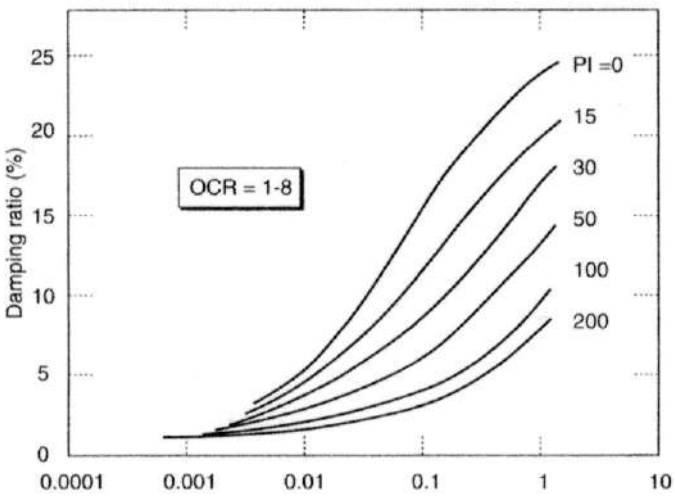


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DETTAGLIATO (DA SISMICA A RIFRAZIONE VERTICALE S2)

vs	spessore	h/vs	H substrato		VsH
178	2	0,011236		30	378,8298
215	2	0,0093023			
248	2	0,0080645			
291	2	0,0068729			
327	2	0,0061162			
341	2	0,0058651			
369	2	0,0054201			
422	2	0,0047393			
533	2	0,0037523			
588	2	0,0034014			
630	2	0,0031746			
656	2	0,0030488			
686	2	0,0029155			
734	2	0,0027248			
782	2	0,0025575			
oltre 800	oltre 30				

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO IN BASE ALLE NTC 17/01/18: CATEGORIA B

MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO ANALIZZATO PER RSL (ESTRATTO DAL MODELLO DETTAGLIATO)

vs	spessore
214	6
320	6
440	6
640	8
750	4

H = 30, VSeq = 380 m/s

CURVE DI DEGRADO UTILIZZATE:

DA 0 A 18 M (VUCETIC E DOBRY 1991 ARGILLE I.P. 50%

DA 18 A 30 SEED ED AL SABBIE CURVE MEDIE (1986)

BEDROCK SISMICO: SMORZAMENTO COSTANTE

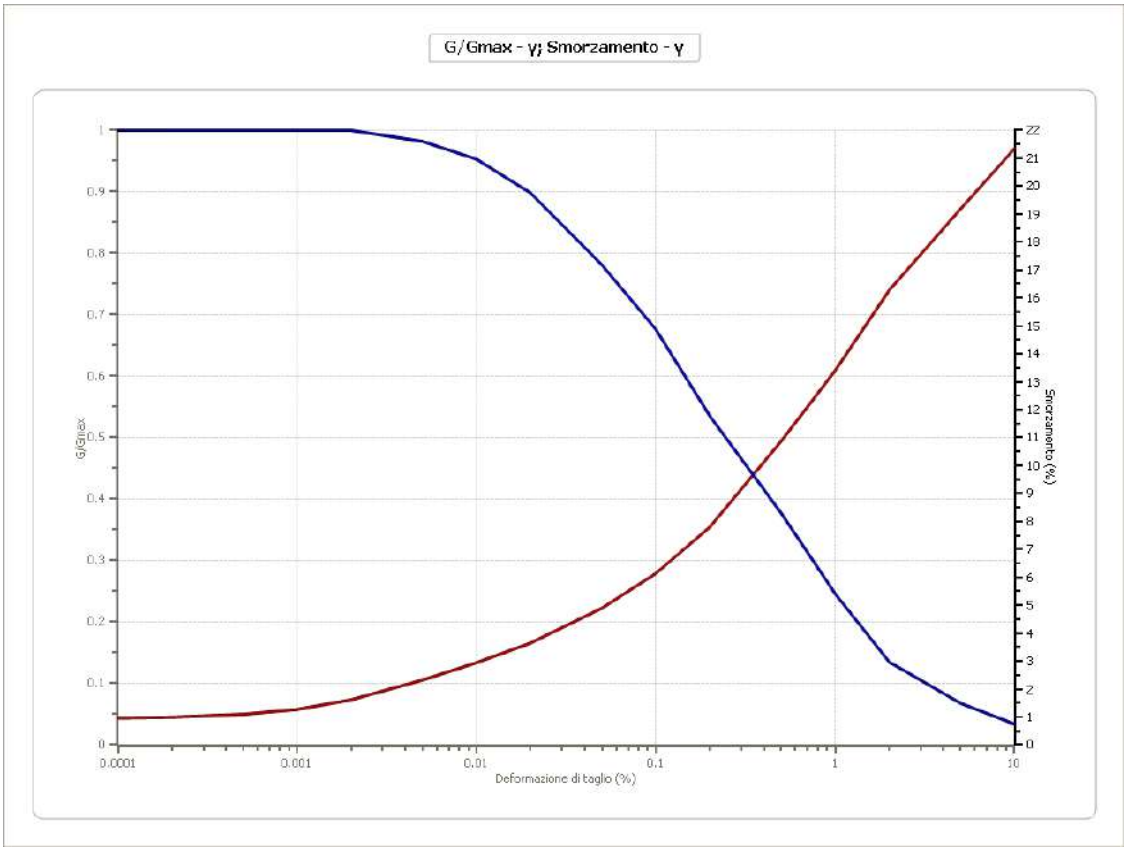
Stratigrafia

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Gmax [MPa]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]
1	--	6.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=50	84.03	18.0	214.0
2	6.0	6.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=50	198.33	19.0	320.0
3	12.0	6.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=50	374.96	19.0	440.0
4	18.0	8.0	Seed et al. (1986) Sand - Average	835.07	20.0	640.0
5	26.0	4.0	Seed et al. (1986) Sand - Average	1204.13	21.0	750.0
6	oo	--	Smorzamento costante	1435.27	22.0	800.0

Curve di degrado utilizzate (ved. tab. precedente).

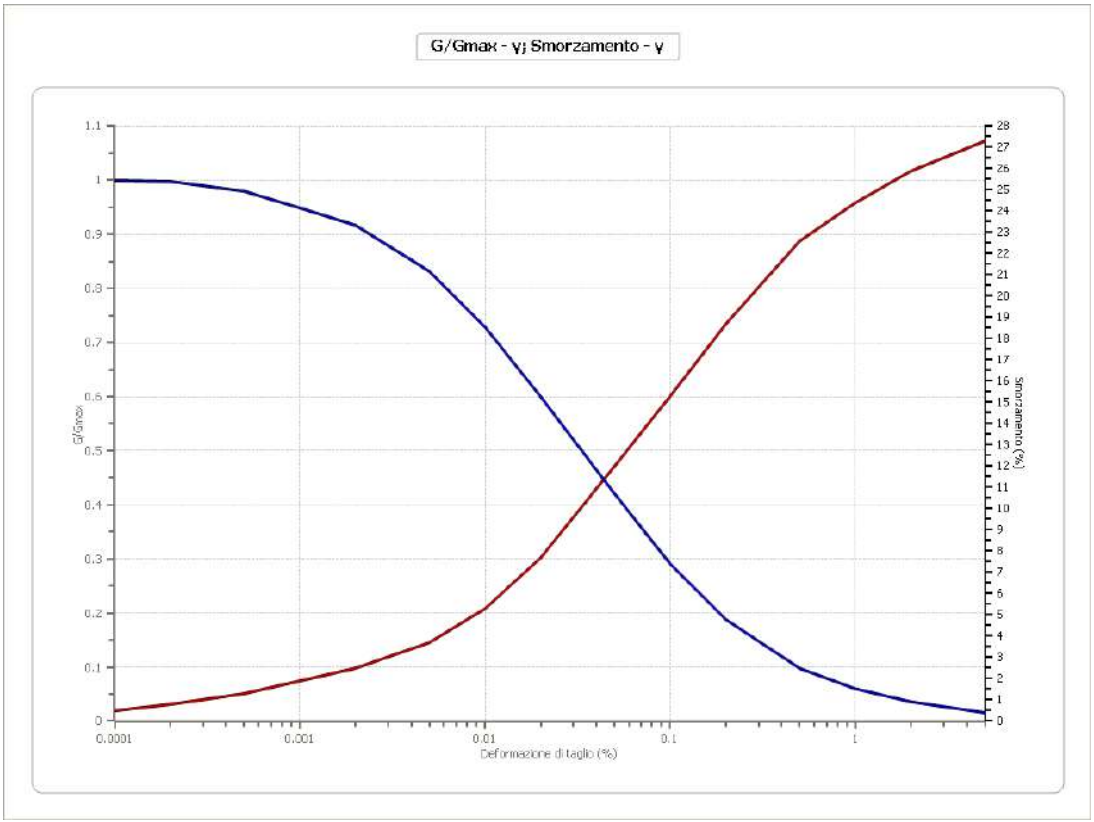
Vucetic & Dorby (1991) PI=50

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.964
0.0002	1.000	0.0002	0.997
0.0005	1.000	0.0005	1.100
0.001	1.000	0.001	1.274
0.002	1.000	0.002	1.620
0.005	0.982	0.005	2.326
0.010	0.953	0.010	2.949
0.020	0.898	0.020	3.654
0.050	0.781	0.050	4.900
0.100	0.676	0.100	6.146
0.200	0.535	0.200	7.807
0.500	0.377	0.500	10.880
1.000	0.246	1.000	13.410
2.000	0.135	2.000	16.280
5.000	0.068	5.000	19.190
10.000	0.034	10.000	21.350



Seed et al. (1986) Sand - Average

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.500
0.0002	0.998	0.0002	0.800
0.0005	0.980	0.0005	1.300
0.001	0.949	0.001	1.900
0.002	0.917	0.002	2.500
0.005	0.832	0.005	3.700
0.010	0.729	0.010	5.300
0.020	0.600	0.020	7.700
0.050	0.421	0.050	12.000
0.100	0.291	0.100	15.300
0.200	0.188	0.200	18.700
0.500	0.098	0.500	22.600
1.000	0.060	1.000	24.400
2.000	0.036	2.000	25.900
5.000	0.016	5.000	27.300

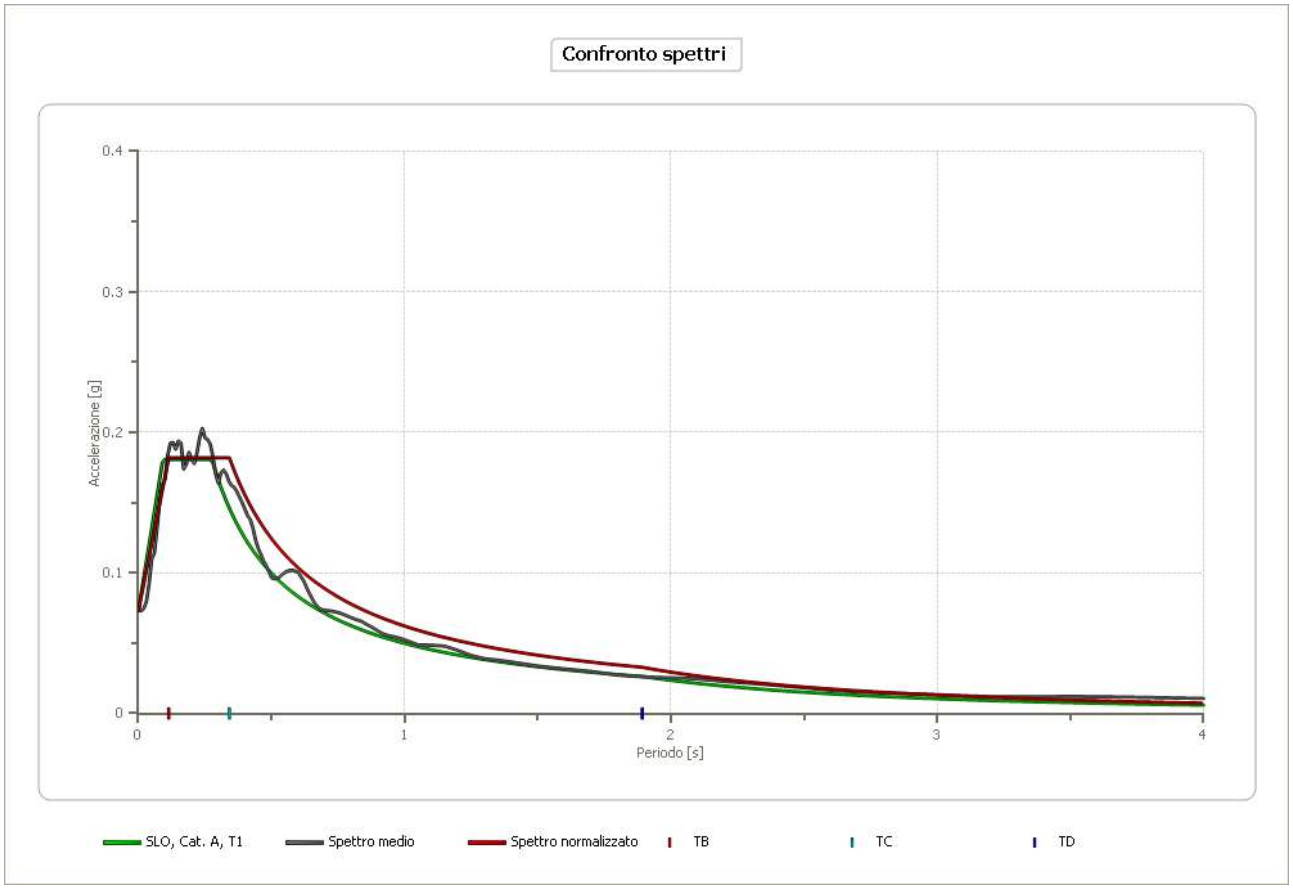


SPETTRO-COMPATIBILITÀ IN TERMINI DI AMPIEZZA SPETTRALI

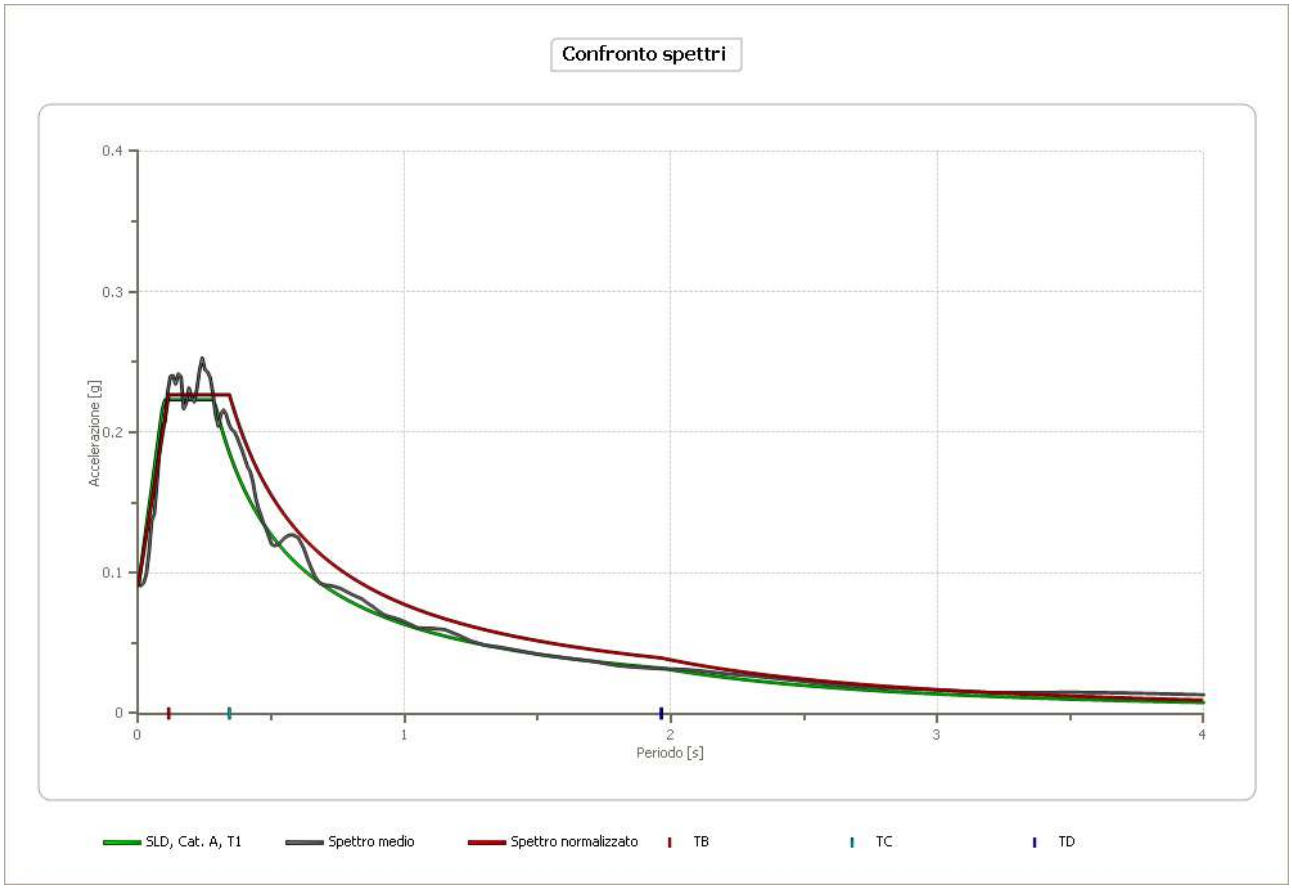
Considerazioni relative alla spettrocompatibilità

Confronto tra spettri di input (medio e normalizzato con l'utilizzo degli accelerogrammi naturali scelti) con spettri di normativa NTC 14/01/08 riferiti a categoria A per gli stati limite SLO, SLD, SLV. Gli spettri medi e normalizzati risultano simili a quelli di riferimento (spettro A NTC 14/01/08 associati ad ogni stato limite) per tutto il range di frequenze di interesse. Si dichiara la spettrocompatibilità degli accelerogrammi scelti per la RSL, in relazione ai parametri progettuali forniti.

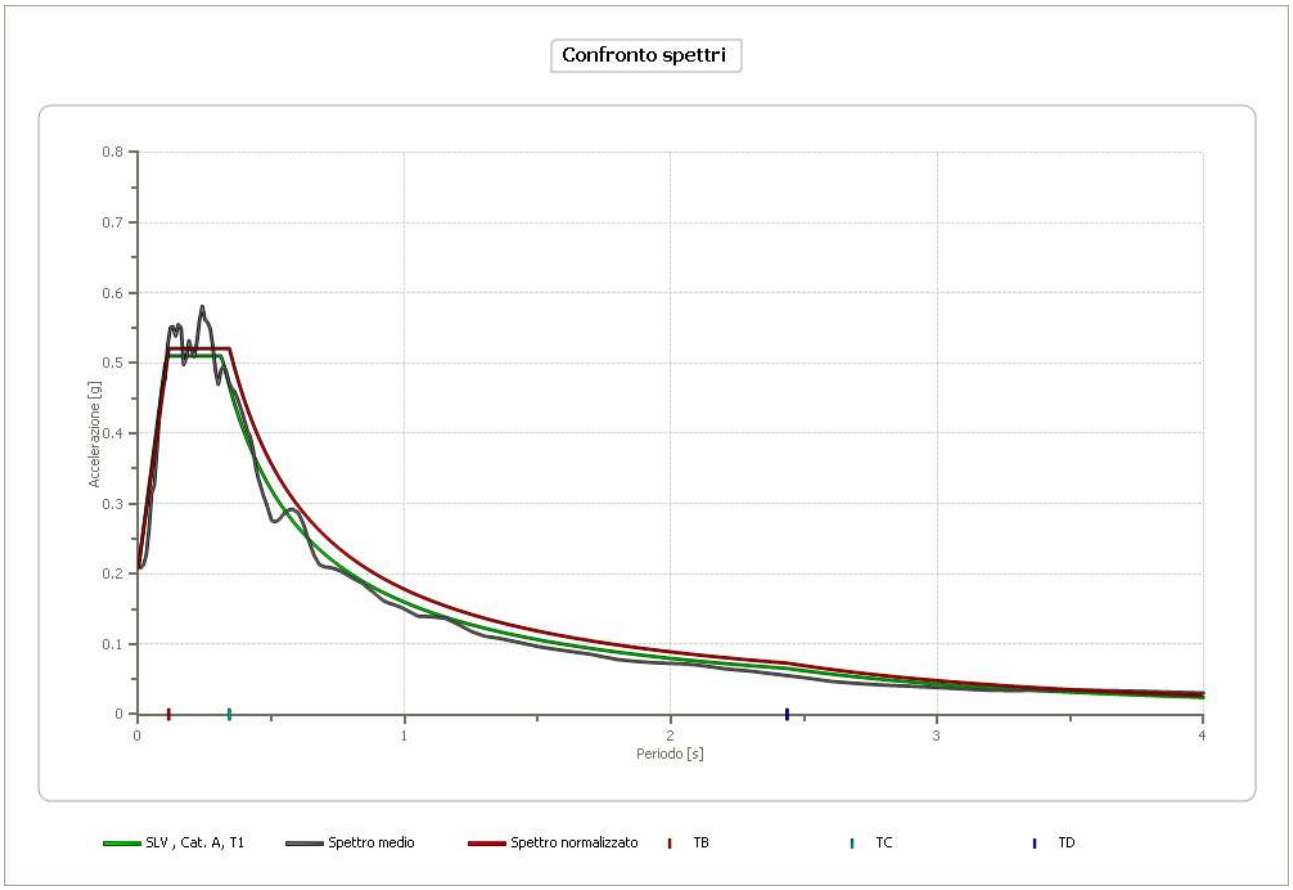
- Spettrocompatibilità per SLO



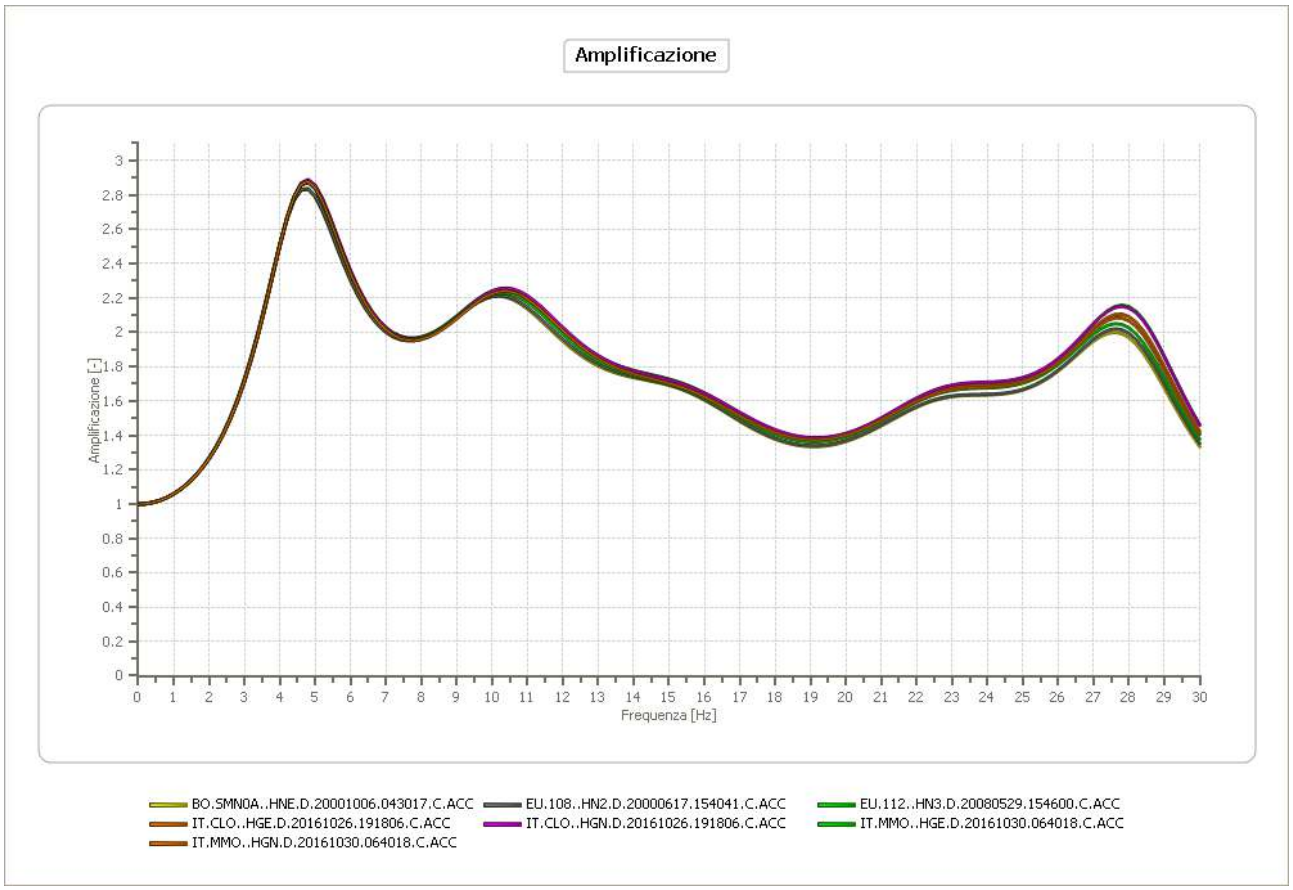
- Spettrocompatibilità per SLD



- Spettrocompatibilità per SLV



RISULTATI DELLA MODELLAZIONE DI LIVELLO 3 PER SLO



Funzione di amplificazione per SLO

Fattori di amplificazione

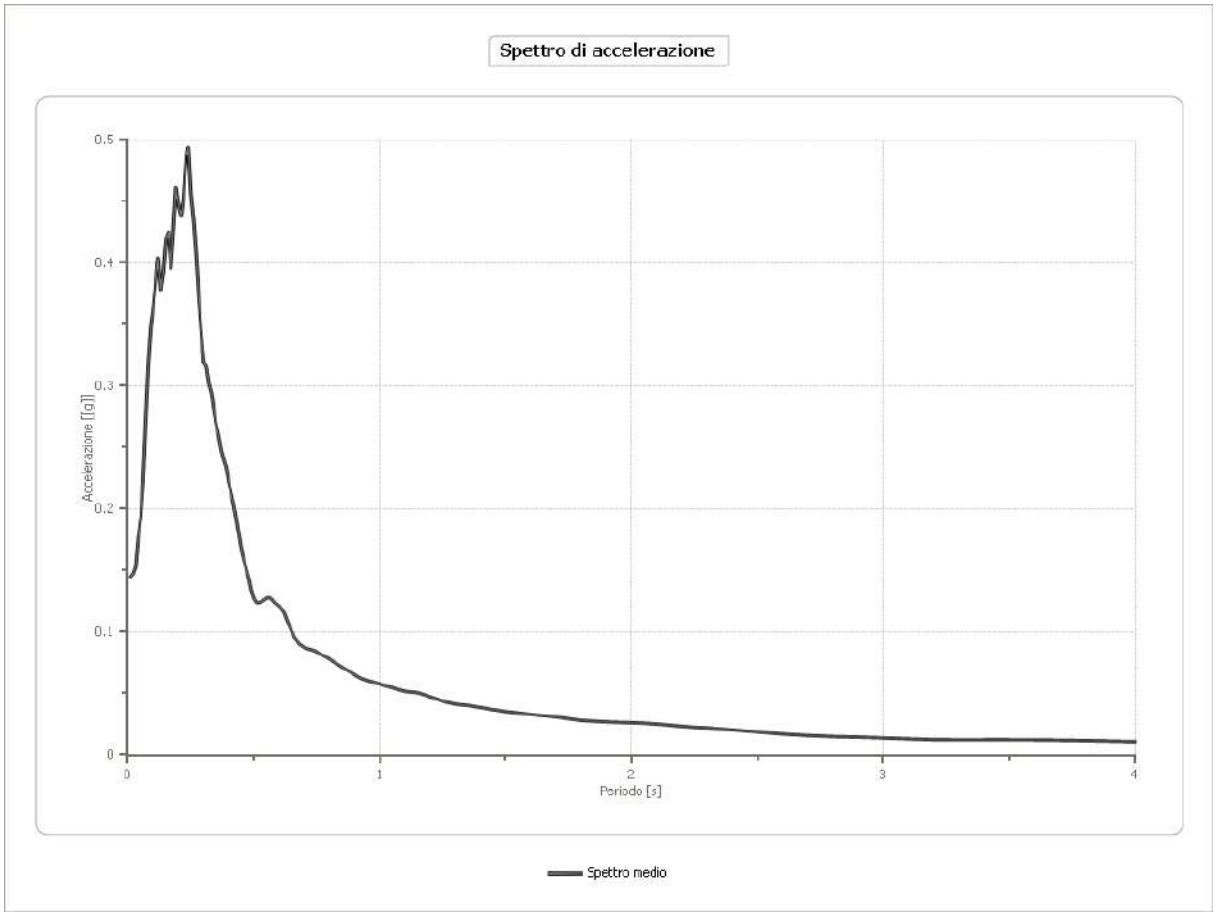
Tai	0.240 [s]
Tvi	3.800 [s]
Tao	0.240 [s]
Tvo	0.240 [s]
Sami	1.785 [m/s²]
Svmi	0.097 [m/s]
Samo	3.821 [m/s²]
Svmo	0.162 [m/s]
Fa	**2.141 [-]**
Fv	**1.663 [-]**
TB	0.089 [s]
TC	0.266 [s]
TD	1.892 [s]
SA(0)	0.156 [g]
SA(TB)	0.389 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.028	0.054	0.200	1.914
0.400	0.800	0.035	0.049	0.500	1.387
0.700	1.100	0.036	0.045	0.636	1.253

Spettro medio SLO

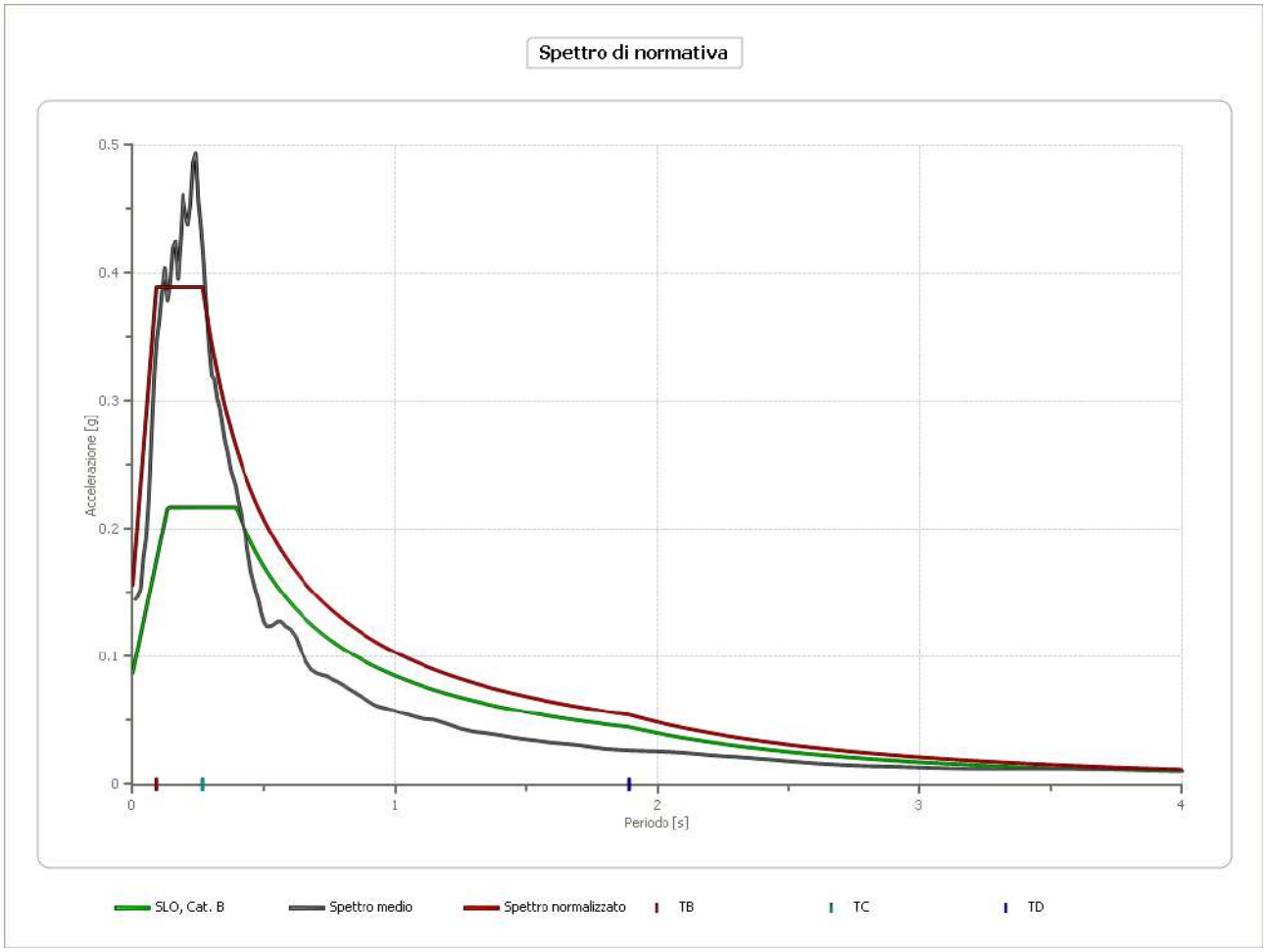
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.1450	0.27	0.4075	0.53	0.1244	1.00	0.0576	2.30	0.0220
0.02	0.1474	0.28	0.3733	0.54	0.1258	1.05	0.0546	2.35	0.0212
0.03	0.1532	0.29	0.3431	0.55	0.1275	1.10	0.0516	2.40	0.0204
0.04	0.1774	0.30	0.3198	0.56	0.1278	1.15	0.0506	2.50	0.0187
0.05	0.1923	0.31	0.3169	0.57	0.1265	1.20	0.0473	2.60	0.0170
0.06	0.2225	0.32	0.3025	0.58	0.1240	1.25	0.0436	2.70	0.0158
0.07	0.2716	0.33	0.2949	0.60	0.1214	1.30	0.0413	2.80	0.0150
0.08	0.3179	0.34	0.2809	0.62	0.1155	1.35	0.0402	2.90	0.0145
0.09	0.3482	0.35	0.2681	0.64	0.1049	1.40	0.0386	3.00	0.0139
0.10	0.3638	0.36	0.2596	0.66	0.0961	1.45	0.0368	3.10	0.0131
0.11	0.3861	0.37	0.2477	0.68	0.0900	1.50	0.0353	3.20	0.0124
0.12	0.4041	0.38	0.2400	0.70	0.0873	1.55	0.0341	3.30	0.0123
0.13	0.3782	0.39	0.2333	0.72	0.0859	1.60	0.0329	3.40	0.0123
0.14	0.3933	0.40	0.2218	0.74	0.0848	1.65	0.0319	3.50	0.0124
0.15	0.4193	0.41	0.2126	0.76	0.0823	1.70	0.0309	3.60	0.0123
0.16	0.4246	0.42	0.2029	0.78	0.0805	1.75	0.0294	3.70	0.0120
0.17	0.3958	0.43	0.1921	0.80	0.0781	1.80	0.0280	3.80	0.0117
0.18	0.4260	0.44	0.1794	0.82	0.0751	1.85	0.0274	3.90	0.0113
0.19	0.4612	0.45	0.1667	0.84	0.0727	1.90	0.0268	4.00	0.0109
0.20	0.4468	0.46	0.1584	0.86	0.0701	1.95	0.0265		
0.21	0.4382	0.47	0.1507	0.88	0.0678	2.00	0.0262		
0.22	0.4538	0.48	0.1436	0.90	0.0652	2.05	0.0258		
0.23	0.4867	0.49	0.1340	0.92	0.0626	2.10	0.0251		
0.24	0.4940	0.50	0.1270	0.94	0.0611	2.15	0.0242		
0.25	0.4558	0.51	0.1238	0.96	0.0600	2.20	0.0233		
0.26	0.4356	0.52	0.1239	0.98	0.0589	2.25	0.0225		


Spettro di accelerazione
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Accelerazione [(g)]
0
1
2
3
4
Periodo [s]
Spettro medio

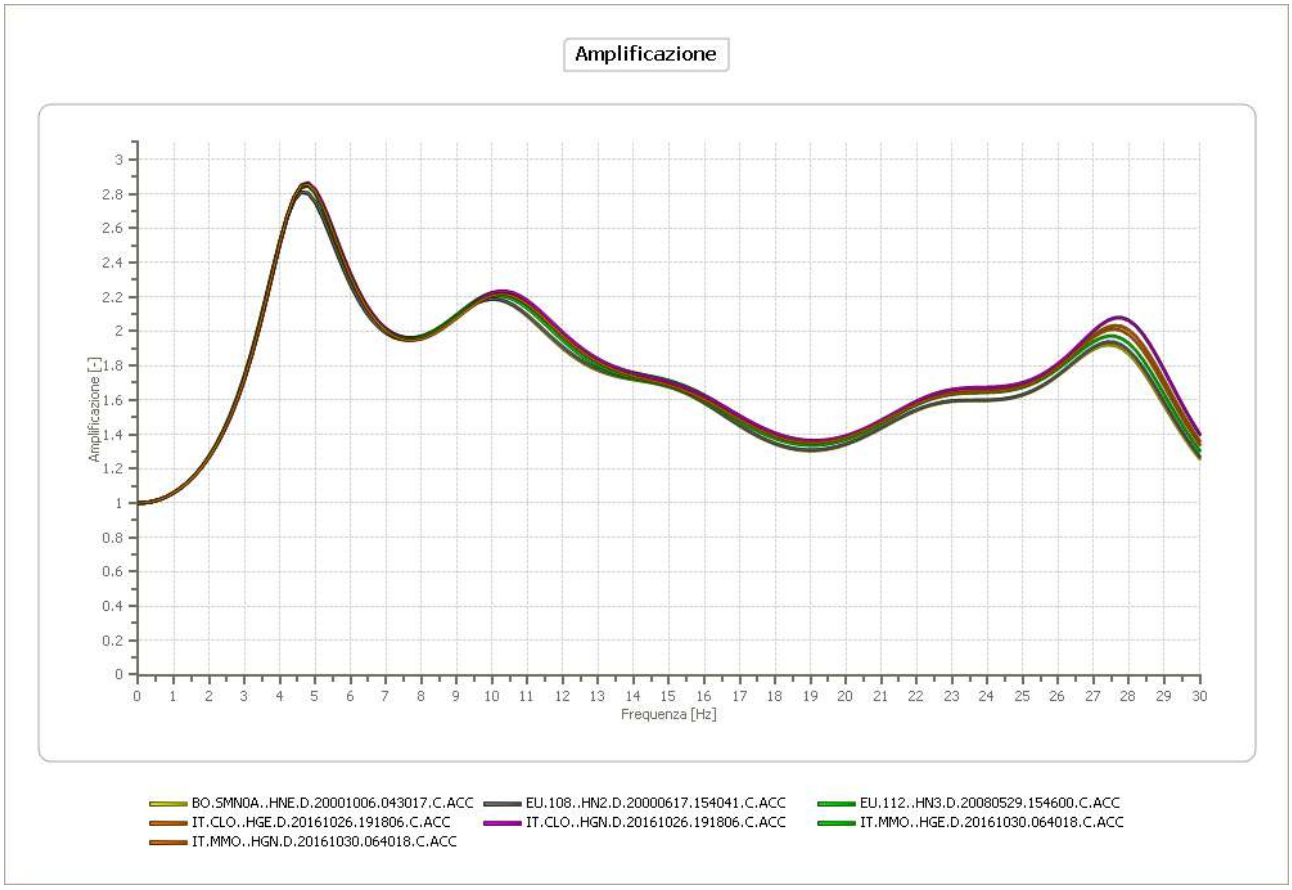
Spettro normalizzato SLO

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1563	0.26	0.3895	0.52	0.1990	0.98	0.1056	2.25	0.0460
0.01	0.1826	0.27	0.3832	0.53	0.1952	1.00	0.1035	2.30	0.0450
0.02	0.2090	0.28	0.3695	0.54	0.1916	1.05	0.0985	2.35	0.0440
0.03	0.2353	0.29	0.3568	0.55	0.1881	1.10	0.0941	2.40	0.0431
0.04	0.2616	0.30	0.3449	0.56	0.1848	1.15	0.0900	2.50	0.0414
0.05	0.2880	0.31	0.3338	0.57	0.1815	1.20	0.0862	2.60	0.0398
0.06	0.3143	0.32	0.3233	0.58	0.1784	1.25	0.0828	2.70	0.0383
0.07	0.3407	0.33	0.3135	0.60	0.1724	1.30	0.0796	2.80	0.0370
0.08	0.3670	0.34	0.3043	0.62	0.1669	1.35	0.0766	2.90	0.0357
0.09	0.3895	0.35	0.2956	0.64	0.1617	1.40	0.0739	3.00	0.0345
0.10	0.3895	0.36	0.2874	0.66	0.1568	1.45	0.0714	3.10	0.0334
0.11	0.3895	0.37	0.2796	0.68	0.1522	1.50	0.0690	3.20	0.0323
0.12	0.3895	0.38	0.2723	0.70	0.1478	1.55	0.0668	3.30	0.0314
0.13	0.3895	0.39	0.2653	0.72	0.1437	1.60	0.0647	3.40	0.0304
0.14	0.3895	0.40	0.2587	0.74	0.1398	1.65	0.0627	3.50	0.0296
0.15	0.3895	0.41	0.2524	0.76	0.1361	1.70	0.0609	3.60	0.0287
0.16	0.3895	0.42	0.2464	0.78	0.1327	1.75	0.0591	3.70	0.0280
0.17	0.3895	0.43	0.2406	0.80	0.1293	1.80	0.0575	3.80	0.0272
0.18	0.3895	0.44	0.2352	0.82	0.1262	1.85	0.0559	3.90	0.0265
0.19	0.3895	0.45	0.2299	0.84	0.1232	1.90	0.0545	4.00	0.0259
0.20	0.3895	0.46	0.2249	0.86	0.1203	1.95	0.0531		
0.21	0.3895	0.47	0.2201	0.88	0.1176	2.00	0.0517		
0.22	0.3895	0.48	0.2156	0.90	0.1150	2.05	0.0505		
0.23	0.3895	0.49	0.2112	0.92	0.1125	2.10	0.0493		
0.24	0.3895	0.50	0.2069	0.94	0.1101	2.15	0.0481		
0.25	0.3895	0.51	0.2029	0.96	0.1078	2.20	0.0470		

CONFRONTO TRA GLI SPETTRI SLO



RISULTATI DELLA MODELLAZIONE DI LIVELLO 3 PER SLD



Funzione di amplificazione per SLD

Fattori di amplificazione

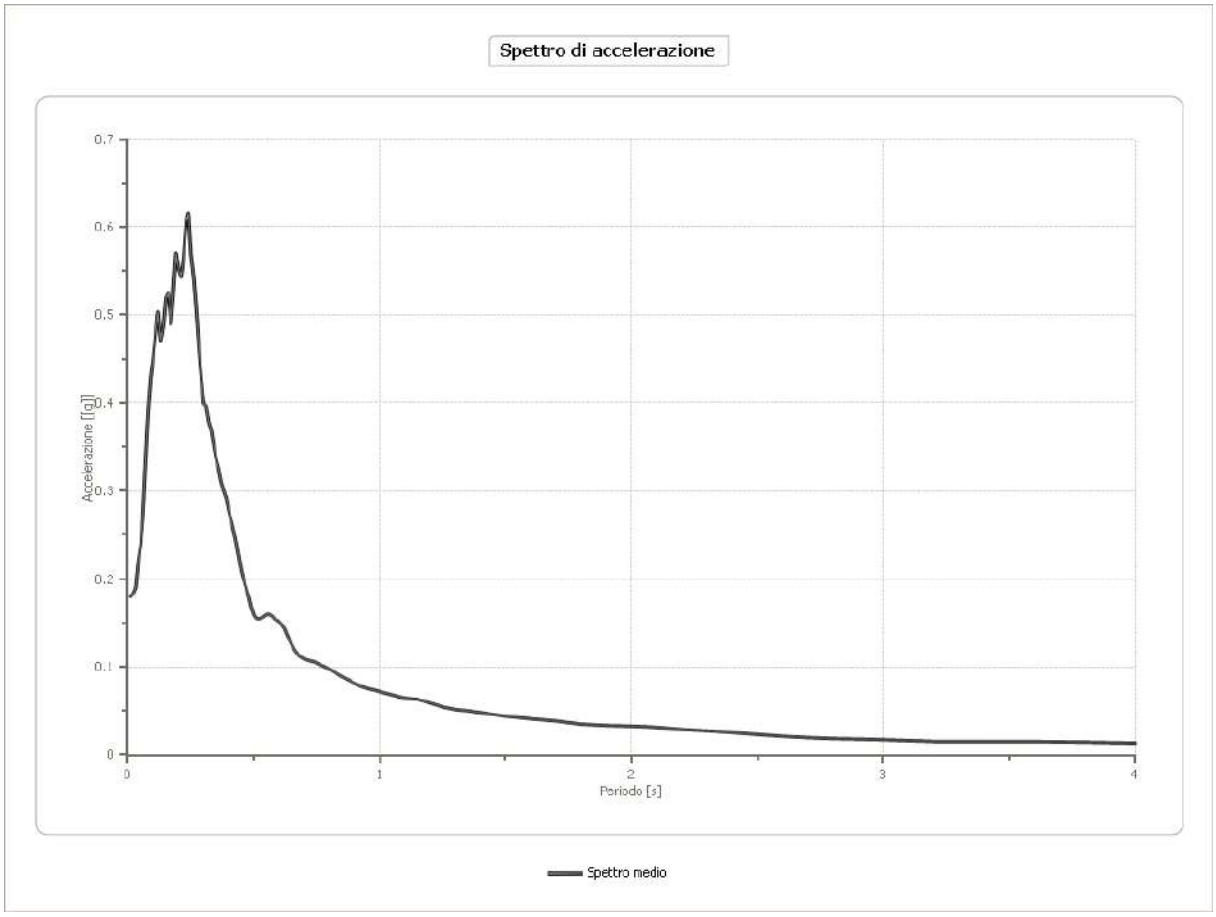
Tai	0.240 [s]
Tvi	3.800 [s]
Tao	0.240 [s]
Tvo	0.240 [s]
Sami	2.225 [m/s²]
Svmi	0.121 [m/s]
Samo	4.755 [m/s²]
Svmo	0.201 [m/s]
Fa	**2.137 [-]**
Fv	**1.661 [-]**
TB	0.089 [s]
TC	0.266 [s]
TD	1.964 [s]
SA(0)	0.194 [g]
SA(TB)	0.485 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.035	0.067	0.200	1.914
0.400	0.800	0.044	0.061	0.500	1.390
0.700	1.100	0.044	0.056	0.636	1.254

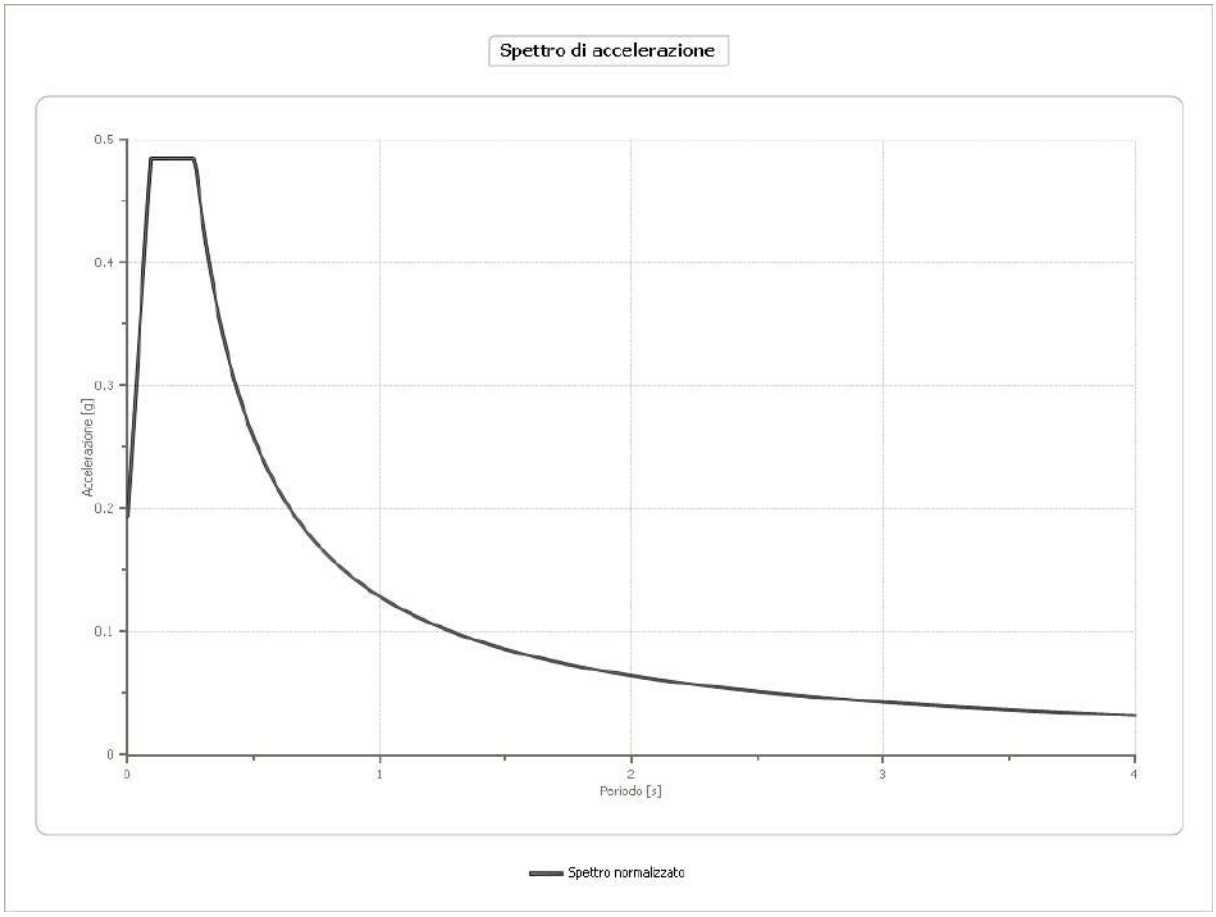
Spettro medio SLD

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.1802	0.27	0.5092	0.53	0.1555	1.00	0.0719	2.30	0.0274
0.02	0.1834	0.28	0.4668	0.54	0.1573	1.05	0.0681	2.35	0.0264
0.03	0.1904	0.29	0.4291	0.55	0.1594	1.10	0.0644	2.40	0.0254
0.04	0.2198	0.30	0.3996	0.56	0.1597	1.15	0.0632	2.50	0.0233
0.05	0.2380	0.31	0.3964	0.57	0.1581	1.20	0.0590	2.60	0.0212
0.06	0.2750	0.32	0.3786	0.58	0.1549	1.25	0.0544	2.70	0.0197
0.07	0.3351	0.33	0.3691	0.60	0.1515	1.30	0.0515	2.80	0.0186
0.08	0.3923	0.34	0.3517	0.62	0.1442	1.35	0.0502	2.90	0.0180
0.09	0.4299	0.35	0.3358	0.64	0.1309	1.40	0.0482	3.00	0.0173
0.10	0.4514	0.36	0.3249	0.66	0.1200	1.45	0.0459	3.10	0.0163
0.11	0.4810	0.37	0.3100	0.68	0.1123	1.50	0.0440	3.20	0.0155
0.12	0.5034	0.38	0.3002	0.70	0.1089	1.55	0.0425	3.30	0.0153
0.13	0.4701	0.39	0.2918	0.72	0.1073	1.60	0.0410	3.40	0.0153
0.14	0.4876	0.40	0.2775	0.74	0.1059	1.65	0.0398	3.50	0.0154
0.15	0.5192	0.41	0.2660	0.76	0.1028	1.70	0.0386	3.60	0.0153
0.16	0.5253	0.42	0.2539	0.78	0.1004	1.75	0.0367	3.70	0.0150
0.17	0.4897	0.43	0.2403	0.80	0.0974	1.80	0.0350	3.80	0.0146
0.18	0.5258	0.44	0.2245	0.82	0.0938	1.85	0.0342	3.90	0.0141
0.19	0.5700	0.45	0.2087	0.84	0.0907	1.90	0.0335	4.00	0.0136
0.20	0.5525	0.46	0.1981	0.86	0.0875	1.95	0.0331		
0.21	0.5433	0.47	0.1885	0.88	0.0846	2.00	0.0327		
0.22	0.5641	0.48	0.1795	0.90	0.0813	2.05	0.0321		
0.23	0.6059	0.49	0.1677	0.92	0.0782	2.10	0.0313		
0.24	0.6158	0.50	0.1589	0.94	0.0762	2.15	0.0302		
0.25	0.5688	0.51	0.1549	0.96	0.0749	2.20	0.0290		
0.26	0.5443	0.52	0.1548	0.98	0.0735	2.25	0.0281		

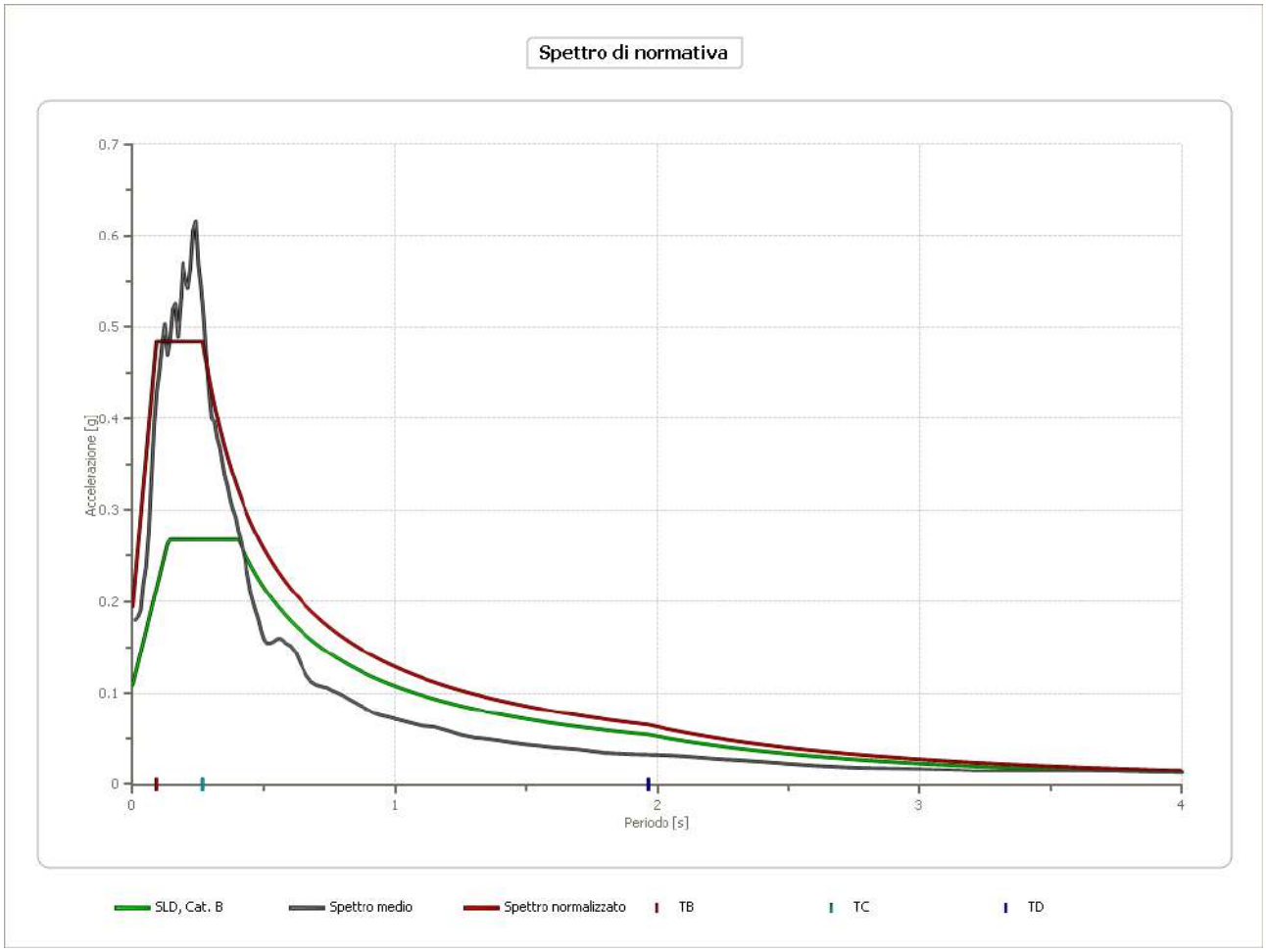

Spettro di accelerazione
Accelerazione [g]
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
1
2
3
4
Periodo [s]
Spettro medio

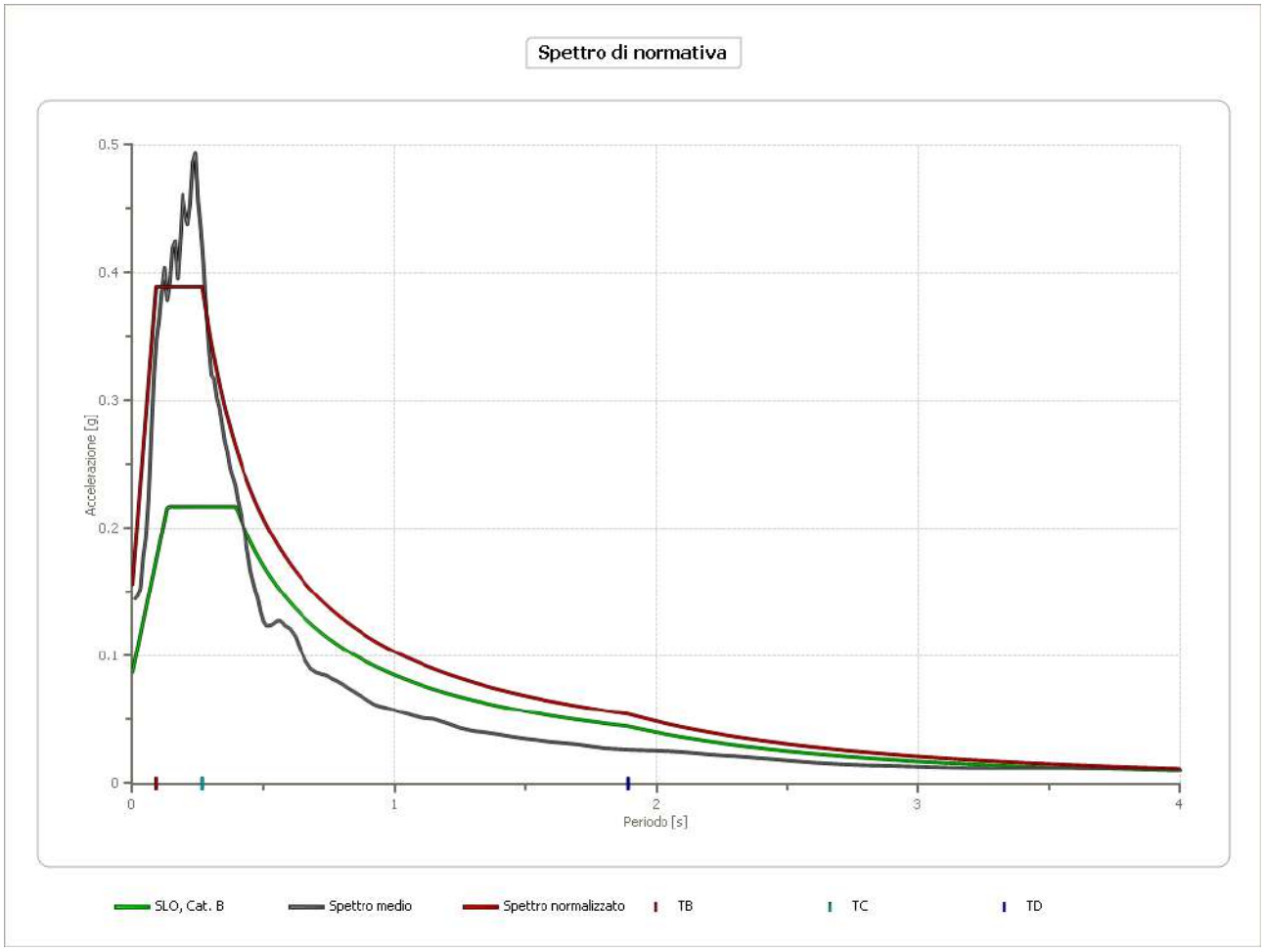
Spettro normalizzato SLD

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.1945	0.26	0.4847	0.52	0.2477	0.98	0.1314	2.25	0.0572
0.01	0.2273	0.27	0.4770	0.53	0.2430	1.00	0.1288	2.30	0.0560
0.02	0.2600	0.28	0.4599	0.54	0.2385	1.05	0.1226	2.35	0.0548
0.03	0.2928	0.29	0.4441	0.55	0.2341	1.10	0.1171	2.40	0.0537
0.04	0.3256	0.30	0.4293	0.56	0.2300	1.15	0.1120	2.50	0.0515
0.05	0.3583	0.31	0.4154	0.57	0.2259	1.20	0.1073	2.60	0.0495
0.06	0.3911	0.32	0.4024	0.58	0.2220	1.25	0.1030	2.70	0.0477
0.07	0.4239	0.33	0.3902	0.60	0.2146	1.30	0.0991	2.80	0.0460
0.08	0.4566	0.34	0.3788	0.62	0.2077	1.35	0.0954	2.90	0.0444
0.09	0.4847	0.35	0.3679	0.64	0.2012	1.40	0.0920	3.00	0.0429
0.10	0.4847	0.36	0.3577	0.66	0.1951	1.45	0.0888	3.10	0.0415
0.11	0.4847	0.37	0.3481	0.68	0.1894	1.50	0.0859	3.20	0.0402
0.12	0.4847	0.38	0.3389	0.70	0.1840	1.55	0.0831	3.30	0.0390
0.13	0.4847	0.39	0.3302	0.72	0.1789	1.60	0.0805	3.40	0.0379
0.14	0.4847	0.40	0.3220	0.74	0.1740	1.65	0.0780	3.50	0.0368
0.15	0.4847	0.41	0.3141	0.76	0.1694	1.70	0.0758	3.60	0.0358
0.16	0.4847	0.42	0.3066	0.78	0.1651	1.75	0.0736	3.70	0.0348
0.17	0.4847	0.43	0.2995	0.80	0.1610	1.80	0.0715	3.80	0.0339
0.18	0.4847	0.44	0.2927	0.82	0.1571	1.85	0.0696	3.90	0.0330
0.19	0.4847	0.45	0.2862	0.84	0.1533	1.90	0.0678	4.00	0.0322
0.20	0.4847	0.46	0.2800	0.86	0.1497	1.95	0.0660		
0.21	0.4847	0.47	0.2740	0.88	0.1463	2.00	0.0644		
0.22	0.4847	0.48	0.2683	0.90	0.1431	2.05	0.0628		
0.23	0.4847	0.49	0.2628	0.92	0.1400	2.10	0.0613		
0.24	0.4847	0.50	0.2576	0.94	0.1370	2.15	0.0599		
0.25	0.4847	0.51	0.2525	0.96	0.1341	2.20	0.0585		

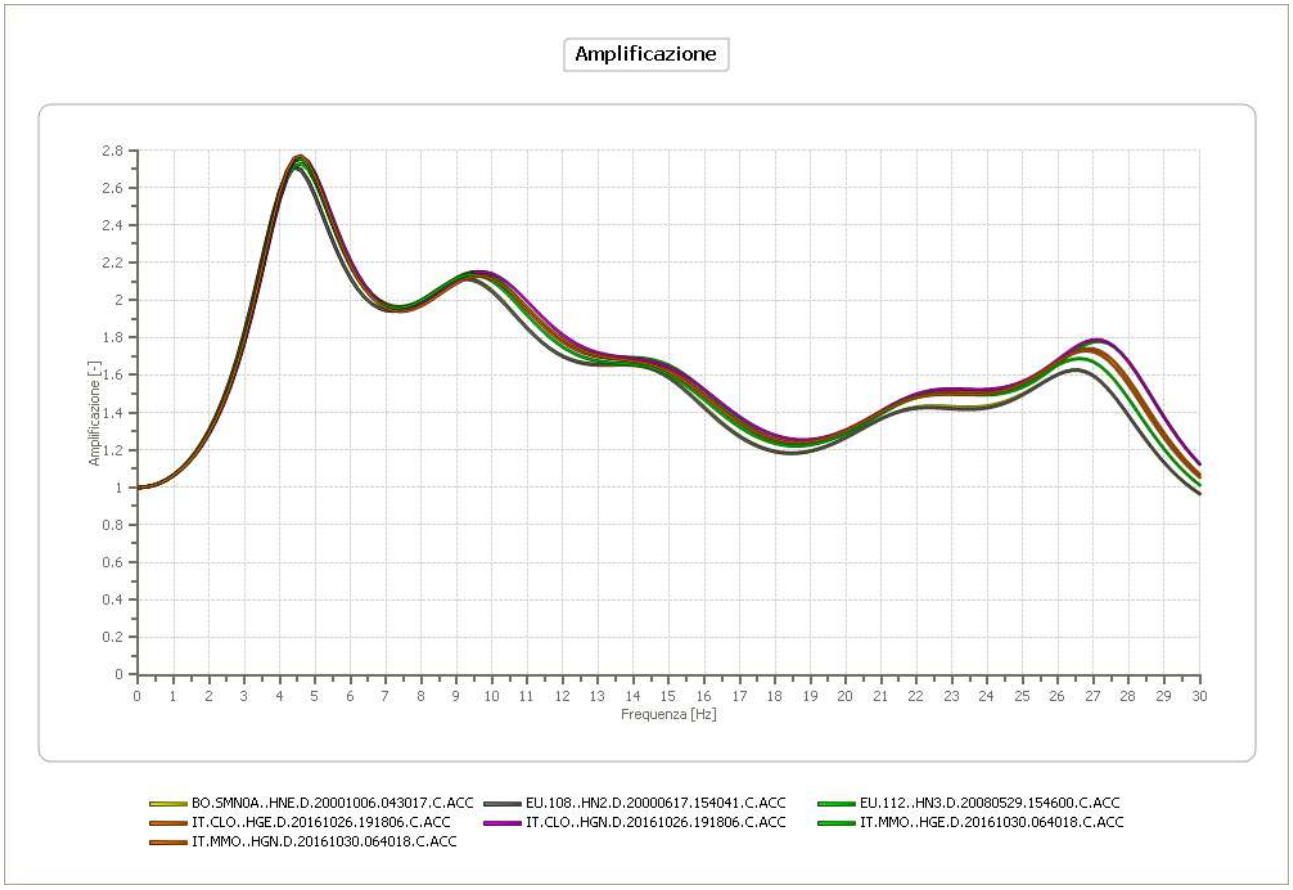

Spettro di accelerazione
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Accelerazione [g]
0
1
2
3
4
Periodo [s]
Spettro normalizzato

CONFRONTO TRA GLI SPETTRI SLD




Spettro di normativa
Accelerazione [g]
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
1
2
3
4
Periodo [s]
SLO, Cat. B
Spettro medio
Spettro normalizzato
TB
TC
TD

RISULTATI DELLA MODELLAZIONE DI LIVELLO 3 PER SLV



Funzione di amplificazione per SLV

Fattori di amplificazione

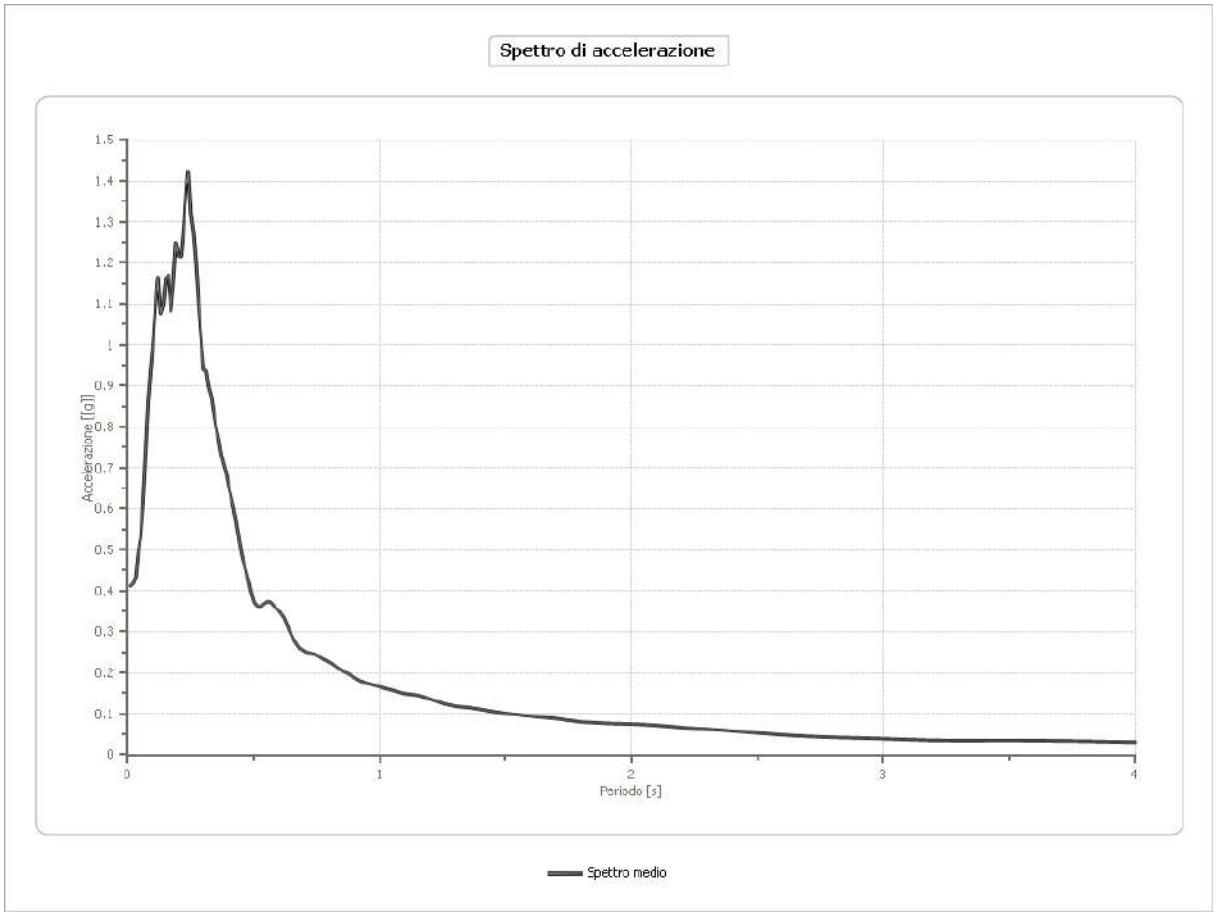
Tai	0.240 [s]
Tvi	3.800 [s]
Tao	0.240 [s]
Tvo	0.260 [s]
Sami	5.110 [m/s²]
Svmi	0.278 [m/s]
Samo	10.896 [m/s²]
Svmo	0.475 [m/s]
Fa	**2.132 [-]**
Fv	**1.710 [-]**
TB	0.091 [s]
TC	0.274 [s]
TD	2.436 [s]
SA(0)	0.446 [g]
SA(TB)	1.111 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.080	0.155	0.200	1.930
0.400	0.800	0.100	0.142	0.500	1.412
0.700	1.100	0.102	0.129	0.636	1.266

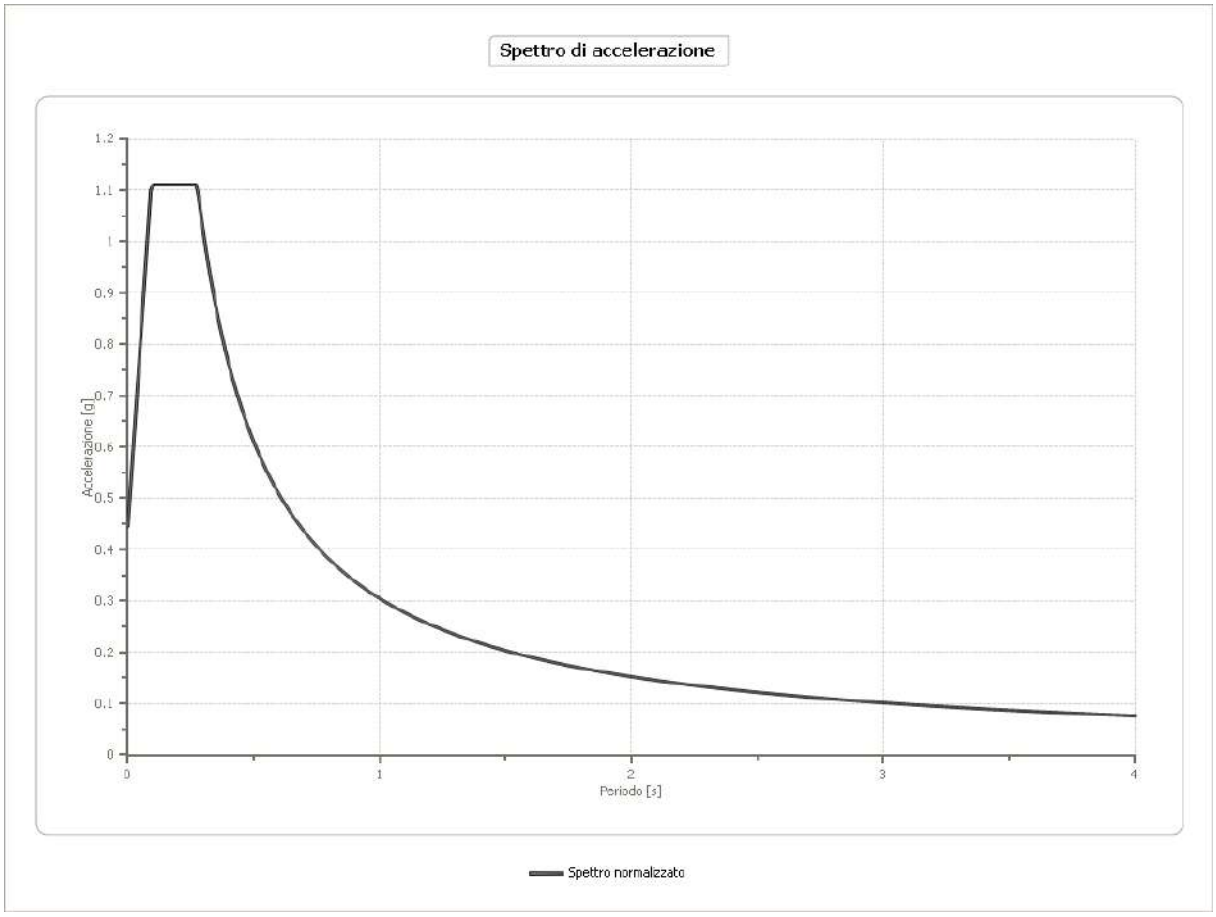
Spettro medio SLV

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.4126	0.27	1.1959	0.53	0.3633	1.00	0.1660	2.30	0.0630
0.02	0.4187	0.28	1.0984	0.54	0.3680	1.05	0.1575	2.35	0.0607
0.03	0.4320	0.29	1.0110	0.55	0.3730	1.10	0.1491	2.40	0.0585
0.04	0.4938	0.30	0.9401	0.56	0.3740	1.15	0.1456	2.50	0.0536
0.05	0.5312	0.31	0.9367	0.57	0.3701	1.20	0.1362	2.60	0.0488
0.06	0.6136	0.32	0.8966	0.58	0.3624	1.25	0.1257	2.70	0.0454
0.07	0.7353	0.33	0.8751	0.60	0.3514	1.30	0.1186	2.80	0.0428
0.08	0.8635	0.34	0.8334	0.62	0.3347	1.35	0.1157	2.90	0.0414
0.09	0.9410	0.35	0.7964	0.64	0.3038	1.40	0.1110	3.00	0.0397
0.10	1.0116	0.36	0.7689	0.66	0.2787	1.45	0.1059	3.10	0.0376
0.11	1.1052	0.37	0.7325	0.68	0.2610	1.50	0.1012	3.20	0.0356
0.12	1.1646	0.38	0.7089	0.70	0.2528	1.55	0.0979	3.30	0.0352
0.13	1.0767	0.39	0.6873	0.72	0.2488	1.60	0.0944	3.40	0.0353
0.14	1.0963	0.40	0.6540	0.74	0.2458	1.65	0.0916	3.50	0.0354
0.15	1.1610	0.41	0.6279	0.76	0.2386	1.70	0.0887	3.60	0.0351
0.16	1.1706	0.42	0.6001	0.78	0.2329	1.75	0.0844	3.70	0.0345
0.17	1.0828	0.43	0.5662	0.80	0.2261	1.80	0.0803	3.80	0.0337
0.18	1.1528	0.44	0.5289	0.82	0.2178	1.85	0.0787	3.90	0.0325
0.19	1.2498	0.45	0.4926	0.84	0.2104	1.90	0.0769	4.00	0.0312
0.20	1.2176	0.46	0.4665	0.86	0.2024	1.95	0.0760		
0.21	1.2161	0.47	0.4442	0.88	0.1959	2.00	0.0751		
0.22	1.2824	0.48	0.4224	0.90	0.1883	2.05	0.0739		
0.23	1.3854	0.49	0.3951	0.92	0.1809	2.10	0.0720		
0.24	1.4220	0.50	0.3736	0.94	0.1762	2.15	0.0694		
0.25	1.3195	0.51	0.3645	0.96	0.1731	2.20	0.0667		
0.26	1.2736	0.52	0.3619	0.98	0.1698	2.25	0.0645		

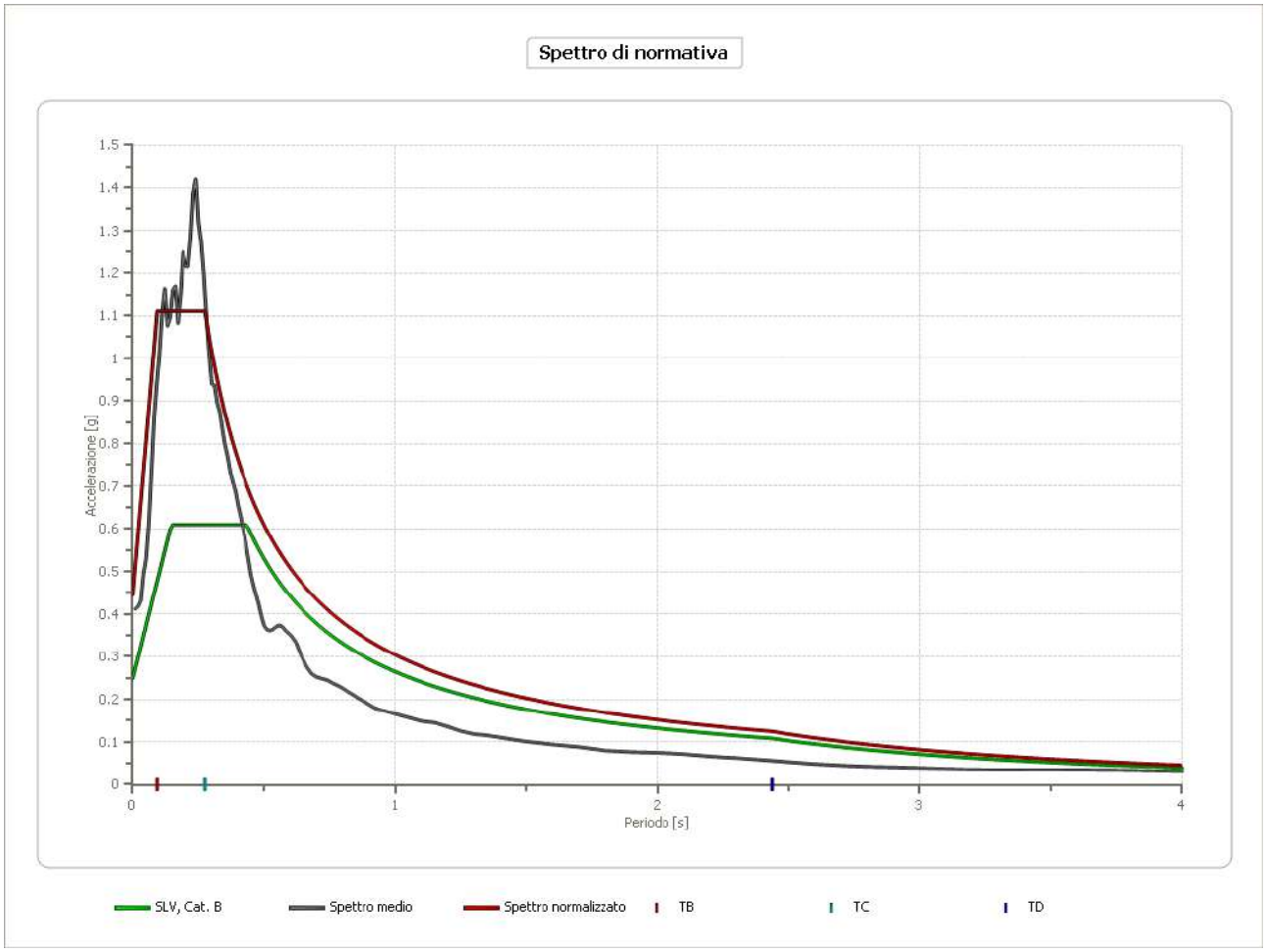

Spettro di accelerazione
Accelerazione [(g)]
Periodo [s]
Spettro medio

Spettro normalizzato SLV

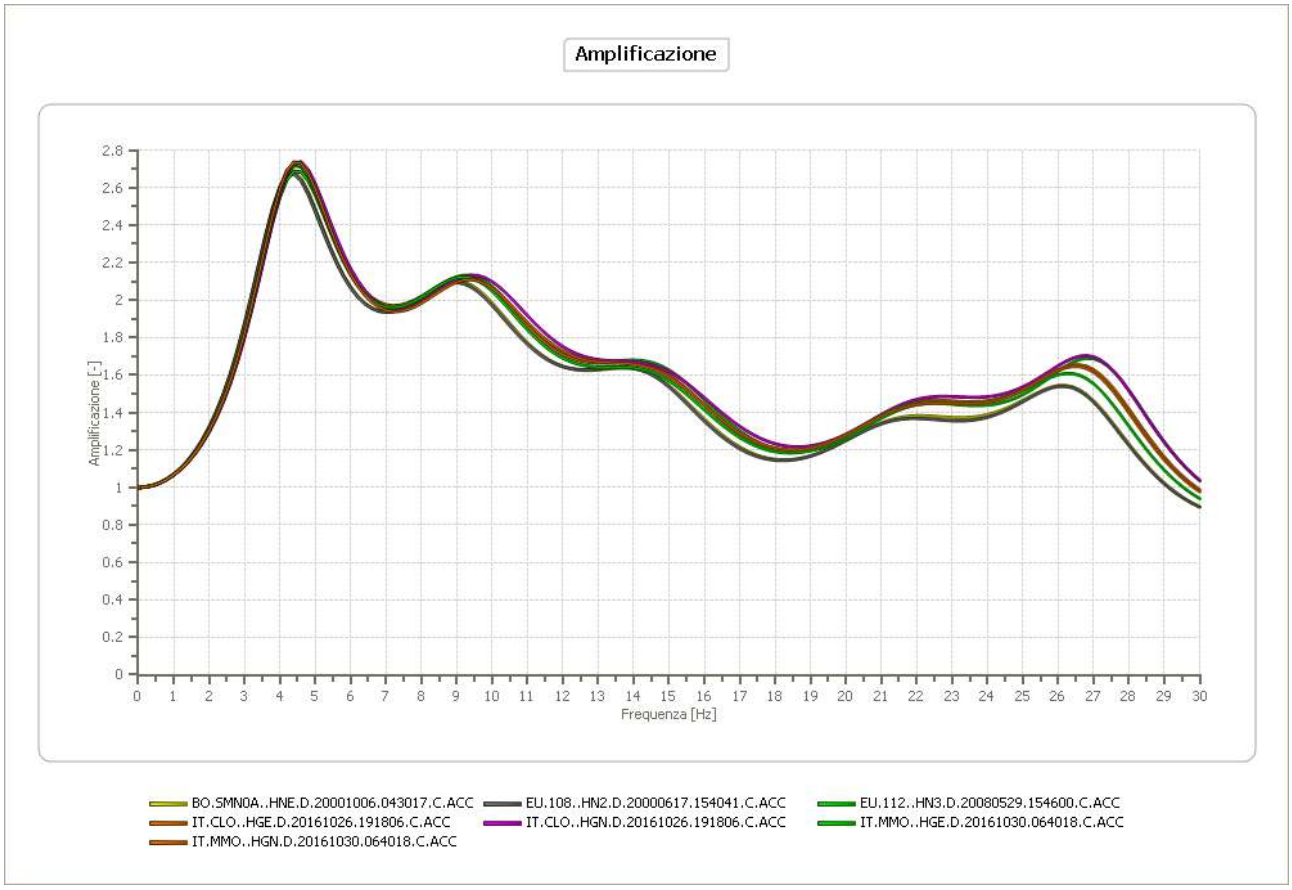
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.4457	0.26	1.1107	0.52	0.5856	0.98	0.3107	2.25	0.1353
0.01	0.5184	0.27	1.1107	0.53	0.5746	1.00	0.3045	2.30	0.1324
0.02	0.5912	0.28	1.0876	0.54	0.5639	1.05	0.2900	2.35	0.1296
0.03	0.6640	0.29	1.0501	0.55	0.5537	1.10	0.2768	2.40	0.1269
0.04	0.7367	0.30	1.0151	0.56	0.5438	1.15	0.2648	2.50	0.1218
0.05	0.8095	0.31	0.9824	0.57	0.5343	1.20	0.2538	2.60	0.1171
0.06	0.8822	0.32	0.9517	0.58	0.5251	1.25	0.2436	2.70	0.1128
0.07	0.9550	0.33	0.9228	0.60	0.5075	1.30	0.2343	2.80	0.1088
0.08	1.0278	0.34	0.8957	0.62	0.4912	1.35	0.2256	2.90	0.1050
0.09	1.1005	0.35	0.8701	0.64	0.4758	1.40	0.2175	3.00	0.1015
0.10	1.1107	0.36	0.8459	0.66	0.4614	1.45	0.2100	3.10	0.0982
0.11	1.1107	0.37	0.8231	0.68	0.4478	1.50	0.2030	3.20	0.0952
0.12	1.1107	0.38	0.8014	0.70	0.4350	1.55	0.1965	3.30	0.0923
0.13	1.1107	0.39	0.7808	0.72	0.4230	1.60	0.1903	3.40	0.0896
0.14	1.1107	0.40	0.7613	0.74	0.4115	1.65	0.1846	3.50	0.0870
0.15	1.1107	0.41	0.7428	0.76	0.4007	1.70	0.1791	3.60	0.0846
0.16	1.1107	0.42	0.7251	0.78	0.3904	1.75	0.1740	3.70	0.0823
0.17	1.1107	0.43	0.7082	0.80	0.3807	1.80	0.1692	3.80	0.0801
0.18	1.1107	0.44	0.6921	0.82	0.3714	1.85	0.1646	3.90	0.0781
0.19	1.1107	0.45	0.6767	0.84	0.3625	1.90	0.1603	4.00	0.0761
0.20	1.1107	0.46	0.6620	0.86	0.3541	1.95	0.1562		
0.21	1.1107	0.47	0.6479	0.88	0.3461	2.00	0.1523		
0.22	1.1107	0.48	0.6344	0.90	0.3384	2.05	0.1486		
0.23	1.1107	0.49	0.6215	0.92	0.3310	2.10	0.1450		
0.24	1.1107	0.50	0.6091	0.94	0.3240	2.15	0.1416		
0.25	1.1107	0.51	0.5971	0.96	0.3172	2.20	0.1384		


Spettro di accelerazione
Accelerazione [g]
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
0
1
2
3
4
Periodo [s]
Spettro normalizzato

CONFRONTO TRA GLI SPETTRI



RISULTATI DELLA MODELLAZIONE DI LIVELLO 3 PER SLC



Funzione di amplificazione per SLC

Fattori di amplificazione

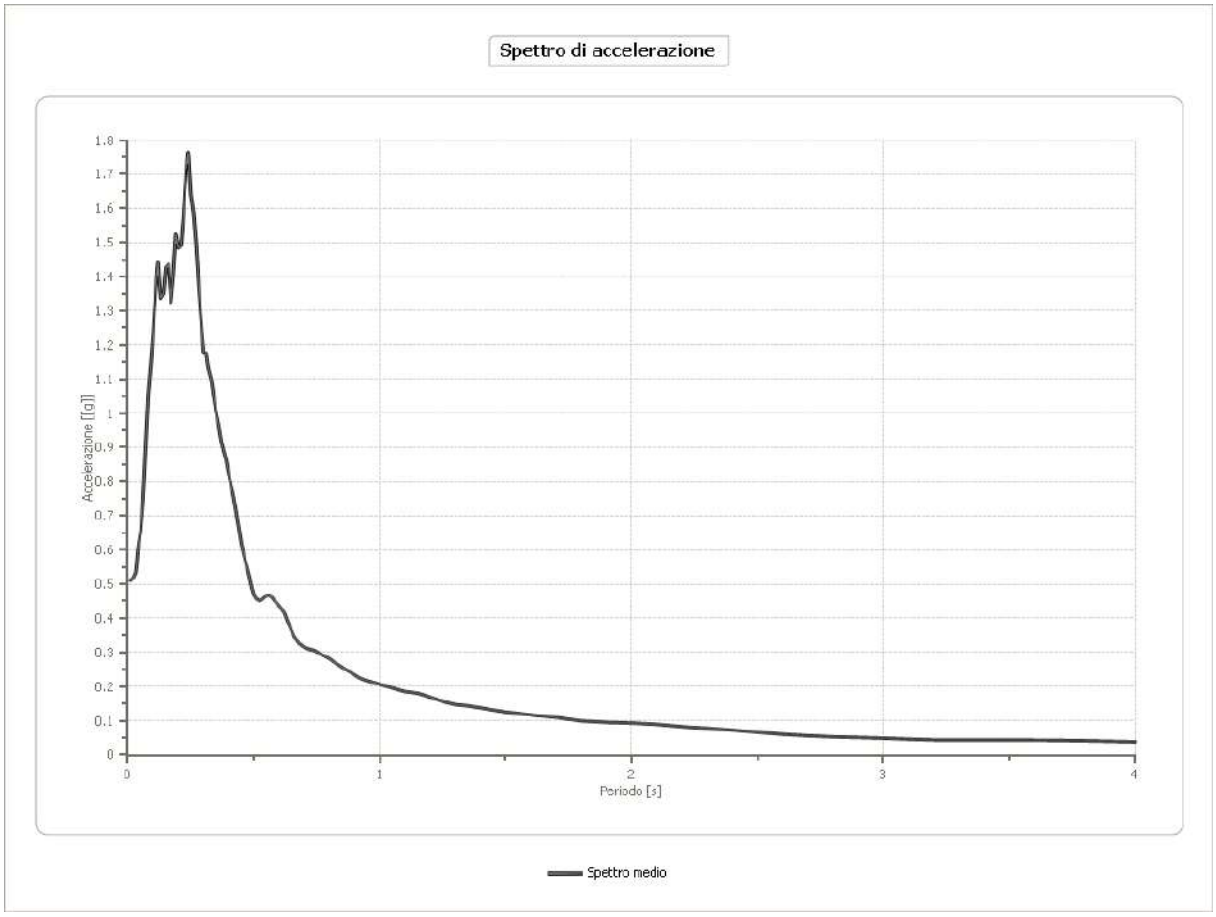
Tai	0.240 [s]
Tvi	3.800 [s]
Tao	0.240 [s]
Tvo	0.260 [s]
Sami	6.332 [m/s²]
Svmi	0.345 [m/s]
Samo	13.502 [m/s²]
Svmo	0.591 [m/s]
Fa	**2.132 [-]**
Fv	**1.714 [-]**
TB	0.092 [s]
TC	0.275 [s]
TD	2.636 [s]
SA(0)	0.552 [g]
SA(TB)	1.376 [g]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.500	0.100	0.193	0.200	1.939
0.400	0.800	0.124	0.177	0.500	1.422
0.700	1.100	0.126	0.161	0.636	1.271

Spettro medio SLC

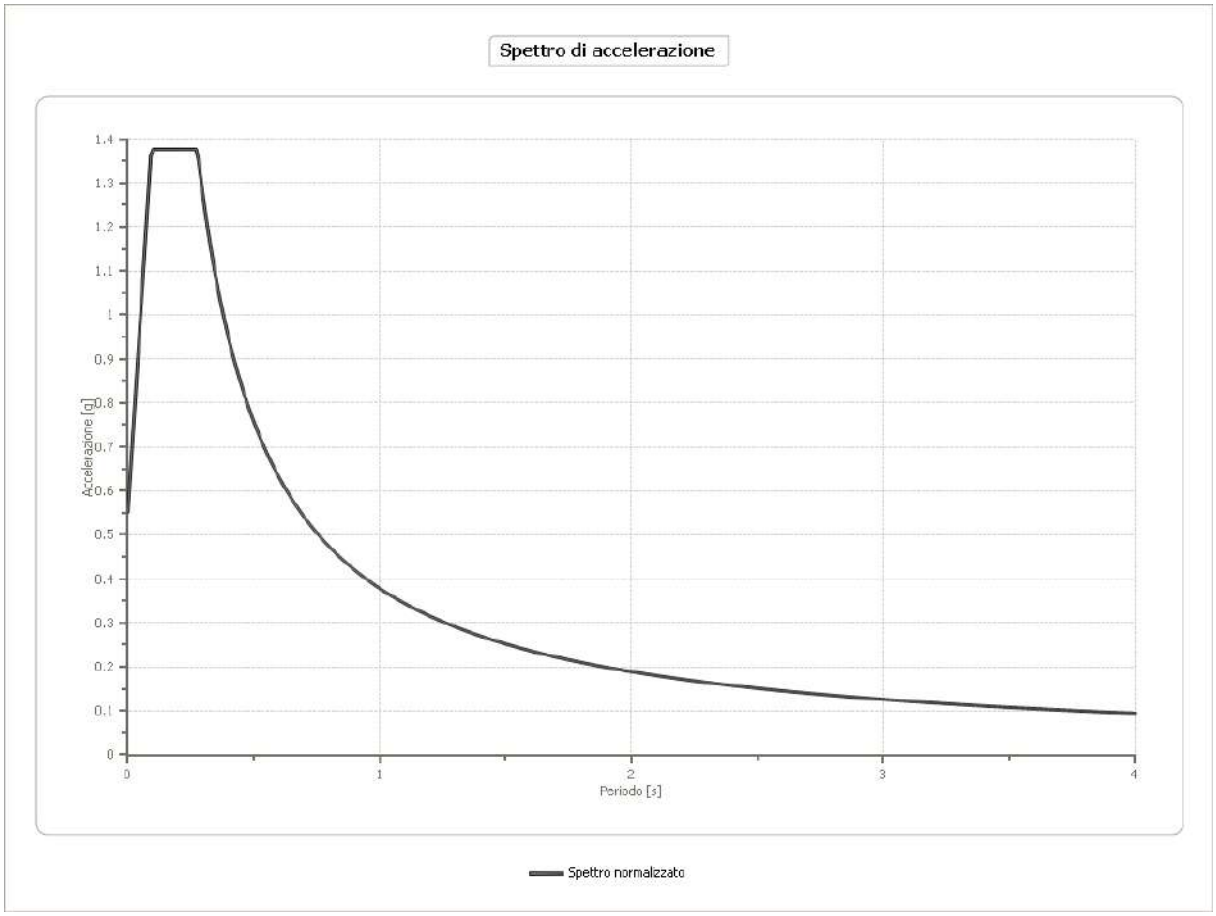
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.01	0.5107	0.27	1.4956	0.53	0.4538	1.00	0.2063	2.30	0.0781
0.02	0.5180	0.28	1.3740	0.54	0.4599	1.05	0.1958	2.35	0.0752
0.03	0.5343	0.29	1.2667	0.55	0.4662	1.10	0.1854	2.40	0.0725
0.04	0.6094	0.30	1.1778	0.56	0.4674	1.15	0.1808	2.50	0.0664
0.05	0.6549	0.31	1.1759	0.57	0.4624	1.20	0.1692	2.60	0.0606
0.06	0.7483	0.32	1.1262	0.58	0.4528	1.25	0.1561	2.70	0.0563
0.07	0.9000	0.33	1.0994	0.60	0.4374	1.30	0.1472	2.80	0.0531
0.08	1.0536	0.34	1.0474	0.62	0.4166	1.35	0.1436	2.90	0.0513
0.09	1.1425	0.35	1.0008	0.64	0.3783	1.40	0.1378	3.00	0.0492
0.10	1.2382	0.36	0.9660	0.66	0.3472	1.45	0.1314	3.10	0.0466
0.11	1.3672	0.37	0.9195	0.68	0.3252	1.50	0.1255	3.20	0.0442
0.12	1.4438	0.38	0.8898	0.70	0.3148	1.55	0.1214	3.30	0.0437
0.13	1.3363	0.39	0.8615	0.72	0.3097	1.60	0.1171	3.40	0.0437
0.14	1.3495	0.40	0.8201	0.74	0.3060	1.65	0.1136	3.50	0.0439
0.15	1.4273	0.41	0.7877	0.76	0.2972	1.70	0.1100	3.60	0.0436
0.16	1.4356	0.42	0.7533	0.78	0.2899	1.75	0.1046	3.70	0.0428
0.17	1.3247	0.43	0.7099	0.80	0.2816	1.80	0.0996	3.80	0.0418
0.18	1.4064	0.44	0.6628	0.82	0.2711	1.85	0.0976	3.90	0.0403
0.19	1.5243	0.45	0.6176	0.84	0.2618	1.90	0.0954	4.00	0.0387
0.20	1.4835	0.46	0.5848	0.86	0.2517	1.95	0.0943		
0.21	1.4914	0.47	0.5569	0.88	0.2437	2.00	0.0932		
0.22	1.5813	0.48	0.5292	0.90	0.2342	2.05	0.0916		
0.23	1.7121	0.49	0.4953	0.92	0.2250	2.10	0.0893		
0.24	1.7646	0.50	0.4678	0.94	0.2190	2.15	0.0861		
0.25	1.6399	0.51	0.4566	0.96	0.2153	2.20	0.0828		
0.26	1.5887	0.52	0.4522	0.98	0.2111	2.25	0.0800		



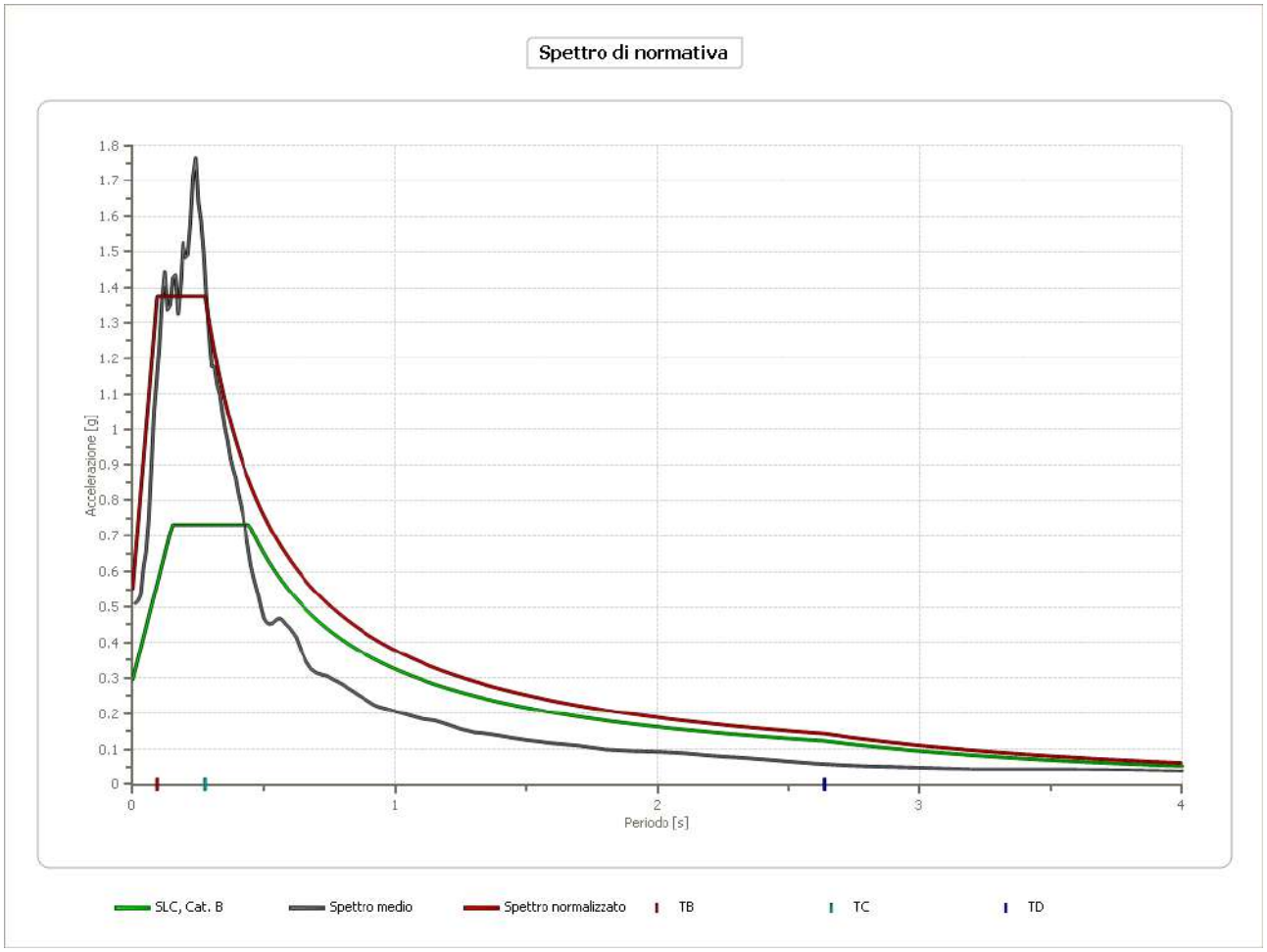
Spettro normalizzato SLC

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.5523	0.26	1.3764	0.52	0.7274	0.98	0.3860	2.25	0.1681
0.01	0.6423	0.27	1.3764	0.53	0.7137	1.00	0.3782	2.30	0.1645
0.02	0.7322	0.28	1.3508	0.54	0.7004	1.05	0.3602	2.35	0.1610
0.03	0.8222	0.29	1.3043	0.55	0.6877	1.10	0.3439	2.40	0.1576
0.04	0.9122	0.30	1.2608	0.56	0.6754	1.15	0.3289	2.50	0.1513
0.05	1.0021	0.31	1.2201	0.57	0.6636	1.20	0.3152	2.60	0.1455
0.06	1.0921	0.32	1.1820	0.58	0.6521	1.25	0.3026	2.70	0.1401
0.07	1.1821	0.33	1.1462	0.60	0.6304	1.30	0.2910	2.80	0.1351
0.08	1.2720	0.34	1.1125	0.62	0.6101	1.35	0.2802	2.90	0.1304
0.09	1.3620	0.35	1.0807	0.64	0.5910	1.40	0.2702	3.00	0.1261
0.10	1.3764	0.36	1.0507	0.66	0.5731	1.45	0.2609	3.10	0.1220
0.11	1.3764	0.37	1.0223	0.68	0.5562	1.50	0.2522	3.20	0.1182
0.12	1.3764	0.38	0.9954	0.70	0.5403	1.55	0.2440	3.30	0.1146
0.13	1.3764	0.39	0.9698	0.72	0.5253	1.60	0.2364	3.40	0.1112
0.14	1.3764	0.40	0.9456	0.74	0.5111	1.65	0.2292	3.50	0.1081
0.15	1.3764	0.41	0.9225	0.76	0.4977	1.70	0.2225	3.60	0.1051
0.16	1.3764	0.42	0.9006	0.78	0.4849	1.75	0.2161	3.70	0.1022
0.17	1.3764	0.43	0.8796	0.80	0.4728	1.80	0.2101	3.80	0.0995
0.18	1.3764	0.44	0.8596	0.82	0.4613	1.85	0.2045	3.90	0.0970
0.19	1.3764	0.45	0.8405	0.84	0.4503	1.90	0.1991	4.00	0.0946
0.20	1.3764	0.46	0.8223	0.86	0.4398	1.95	0.1940		

0.21	1.3764	0.47	0.8048	0.88	0.4298	2.00	0.1891		
0.22	1.3764	0.48	0.7880	0.90	0.4203	2.05	0.1845		
0.23	1.3764	0.49	0.7719	0.92	0.4111	2.10	0.1801		
0.24	1.3764	0.50	0.7565	0.94	0.4024	2.15	0.1759		
0.25	1.3764	0.51	0.7416	0.96	0.3940	2.20	0.1719		



CONFRONTO TRA GLI SPETTRI



CONCLUSIONI

Il risultato della modellazione numerica mette in evidenza che gli spettri di risposta sismica elastici medi relativi ad ogni stato limite, risultano essere superiori rispetto ad uno spettro B di normativa per valori di periodo della struttura inferiori a circa 0.4 secondi. **I valori di pseudoaccelerazione più alti, in tutti gli spettri medi RSL corrispondono a periodi della struttura dell'ordine dei 0.2 s (frequenza di risonanza della struttura di circa 5 Hz).**
I parametri progettuali forniti dal progettista sui quali si è effettuato la modellazione risultano:

- Classe d'uso III;
- Coefficiente d'uso 1.5;
- Vita nominale 50 anni;

Non avendo la possibilità di utilizzare curve di decadimento provenienti da specifiche analisi locali, vengono utilizzate delle curve che, **in base ai dati geotecnici disponibili**, possono essere ritenute "indicative" rispetto alle proprietà reali dei terreni in questione.

Non conoscendo il coefficiente di struttura q, **vengono forniti, per ogni stato limite analizzato (SLO, SLD, SLV e SLC), gli spettri "elastici" e non quelli "plastici" di progetto (per SLV e SLC).** E' stato considerato quindi uno smorzamento del 5%, relativo, per convenzione, allo spettro elastico.

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

METODI SEMPLIFICATI PER LA VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Metodo dell'Eurocodice 8 (ENV 1998-5)

Le indicazioni della normativa europea sono contenute al punto 4.1.3 a cui si aggiungono ulteriori indicazioni che si possono trovare nell'appendice B della parte 5 dell'Eurocodice 8 (ENV 1998-5).

Secondo tale normativa si può escludere pericolo di liquefazione per i terreni sabbiosi saturi che si trovano a profondità di 15 m o quando $a_g < 0,15$ e, contemporaneamente, il terreno soddisfi almeno una delle seguenti condizioni:

- contenuto in argilla superiore al 20%, con indice di plasticità > 10;
- contenuto di limo superiore al 10% e resistenza $N_{1,60} > 20$
- frazione fine trascurabile e resistenza $N_{1,60} > 25$

Quando nessuna delle precedenti condizioni è soddisfatta, *la suscettibilità a liquefazione deve essere verificata come minimo mediante i metodi generalmente accettati dall'ingegneria geotecnica, basati su correlazioni di campagna tra misure in situ e valori critici dello sforzo ciclico di taglio che hanno causato liquefazione durante terremoti passati.*

Lo sforzo ciclico di taglio **CSR** viene valutato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0,65 \frac{a_g}{g} S \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \frac{r_d}{MSF} \qquad (8.0)$$

dove **S** è il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Tabella 1- *Coefficienti di profilo stratigrafico*

Categoria suolo	Spettri di Tipo 1 *S (M > 5,5)*	Spettri di Tipo 2 *S (M ≤ 5,5)*
A	1,00	1,00
B	1,20	1,35
C	1,15	1,50
D	1,35	1,80
E	1,40	1,60

Il fattore di correzione della magnitudo **MSF** consigliato dalla normativa è quello di **Ambraseys** (Tabella 2).

Tabella 2- *Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori*

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. *(1982)*	Ambraseys N.N *(1988).*	NCEER (Seed R. B. et alii) *(1997; 2003)*
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84

8,5	0,89	0,44	0,73

Nel caso vengano utilizzati dati provenienti da prove **SPT** la resistenza alla liquefazione viene calcolata mediante la seguente relazione di **Blake**, 1997:

$$CRR = \frac{0{,}04844 - 0{,}004721\left(N_{1,60}\right)_{cs} + 0{,}0006136\left[\left(N_{1,60}\right)_{cs}\right]^2 - 0{,}00001673\left[\left(N_{1,60}\right)_{cs}\right]^3}{1 - 0{,}1248\left(N_{1,60}\right)_{cs} + 0{,}009578\left[\left(N_{1,60}\right)_{cs}\right]^2 - 0{,}0003285\left[\left(N_{1,60}\right)_{cs}\right]^3 + 0{,}000003714\left[\left(N_{1,60}\right)_{cs}\right]^4} \qquad (8.1)$$

Il valore di $N_{1,60}$ misurato in sabbie limose può essere trasformato in una resistenza equivalente $(N_{1,60})_{cs}$ dove con "cs" si indica "sabbie pulite". Tale valore viene valutato con il metodo proposto da **Youd e Idriss** *(1997)* e raccomandato dal **NCEER**:

$$\left(N_{1,60}\right)_{cs} = \alpha + \beta\, N_{1,60} \qquad (8.2)$$

dove $\mathbf{N_{1,60}}$ è la normalizzazione dei valori misurati dell'indice $\mathbf{N_m}$ (ridotti del 25% per profondità < 3 m) nella prova **SPT** rispetto ad una pressione efficace di confinamento di 100 KPa ed a un valore del rapporto tra l'energia di impatto e l'energia teorica di caduta libera pari al 60%, cioè:

$$N_{1,60} = C_N\, C_E\, N_m \qquad (8.3a)$$

$$C_N = \left(\frac{100}{\sigma'_{vo}}\right)^{0,5} \qquad (8.3b)$$

$$C_E = \frac{ER}{60} \qquad (8.3c)$$

dove ER è pari al (rapporto dell'energia misurato rispetto al valore teorico) x 100 e dipende dal tipo di strumento utilizzato (Tabella 3).

Tabella 3- *Rendimenti dei sistemi di infissione*

Attrezzatura	C_E
Safety Hammer	0,7÷1,2
Donut Hammer (USA)	0,5÷1,0
Donut Hammer (Giappone)	1,1÷1,4
Automatico-Trip Hammer (Tipo Donut o Safety)	0,8÷1,4

I parametri α e β, invece, dipendono dalla frazione fine FC:

$\alpha = 0$	per $FC \leq 5\%$
$\alpha = \exp[1{,}76 - (190 / FC^2)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\alpha = 5$	per $FC > 35\%$
$\beta = 1{,}0$	per $FC \leq 5\%$
$\beta = [0{,}99 + (FC^{1,5} / 1000)]$	per $5\% < FC \leq 35\%$
$\beta = 1{,}2$	per $FC > 35\%$

Se invece si possiedono dati provenienti da una prova penetrometrica statica (**CPT**), i valori di resistenza alla punta misurati q_c devono essere normalizzati rispetto ad una pressione efficace di confinamento pari a 100 KPa e vanno calcolati tramite la seguente relazione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa}\left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}}\right)^n \tag{8.4}$$

Per poter tenere conto della eventuale presenza di fini, il software utilizza il metodo di Robertson e Wride. Poiché, come dimostrato, è possibile assumere:

$$\frac{(q_{c1N})_{cs}}{(N_{1,60})_{cs}} = 5 \tag{8.5}$$

come proposto dall'**EC8**, derivato $(N_{1,60})_{cs}$ dalla (5.3), si utilizza la (5.2) per il calcolo di **CRR**.
Quando invece si possiedono dati provenienti da prove sismiche di rifrazione, si calcola la velocità di propagazione normalizzata con la (4.9) e la resistenza alla liquefazione mediante la formula di Andrus e Stokoe (5.0):

DATI GENERALI

Data 19/01/2021
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA
Profondità falda idrica 1 m

DATI SIMICI
Accelerazione Bedrock 0.05

Tipo Suolo: R.S.L. - Sabbie fini mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i<=15°

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.5
Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1
Magnitudo momento sismico (Mw) 5.5
Distanza epicentro 1 Km
Peak ground acceleration (PGA) 0.075

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	LIMI ARGILLOSI	0	15	19.2	19.9	27	0	2900	195	320

Nr.	Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Correzione per la pressione litostatica efficace (CN)	Resistenza alla punta corretta qc1 (bar)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Probabilità di liquefazione (%)
1	1.20	23.180	21.219	1.700	49.300	0.991	0.108	0.016	6.735	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.098
2	1.40	27.160	23.237	1.700	49.300	0.989	0.108	0.017	6.295	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.120
3	1.60	31.140	25.256	1.700	49.300	0.988	0.108	0.018	5.968	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.142
4	1.80	35.120	27.275	1.700	49.300	0.986	0.108	0.019	5.714	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.162
5	2.00	39.100	29.293	1.700	49.300	0.985	0.108	0.020	5.512	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.181
6	2.20	43.080	31.312	1.700	49.300	0.983	0.108	0.020	5.348	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.199
7	2.40	47.060	33.331	1.700	49.300	0.982	0.108	0.021	5.211	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.216
8	2.60	51.040	35.349	1.682	48.776	0.980	0.107	0.021	5.044	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.239
9	2.80	55.020	37.368	1.636	47.440	0.979	0.104	0.022	4.819	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.275
10	3.00	59.000	39.387	1.593	46.209	0.977	0.102	0.022	4.623	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.313
11	3.20	62.980	41.405	1.554	45.068	0.976	0.099	0.022	4.449	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.352
12	3.40	66.960	43.424	1.518	44.008	0.974	0.097	0.023	4.296	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.392
13	3.60	70.940	45.443	1.483	43.020	0.972	0.095	0.023	4.159	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.434
14	3.80	74.920	47.461	1.452	42.095	0.971	0.094	0.023	4.035	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.476
15	4.00	78.900	49.480	1.422	41.227	0.969	0.092	0.023	3.924	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.519
16	4.20	82.880	51.499	1.393	40.411	0.968	0.090	0.024	3.822	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.562
17	4.40	86.860	53.517	1.367	39.642	0.966	0.089	0.024	3.730	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.606
18	4.60	90.840	55.536	1.342	38.914	0.965	0.088	0.024	3.645	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.651
19	4.80	94.820	57.555	1.318	38.226	0.963	0.086	0.024	3.568	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.696
20	5.00	98.800	59.573	1.296	37.573	0.962	0.085	0.024	3.496	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.740
21	5.20	102.780	61.592	1.274	36.952	0.960	0.084	0.025	3.429	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.785
22	5.40	106.760	63.611	1.254	36.361	0.959	0.083	0.025	3.368	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.830
23	5.60	110.740	65.629	1.234	35.797	0.957	0.082	0.025	3.311	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.875
24	5.80	114.720	67.648	1.216	35.259	0.956	0.081	0.025	3.257	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.920
25	6.00	118.700	69.667	1.198	34.744	0.954	0.080	0.025	3.207	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.965
26	6.20	122.680	71.685	1.181	34.252	0.953	0.079	0.025	3.160	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.009
27	6.40	126.660	73.704	1.165	33.779	0.951	0.079	0.025	3.117	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.054
28	6.60	130.640	75.723	1.149	33.326	0.950	0.078	0.025	3.075	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.098
29	6.80	134.620	77.741	1.134	32.891	0.948	0.077	0.025	3.036	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.141
30	7.00	138.600	79.760	1.120	32.472	0.946	0.077	0.026	3.000	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.185
31	7.20	142.580	81.779	1.106	32.068	0.945	0.076	0.026	2.965	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.228
32	7.40	146.560	83.797	1.092	31.680	0.943	0.075	0.026	2.932	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.270
33	7.60	150.540	85.816	1.079	31.305	0.942	0.075	0.026	2.901	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.312
34	7.80	154.520	87.835	1.067	30.943	0.940	0.074	0.026	2.871	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.354
35	8.00	158.500	89.853	1.055	30.594	0.939	0.074	0.026	2.843	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.396
36	8.20	162.480	91.872	1.043	30.256	0.937	0.073	0.026	2.817	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.436
37	8.40	166.460	93.891	1.032	29.929	0.936	0.073	0.026	2.791	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.477
38	8.60	170.440	95.909	1.021	29.612	0.934	0.072	0.026	2.767	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.517
39	8.80	174.420	97.928	1.011	29.305	0.933	0.072	0.026	2.744	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.556
40	9.00	178.400	99.947	1.000	29.008	0.931	0.071	0.026	2.721	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.595
41	9.20	182.380	101.966	0.990	28.719	0.928	0.071	0.026	2.700	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.634
42	9.40	186.360	103.984	0.981	28.439	0.923	0.071	0.026	2.680	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.672
43	9.60	190.340	106.003	0.971	28.167	0.918	0.070	0.026	2.660	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.710
44	9.80	194.320	108.022	0.962	27.902	0.912	0.070	0.026	2.642	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.747

45	10.00	198.300	110.040	0.953	27.645	0.907	0.069	0.026	2.624	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.784
46	10.20	202.280	112.059	0.945	27.395	0.902	0.069	0.027	2.606	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.820
47	10.40	206.260	114.078	0.936	27.152	0.896	0.069	0.027	2.590	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.855
48	10.60	210.240	116.096	0.928	26.915	0.891	0.069	0.027	2.574	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.891
49	10.80	214.220	118.115	0.920	26.684	0.886	0.068	0.027	2.558	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.926
50	11.00	218.200	120.134	0.912	26.459	0.880	0.068	0.027	2.544	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.960
51	11.20	222.180	122.152	0.905	26.239	0.875	0.068	0.027	2.529	Terreno non suscettibile di liquefazione	1.994
52	11.40	226.160	124.171	0.897	26.025	0.870	0.067	0.027	2.516	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.027
53	11.60	230.140	126.190	0.890	25.816	0.864	0.067	0.027	2.502	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.060
54	11.80	234.120	128.208	0.883	25.612	0.859	0.067	0.027	2.489	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.093
55	12.00	238.100	130.227	0.876	25.413	0.854	0.067	0.027	2.477	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.125
56	12.20	242.080	132.246	0.870	25.218	0.848	0.066	0.027	2.465	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.157
57	12.40	246.060	134.264	0.863	25.028	0.843	0.066	0.027	2.453	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.188
58	12.60	250.040	136.283	0.857	24.841	0.838	0.066	0.027	2.442	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.219
59	12.80	254.020	138.302	0.850	24.660	0.832	0.066	0.027	2.431	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.249
60	13.00	258.000	140.320	0.844	24.481	0.827	0.065	0.027	2.420	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.279
61	13.20	261.980	142.339	0.838	24.307	0.822	0.065	0.027	2.410	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.309
62	13.40	265.960	144.358	0.832	24.137	0.816	0.065	0.027	2.400	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.338
63	13.60	269.940	146.376	0.827	23.970	0.811	0.065	0.027	2.390	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.367
64	13.80	273.920	148.395	0.821	23.806	0.806	0.065	0.027	2.381	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.395
65	14.00	277.900	150.414	0.815	23.646	0.800	0.064	0.027	2.372	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.423
66	14.20	281.880	152.432	0.810	23.489	0.795	0.064	0.027	2.363	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.451
67	14.40	285.860	154.451	0.805	23.335	0.790	0.064	0.027	2.354	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.478
68	14.60	289.840	156.470	0.799	23.184	0.784	0.064	0.027	2.346	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.505
69	14.80	293.820	158.488	0.794	23.036	0.779	0.064	0.027	2.338	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.532
70	15.00	297.800	160.507	0.789	22.890	0.774	0.064	0.027	2.330	Terreno non suscettibile di liquefazione	2.558

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