



TECN= stp a r.l.
Via Tien An Men n.9 - scala D
41049 Sassuolo (MO)
tel. 0536/803850
fax. 0536/800735
tecne@tecnestp.com

regione **EMILIA ROMAGNA**
provincia **MODENA**
comune **SASSUOLO**
via **via EMILIA ROMAGNA-via REGINA PACIS**
zona urbanistica **MOB.A**

committente **FONDAZIONE MULLER**
EDECO srl

progettista **ASCARI ing. VITTORIO**
albo ingegneri di Modena n.1092

collaboratori Arch. Anna Billato, Arch. Chiara tedeschi
Arch. Leila Marsili, Ing. Piero Ferrari

intervento **AUTOPORTO - 3°stralcio - sub.comparto EST**
VARIANTE AL P.P.
DI INIZIATIVA PUBBLICA
approvato con Del. G.C. n.20 del 27/02/1995
CON VALENZA DI PUA

titolo **RELAZIONE GEOLOGICA**

tavola **16**

scala **-**

data **febbraio 2020**
operatore **65**
file

Comune di Sassuolo

Provincia di Modena

RELAZIONE TECNICA

contenente lo studio di "MICROZONAZIONE SISMICA DEL SITO" (ai sensi della DGR 630/2019 RER) con verifica del coefficiente di amplificazione del moto sismico secondo approccio descritto nella normativa della Regione Emilia Romagna, verifica dei fenomeni di liquefazione e dei cedimenti post-sismici.



OGGETTO:

Studio del terreno di fondazione del comparto
Autoporto Sassuolo sito in Strada Provinciale 15
nel Comune di Sassuolo (MO)



Dott. Geol. Pierluigi Dallari
Dicembre 2019
Rif. 771/19



GEO GROUP s.r.l.
Via C. Costa, 182 - 41123 MODENA
Tel. 059/3967169 Fax. 059/5960176
E-mail: info@geogroupmodena.it
P.IVA e C.F. 02981500362
www.geogroupmodena.it



**AZIENDA CON SISTEMA
DI GESTIONE QUALITÀ
CERTIFICATO DA DNV
= ISO 9001 =**

Relazione tecnica

contenente lo studio di “MICROZONAZIONE SISMICA DEL SITO” (ai sensi della DGR 630/2019 RER) con verifica del coefficiente di amplificazione del moto sismico secondo approccio descritto nella normativa della Regione Emilia Romagna, verifica dei fenomeni di liquefazione e dei cedimenti post-sismici.

oggetto

**Studio del terreno di fondazione del comparto
Autoporto Sassuolo sito in Strada Provinciale 15 nel
Comune di Sassuolo (MO)**

Rif. 771/19

Indice del contenuto

1. PREMESSE.....	3
2. RELAZIONE GEOLOGICA.....	4
2.1 MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA.....	4
2.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	5
2.3 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA CPT.....	8
2.4 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPER PESANTI DPSH.....	11
2.5 CARATTERISTICHE LITOSTRATOGRAFICHE DEL SITO D'INDAGINE.....	12
3 RELAZIONE GEOTECNICA.....	14
3.1 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO.....	14
4 INDAGINI GEOFISICHE.....	15
4.1 INDAGINE SISMICA CON METODO MASW.....	15
4.2 INDAGINI SISMICHE HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSr).....	18
4.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC 2018).....	20
5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO.....	21
5.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	21
5.2 AZIONE SISMICA - II LIVELLO DI APPROFONDIMENTO.....	22
5.3 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§ 7.11.3.4 NNTC 2018).....	23
6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	25

Tavole

Tav. n. 1: "Carta corografica"	scala 1: 25.000
Tav. n. 2: "Carta topografica"	scala 1: 10.000
Tav. n. 3: "Ripresa fotografica aerea"	scala grafica
Tav. n. 4: "Carta geologica"	scala 1: 5.000
Tav. n. 5: "Ubicazione indagini geognostiche"	scala 1: 5.000

Allegati

- ALL. n. 1 Prove penetrometriche corredate di interpretazione geotecnica;
ALL. n. 2 Indagini sismiche

1. PREMESSE

Nel mese di dicembre 2019 è stato eseguito il presente studio geologico, geotecnico e sismico relativo allo studio del terreno di fondazione per il comparto Autoporto di Sassuolo sito in strada Provinciale 15 nel Comune di Sassuolo (MO).

L'area in oggetto è posta nell'area industriale a nord del centro storico di Sassuolo, come illustrato nella "Carta corografica" alla scala 1: 25.000 (tav. n. 1), nella "carta topografica" alla scala 1:10.000 (tav. n. 2) e nella "Ripresa fotografica aerea" (tav. n. 3) riportate in allegato.

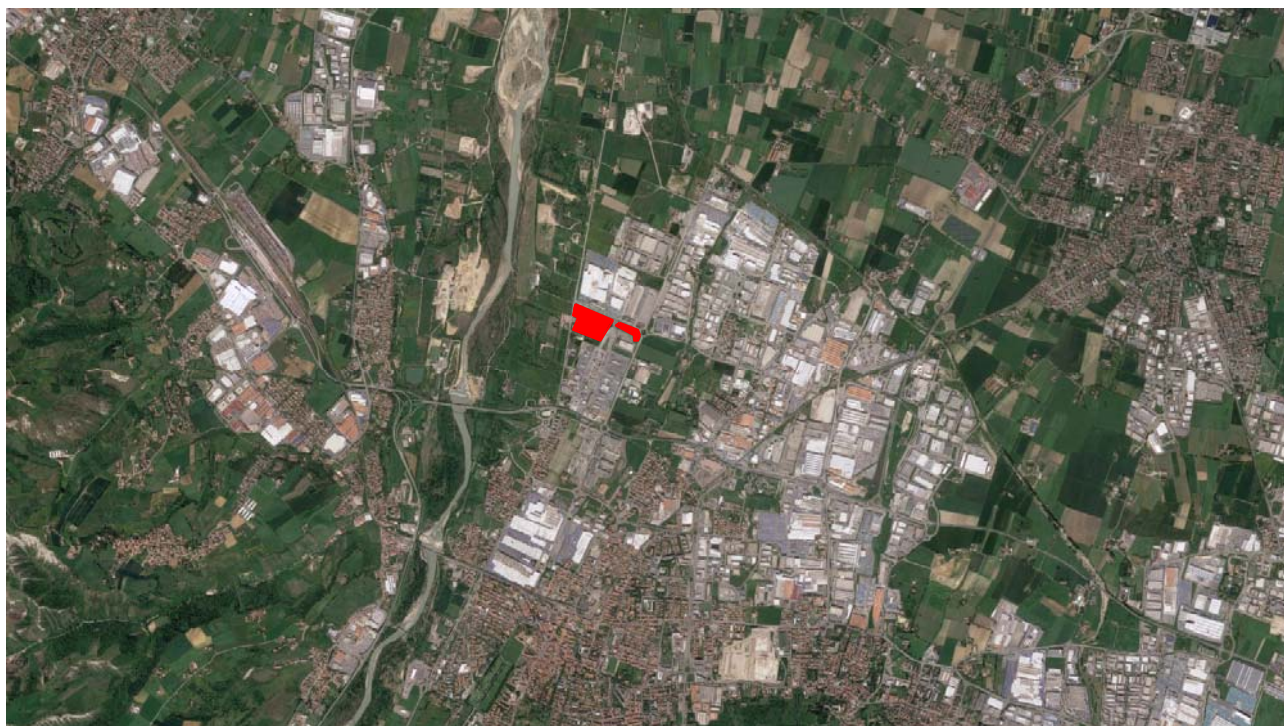


Fig. 1.1: Inquadramento geografico dell'area di interesse (immagini tratte da Google Maps).



Fig. 1.2: Immagini rappresentative delle n.2 aree di interesse.

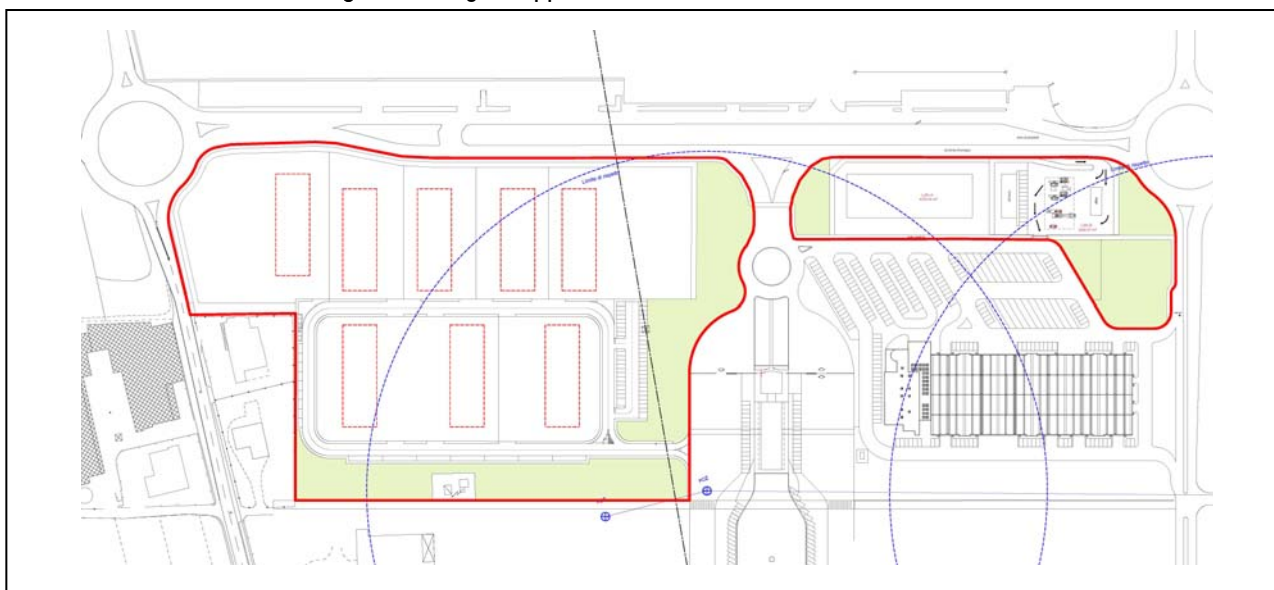
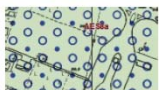


Fig. 1.3 – Pianta dell'intervento in oggetto.

2. RELAZIONE GEOLOGICA

2.1 MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO - GEOLOGIA

Da quanto si evince dalla “Carta geologica” (tav. n. 4) tratta dalla “Carta geologica - Progetto CARG” a cura della Regione Emilia Romagna, nell’area oggetto di studi affiora la seguente litologia:



AES8a – Unità di Modena

Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).



Fig. 1.4: Carta geologica (immagine tratta da Carta geologica - Progetto CARG" a cura della Regione Emilia Romagna).

2.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

In relazione alla litologia presente nell'area e in base alla tipologia di intervento in progetto in data 10/12/19 è stata eseguita la seguente campagna di indagini geognostiche:

<i>n. 2 prove penetrometriche statiche CPT</i>
<i>n. 4 prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPSH</i>
<i>n.2 indagini sismiche MASW</i>
<i>n.2 indagini sismiche HVSr</i>

I risultati delle suddette indagini sono riportati negli appositi allegati, mentre l'ubicazione è illustrata nella **tav. n. 5.** e in **figura 1.5.**

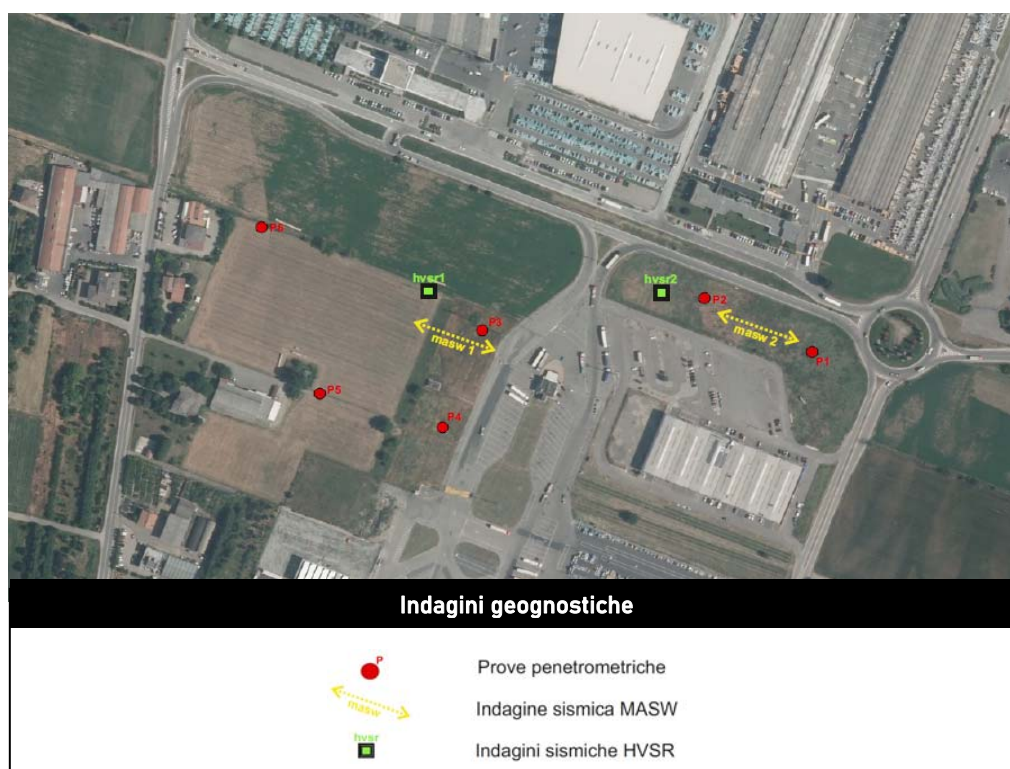


Fig. 1.5: Ubicazione indagini geognostiche eseguite nell'area di interesse in data 10/12/19.

Le prove penetrometriche sono state eseguite a partire da quote altimetriche differenti, pertanto nella tabella seguente viene riportata la quota di inizio prova, calcolata rispetto all'attuale piano asfaltato di Strada Provinciale 15:

N. prova		Profondità raggiunta (m) da inizio prova	Quota (m s.l.m.)	Differenza (m)
/	Piano asfaltato Strada Provinciale 15	-	98.85	0.00
P1	Cpt n.1	1.80	97.93	-0.92
P2	Dpsh n.2	2.80	97.79	-1.06
P3	Dpsh n.3	2.40	98.70	-0.15
P4	Cpt n.4	3.00	99.53	+0.64
P5	Dpsh n.5	5.60	99.58	+0.73
P6	Dpsh n.6	2.80	98.84	-0.01

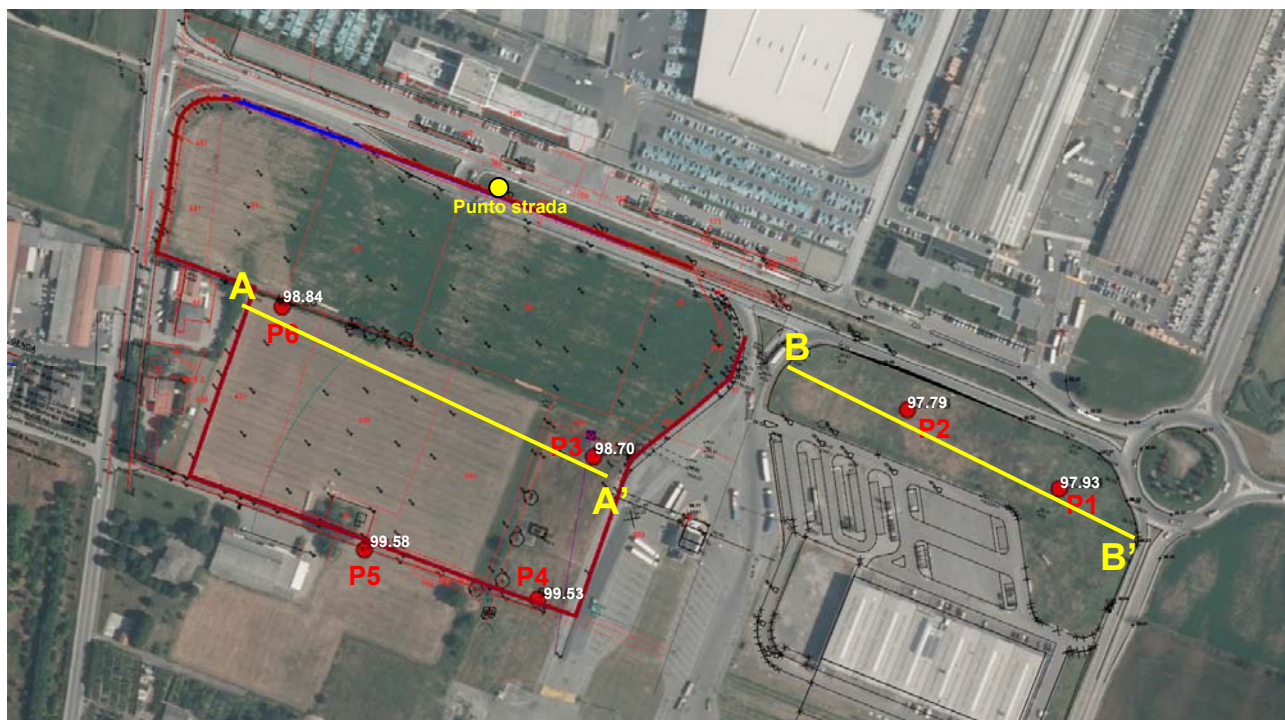


Fig. 1.6: Rilievo topografico dell'area di interesse con riportata l'ubicazione quotata delle prove penetrometriche.

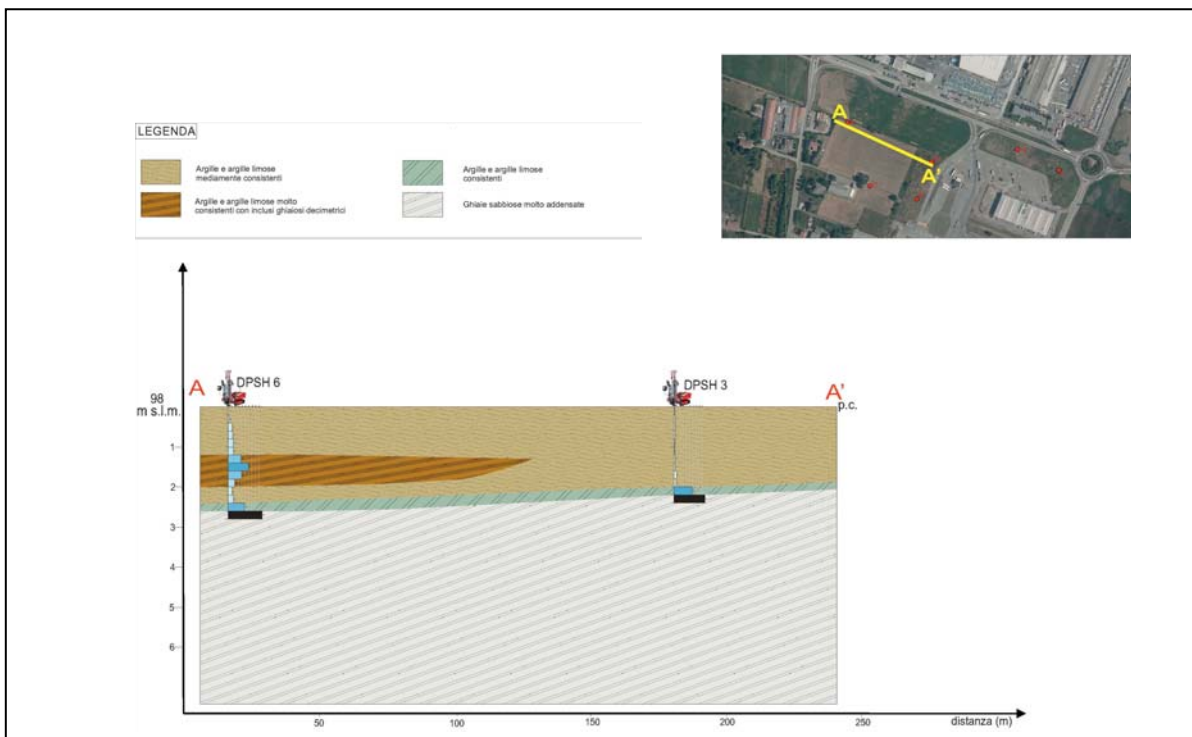


Fig. 1.7: Sezione geotecnica A-A'

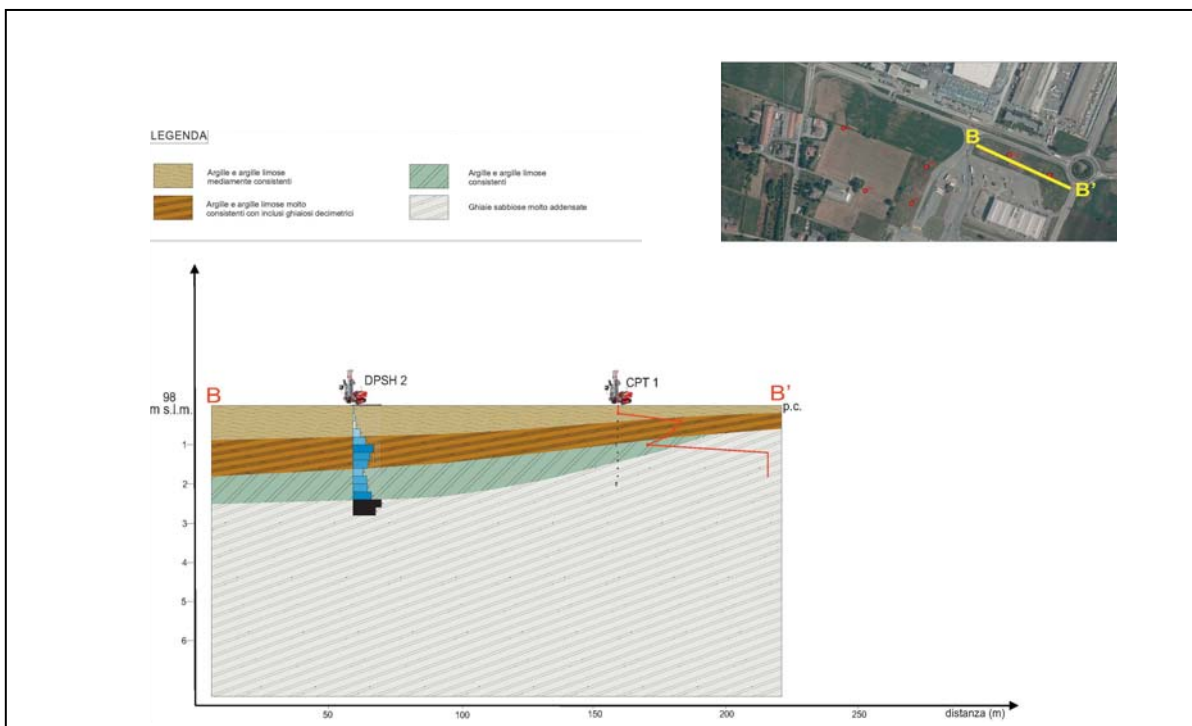


Fig. 1.8: Sezione geotecnica B-B'

2.3 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CON PUNTA MECCANICA CPT

Nell'area di interesse sono state eseguite, in data 10/12/2019, n. 2 prove penetrometriche statiche CPT, spinte rispettivamente fino alla profondità di - 1.80 m da p.c. (CPT 1) e di - 3.00 m da p.c. (CPT 4). Nell'Allegato n. 1 sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti le prove eseguite, corredati dell'elaborazione geotecnica e litostratigrafica. Lo strumento impiegato per eseguire le prove è un penetrometro ad infissione statica le cui caratteristiche tecniche sono riassunte nella seguente tabella:

Punta meccanica	Begemann
Spinta	100 kN
Intervalli di misura	20 cm
Parametri registrati	Rp (resistenza alla punta) Rl (resistenza attrito laterale)
Area punta	10 cm ²
Angolo alla punta	60°



Fig. 1.9: Immagini rappresentanti alcune delle prove penetrometriche eseguite nell'area di interesse in data 10/12/19.

La prova penetrometrica statica CPT (Cone Penetration Test) viene realizzata infiggendo nel terreno, alla velocità di 2 cm/sec, la punta meccanica Begemann (fig. 2). La punta presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60°, un diametro alla base di 36 mm e quindi un'area di base di 10 cm². Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm². I valori degli sforzi di reazione che il suolo oppone alla penetrazione della punta, allo scorrimento del manicotto laterale e all'avanzamento dell'insieme punta più aste, verranno registrati ogni 20 cm di avanzamento in profondità.

L'esecuzione della prova avviene tramite il seguente schema di avanzamento (fig. 2):

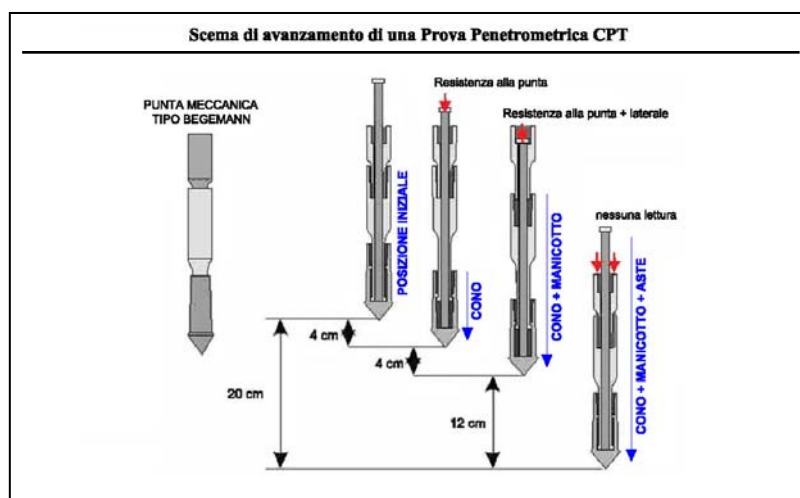


Fig.2: Punta meccanica tipo Begemann e schema di avanzamento.

- 1) posizione di riposo con punta completamente chiusa;
- 2) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm del solo cono; visualizzazione dello sforzo di punta (R_p);
- 3) spinta esercitata sulle aste interne con avanzamento di 4 cm di cono + manicotto; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito laterale (R_l);
- 4) spinta esercitata sulle aste esterne con avanzamento di 12 cm e ritorno alla posizione di riposo con punta completamente chiusa; visualizzazione dello sforzo di punta + attrito + attrito della batteria di aste (R_t).

Nella fase d'avanzamento in cui viene letta la resistenza alla punta, il display restituisce automaticamente il carico unitario di resistenza (R_p) tenuto conto della superficie di infissione di circa 10 cm². Nella fase di avanzamento in cui viene letta la somma delle resistenze alla punta ed al manicotto di frizione il display visualizza il carico assoluto espresso in kg diviso per 10 (R_l).

Ad ogni profondità di misura (x), i valori reali della resistenza alla penetrazione della punta " q_c " e dell'attrito laterale locale " f_s " possono essere calcolati tramite le seguenti formule:

$$q_c(x) = R_p(x) \text{ [kg/cm}^2\text{]}$$

dove:

AP (Area Punta) = 10 cm²

AM (Area Manicotto Laterale) = 150 cm²

$$f_s(X) = (R_l(x+1) - R_p(x+1)) \cdot (AP/AM) = (R_l(x+1) - R_p(x+1)) / 15$$

La particolare punta utilizzata per la perforazione Friction Jacket Cone è servita a determinare, oltre al carico di rottura, anche la litologia dei terreni investigati: dal rapporto tra la resistenza penetrometrica alla punta e la resistenza laterale locale è infatti possibile risalire, attraverso l'esperienza di Begemann, modificata da Schmertmann (di seguito descritti), alla granulometria, e di conseguenza alla litologia, dei terreni attraversati dall'indagine.

Metodo di Begemann:

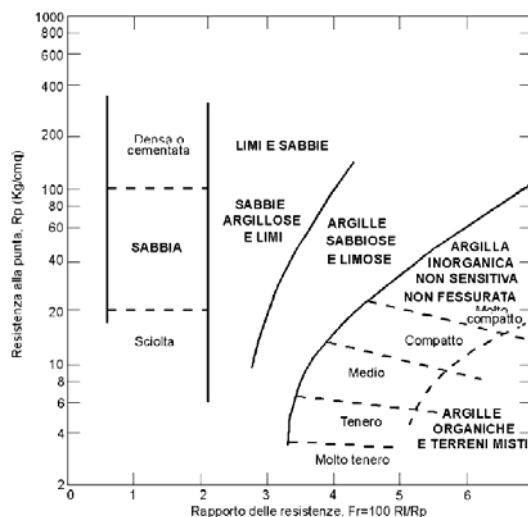
Il metodo di BEGEMANN considera il rapporto tra R_p e R_l come parametro indicativo delle variazioni litologiche. In particolare l'Autore suggerisce le seguenti correlazioni:

Rapporto R_p/R_l	Litologia
$R_p/R_l < 15$	Argilla organica e torba
$15 < R_p/R_l < 20$	Limo e/o argilla inorganica
$30 < R_p/R_l < 60$	Limo sabbioso e sabbia limosa
$R_p/R_l > 60$	Sabbie o sabbia più ghiaia

Va ricordato che tali correlazioni sono valide solo per terreni immersi in falda.

Metodo di Schmertmann:

Il metodo di SCHMERTMANN considera come indicativo della litologia della verticale indagata il rapporto delle resistenze F_r (con $F_r\% = 100 R_l/R_p$), secondo il grafico seguente:



2.4 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SUPER PESANTI DPSH

Nell'area di interesse sono state eseguite, in data 10/12/2019, n. 4 prove penetrometriche dinamiche super pesanti DPSH, che hanno raggiunto rispettivamente la profondità di - 2.80 m da p.c. (DPSH2), -2.40 m da p.c. (DPSH 3), -5.60 m da p.c. (DPSH 5) e -2.80 m da p.c. (DPSH 6).

Nell'allegato n. 1 sono riportati i grafici e le tabelle riguardanti le prove eseguite, corredati dell'elaborazione geotecnica e litostratigrafica.

Le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato sono le seguenti:

CARATTERISTICHE:	PENETROMETRO DINAMICO SUPER-PESANTE DPSH
Massa del maglio (kg):	63.5 $\pm$ 0.5
Altezza di caduta (cm):	75 $\pm$ 0.2
Diametro della punta (cm):	50.5 $\pm$ 0.05
Area della punta nominale (cm ²):	20
Apertura del cono:	90°
Diametro delle aste (cm) D:	3.2 $\pm$ 0.03
Peso del sistema di infissione, escluso il maglio (kg):	30
Penetrazione standard (cm):	20 (N ₁₀)

La prova dinamica consiste nell'infiggere una punta di acciaio posta all'estremità di una batteria di aste, mediante la caduta di un maglio da un'altezza costante e nel misurare il numero di colpi necessari a produrre avanzamenti delle aste e della punta stessa di una lunghezza prefissata nel terreno. Tale prova penetrometrica dinamica misura in continuo la resistenza alla penetrazione della punta conica e, in particolare, fornisce una valutazione qualitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati. Esistono numerosi penetrometri in commercio che si differenziano principalmente sulla base del diverso peso del maglio, dell'altezza di caduta, del diametro e della forma della punta e dello step di approfondimento.

All'estremità inferiore della batteria di aste è collocata la punta conica, che può essere di due tipi: fissa, e quindi recuperabile al termine dell'indagine, oppure "a perdere" che quindi, alla estrazione delle aste, rimane nel terreno. Nella successiva figura è rappresentato lo schema della punta conica fissa:

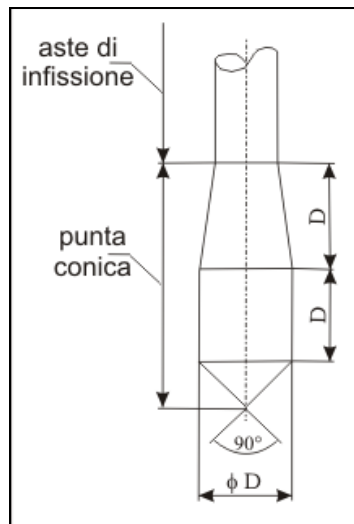


Fig. 2.1 - Schema della punta conica.

Ulteriori specifiche tecniche dell'attrezzatura di prova sono illustrate in allegato.

Per le prove dinamiche eseguite è stato realizzato un modello grafico in cui sono riportati: il numero dei colpi, la profondità in metri (misure ricavate ogni cm. 20 di avanzamento del sondaggio) e la resistenza dinamica alla punta R_{pd} in Kg/cm² calcolata attraverso la "Formula olandese":

$$R_{pd} = M^2 * H / [A * e (M+P)] = M^2 * H * N / [A * \delta (M+P)]$$

Dove:

R_{pd} = Resistenza dinamica punta (Kg/cm²);

A = area della punta (cm);

M = massa battente (kg);

H = altezza di caduta;

P = massa totale aste e sistema di battuta;

e = infissione per colpo = δ / N .

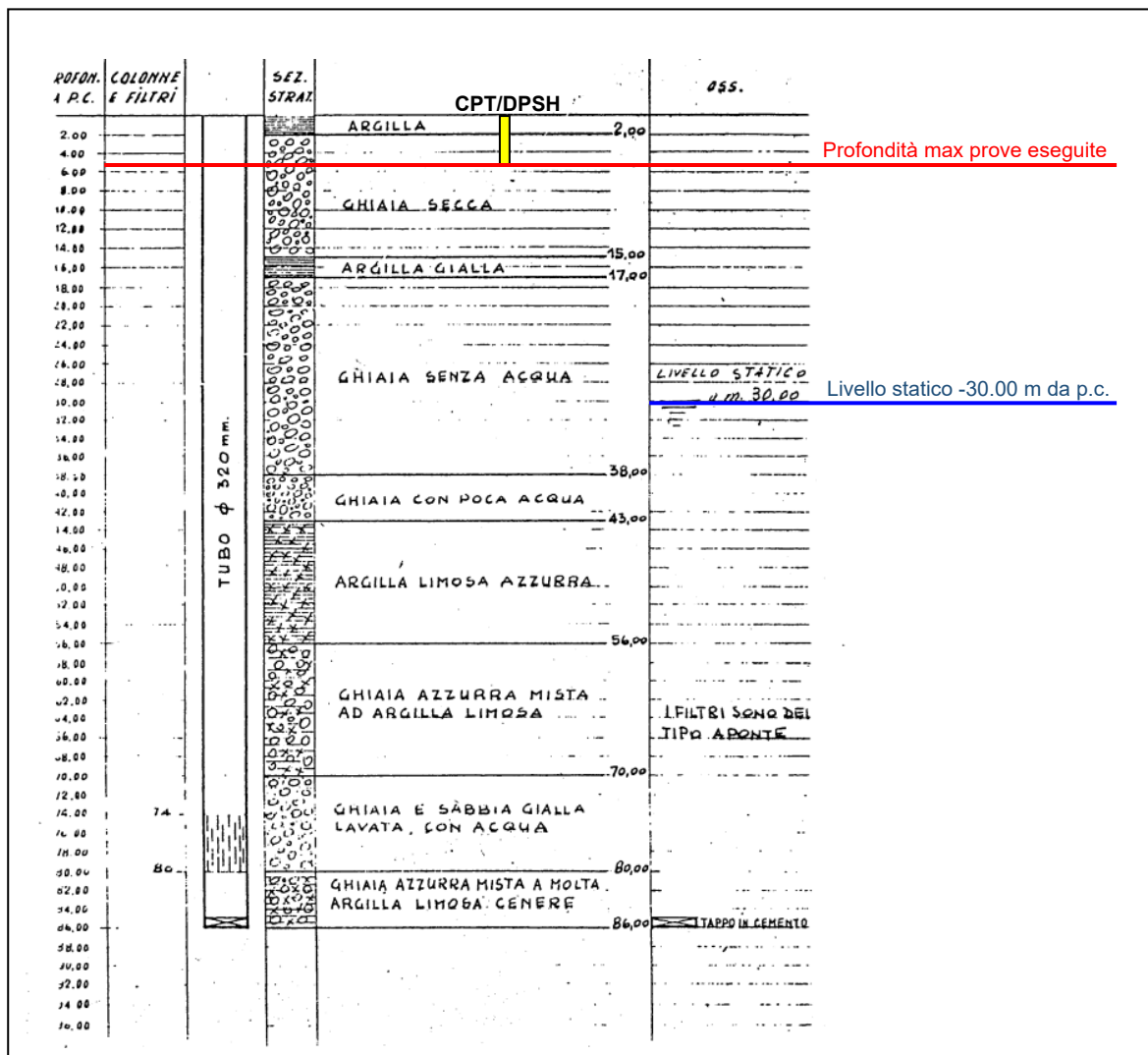
2.5 CARATTERISTICHE LITOSTRATOGRAFICHE DEL SITO D'INDAGINE

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle prove penetrometriche eseguite nell'area di studio, e in relazione alle stratigrafie profonde nell'area di interesse ottenute dall'analisi della cartografia tratta dal "Progetto CARG" a cura della Regione Emilia Romagna, si può riassumere quanto segue:

- Al di sotto dello strato superficiale caratterizzato da materiale di riporto le prove eseguite hanno rilevato la presenza di un primo livello caratterizzato da **Argille limose mediamente consistenti** fino alla quota di circa -1.00 m da p.c., seguito da un livello caratterizzato da

Argille limose molto consistenti con inclusi ghiaiosi decimetrici fino alla quota di circa -2.00 m da p.c. e da un livello caratterizzato da **Argille limose consistenti** fino alla quota di circa -2.60 m da p.c.. Infine le prove eseguite hanno rilevato la presenza di un livello caratterizzato da **Ghiaie sabbiose molto addensate** fino alla quota di circa - 5.60 m da p.c., profondità alla quale è stato raggiunto il rifiuto strumentale nella prova DPSH 5. Tuttavia è possibile ipotizzare che questo livello caratterizzato da ghiaie sabbiose molto addensate si spinga fino alla profondità di -15.00 m da p.c, come è possibile osservare nella stratigrafia del pozzo eseguito nell'area di interesse.

- Al termine delle prove penetrometriche è stata eseguita la verifica della soggiacenza della falda freatica all'interno dei fori di sondaggio; le misurazioni, eseguite con freatimetro elettroacustico in data 10/12/19, hanno dato il seguente risultato: falda assente. Questo dato corrisponde alla presenza del livello statico a -30.00 m da p.c. (come indicato nella stratigrafia seguente).



Stratigrafia pozzo eseguito nell'area di interesse nel 1974 (tratto da CARG)

3 RELAZIONE GEOTECNICA

3.1 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Il modello geotecnico è finalizzato a fornire tutti i dati geotecnici necessari per l'intervento in oggetto. Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione geotecnica e litostratigrafica delle indagini geotecniche eseguite in sito si può riassumere il seguente modello geotecnico schematico del terreno investigato:

Strato	Profondità	Falda	Litotipo	Parametri geotecnici	
1	0.00 – 1.00 m da p.c.		Argille limose mediamente consistenti	γ	1800 kg/m ³ $\approx$ 18.00 kN/m ³
				γ'	2100 kg/m ³ $\approx$ 21.00 kN/m ³
				C_{uk}	0.60 kg/cm ² $\approx$ 60.0 kN/m ²
				C'_k	0.06 kg/cm ² $\approx$ 6.0 kN/m ²
				M_o	50.0 kg/cm ² $\approx$ 5000 kN/m ²
				E_s	84.0 kg/cm ² $\approx$ 8400 kN/m ²
				ϕ_k	23°
				v	0.40
2	1.00 – 2.00 m da p.c.		Argille limose molto consistenti con inclusi ghiaiosi decimetrici	γ	1900 kg/m ³ $\approx$ 19.00 kN/m ³
				γ'	2200 kg/m ³ $\approx$ 22.00 kN/m ³
				C_{uk}	2.50 kg/cm ² $\approx$ 250.0 kN/m ²
				C'_k	0.25 kg/cm ² $\approx$ 25.0 kN/m ²
				M_o	300.0 kg/cm ² $\approx$ 30000 kN/m ²
				E_s	350.0 kg/cm ² $\approx$ 35000 kN/m ²
				ϕ_k	25°
				v	0.30
3	2.00 – 2.60 m da p.c.		Argille limose consistenti	γ	1850 kg/m ³ $\approx$ 18.50 kN/m ³
				γ'	2150 kg/m ³ $\approx$ 21.50 kN/m ³
				C_{uk}	1.00 kg/cm ² $\approx$ 100.0 kN/m ²
				C'_k	0.10 kg/cm ² $\approx$ 10.0 kN/m ²
				M_o	150.0 kg/cm ² $\approx$ 15000 kN/m ²
				E_s	140.0 kg/cm ² $\approx$ 14000 kN/m ²
				ϕ_k	24°
				v	0.35
4	2.60 – 15.00 m da p.c.		Ghiaie sabbiose molto addensate	γ	2000 kg/m ³ $\approx$ 20.00 kN/m ³
				γ'	2300 kg/m ³ $\approx$ 23.00 kN/m ³
				Dr	85%
				E_s	800.0 kg/cm ² $\approx$ 80000 kN/m ²
				ϕ_k	35°
				v	0.25

Si riportano di seguito le referenze bibliografiche e le correlazioni utilizzate per la determinazione dei parametri geotecnici sopra riportati:

γ' = peso dell'unità di volume (efficace) del terreno [Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982]

C_{uk} = coesione non drenata caratteristica (terreni coesivi) [Formula di Lunne & Eide]

C'_k = coesione efficace caratteristica

D_r = densità relativa (terreni granulari) [Schmertmann 1976]

M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973]

E_s = modulo elastico (terreni coesivi) [Trofimemkov 1974]

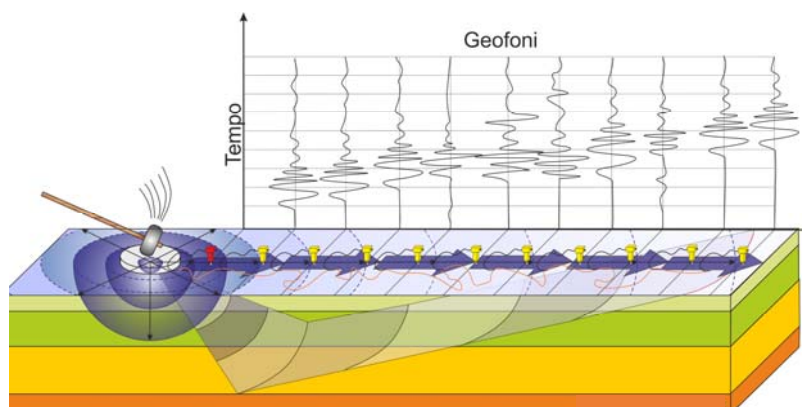
ϕ_k = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari) [Meyerhof 1956/1976, sabbie limose]

ν = modulo di Poisson

4 INDAGINI GEOFISICHE

4.1 INDAGINE SISMICA CON METODO MASW

Per misurare le velocità delle onde di taglio si possono eseguire prospezioni sismiche mediante stendimenti superficiali, utilizzando geofoni verticali da 4,5 Hz ed acquisendo attivamente i segnali delle onde rifratte alla superficie mediante una sorgente artificialmente provocata. Questa tecnica, nota con la sigla MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), permette di ricostruire il profilo verticale delle Vs con procedimenti di modellazione diretta delle velocità di fase delle onde, rifratte alla superficie. Partendo dal sismogramma registrato mediante sorgente energizzante in asse con lo stendimento, viene eseguita un'analisi spettrale che ha consentito di elaborare un'immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono. Da tale elaborazione, tramite una fase di "picking" del segnale ad elevata intensità è stata ottenuta la "curva di dispersione", dalla cui inversione è stato calcolato il modello sismo-stratigrafico espresso in termini di velocità delle onde di taglio (V_s). I dati sono stati registrati mediante un sismografo Geode Geometrics 24 bit con filtri disinseriti, velocità di campionamento (sample rate) di 0.25 millisecondi e lunghezza delle acquisizioni di 2 secondi. Si effettuano battute poste ad offset diversi (10 m e 15 m di distanza dal primo geofono) mediante grave da 8,0 kg di massa.



Schema di Array lineare e punto energizzante

Masw 1



Masw 2



Stendimento indagini sismiche MASW eseguite nell'area di interesse

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE

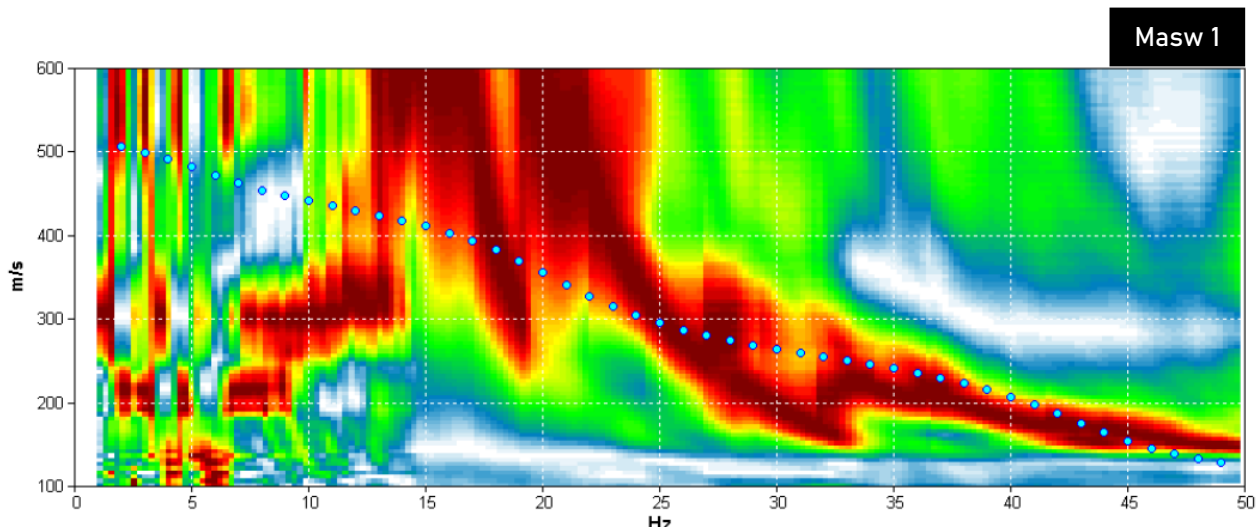
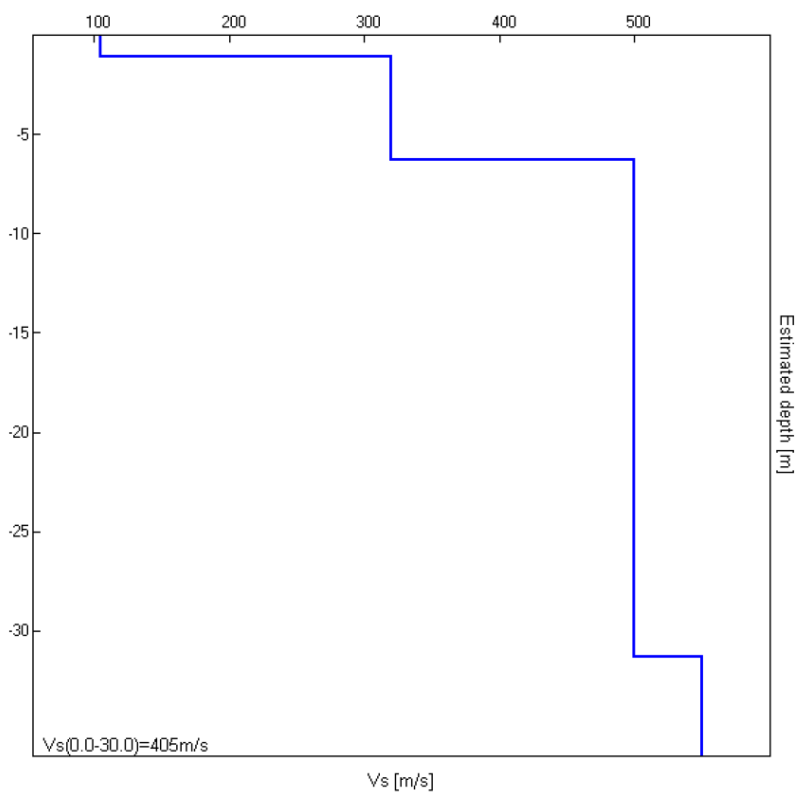


Grafico Vs-profondità



MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE

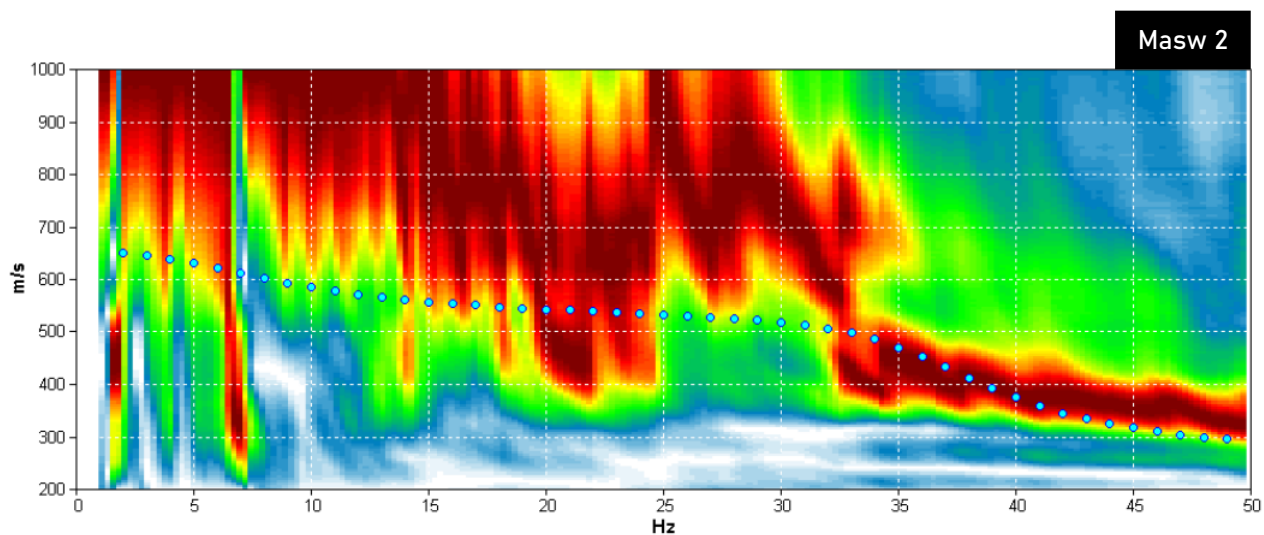
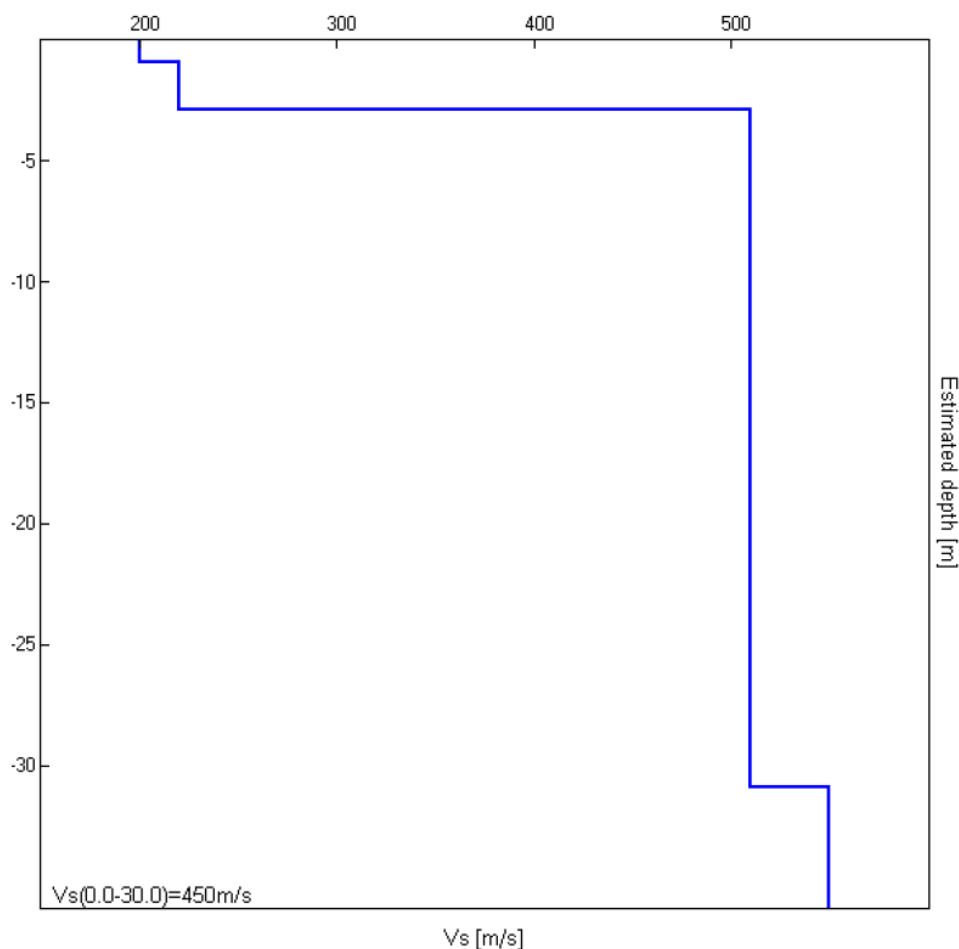


Grafico Vs-profondità



4.2 INDAGINI SISMICHE HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (HVSR)

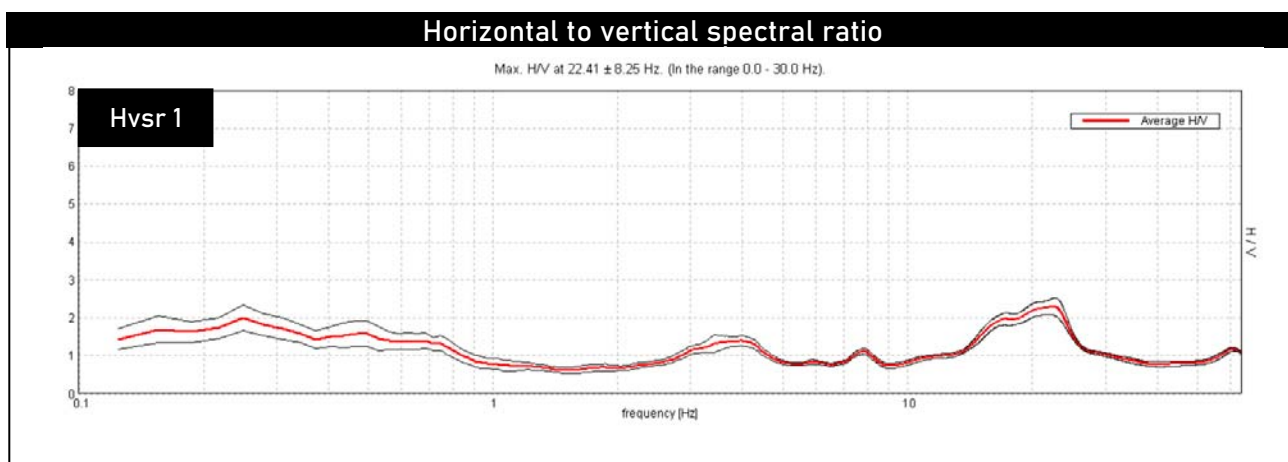
La caratterizzazione sismica dei terreni tramite la tecnica di indagine sismica passiva HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura) è finalizzata all'individuazione delle frequenze caratteristiche di risonanza di sito. Esse sono correlabili ai cambi litologici presenti sia all'interno della copertura che nell'ammasso roccioso. L'utilizzo di algoritmi di calcolo finalizzati ad una modellizzazione sintetica dello spettro H/V, permette di correlare ogni picco spettrale con le discontinuità presenti nel sottosuolo (per esempio i cambi litologici). I dati che si possono ricavare sono spessori, profondità e velocità di propagazione delle onde di taglio all'interno del sismo-strato individuato. Tramite l'elaborazione di moti superiori e l'analisi dell'andamento delle tre componenti del moto, è possibile distinguere i picchi di origine naturale da quelli generati dai moti superiori o da artefatti, al fine di garantire una corretta interpretazione dello spettro sismico registrato. La tecnica dei rapporti spettrali (HVSR) trova la sua massima applicazione negli studi di microzonazione sismica poiché fornisce un parametro fondamentale (frequenza propria di risonanza di sito) per una corretta progettazione di edifici antisismici. Negli ultimi anni si è

affermata anche per la sua versatilità poiché si è dimostrato come lo spettro sismico può rappresentare un modello sismo – stratigrafico del sottosuolo.

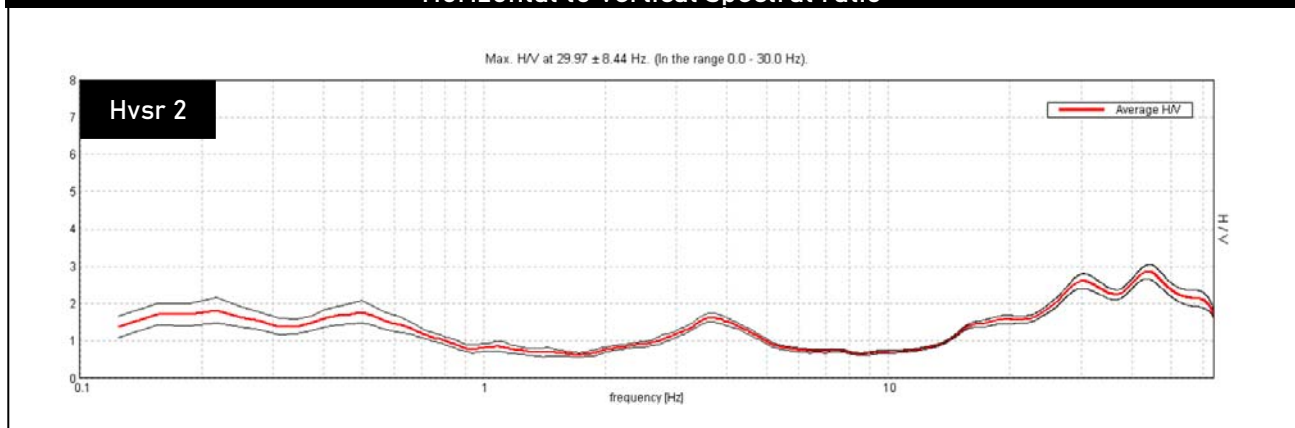
La tecnica HVSr è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un "velocimetro triassiale" conforme alle norme SESAME. I risultati che si possono ottenere da indagini sismiche HVSr sono:

- La frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici antisismici. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare strutture aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, per evitare l'effetto di "doppia risonanza", fenomeno estremamente pericoloso per la stabilità delle costruzioni.
- La frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se, in caso di sisma, la costruzione potrà essere o meno a rischio.
- La stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità, anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la tecnica HVSr, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato, inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Dalle analisi HVSr eseguite in sito, e riportate integralmente nell'allegato n. 2 è stato individuato un picco H/V alla frequenza 22.41 ± 8.25 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz) in HVSr 1, e un picco H/V alla frequenza 29.97 ± 8.44 (in the range 0.0 - 30.0 Hz) in HVSr 2.



Horizontal to vertical spectral ratio



4.3 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (§ 3.2.2 NTC 2018)

Per determinare il parametro V_{seq} e definire quindi la categoria di sottosuolo dell'area indagata (§ 3.2.2 NTC 2018) sono state eseguite in sito le indagini sismiche descritte nel precedente paragrafo. L'elaborazione delle indagini sismiche sopra citate restituisce un grafico che riporta la curva di dispersione attraverso un'immagine a colori che mostra il profilo delle velocità delle onde di Rayleigh come velocità di fase e frequenza. Analizzando tale grafico si ottiene un modello teorico dell'andamento delle V_s con la profondità attraverso la formula:

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

con:

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

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio (V_{seq}) è definita dal parametro V_{s30} ottenuto ponendo $H = 30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati fino a tale profondità. Dall'elaborazione delle indagini sismiche MASW eseguite nel sito in oggetto, si è ottenuto il valore di V_{s30} pari a:

MASW 1 $V_{s30} = 405$ m/s

MASW 2 $V_{s30} = 450$ m/s

Pertanto, secondo la classificazione del sottosuolo imposta dalle NTC 2018, si definisce il terreno di fondazione dell'area studiata come appartenente alla categoria B, corrispondente a:

Rocce tenere e depositi a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità da valori di $v_s 30$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

5.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

Dalla consultazione delle carte di Microzonazione Sismica del Comune di Sassuolo (MO), ed in particolare della "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", un cui estratto è riportato in figura 2.2, si nota come l'area in studio ricada in una zona stabile suscettibile di amplificazioni locali, in cui è richiesto un approfondimento di II livello (analisi semplificata).

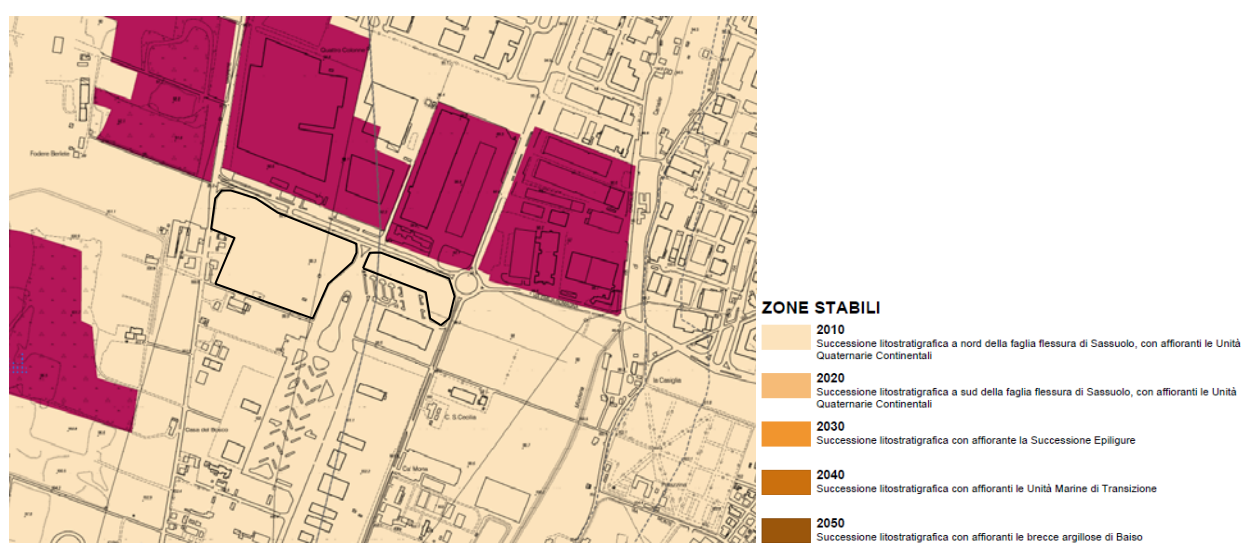


Fig. 2.2: Estratto della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

Secondo la classificazione sismica del territorio nazionale proposta a partire dall'O.P.C.M. n. 3274/2003 e successive modifiche, il Comune di Sassuolo (MO) risulta appartenente alla classe di sismicità 2.

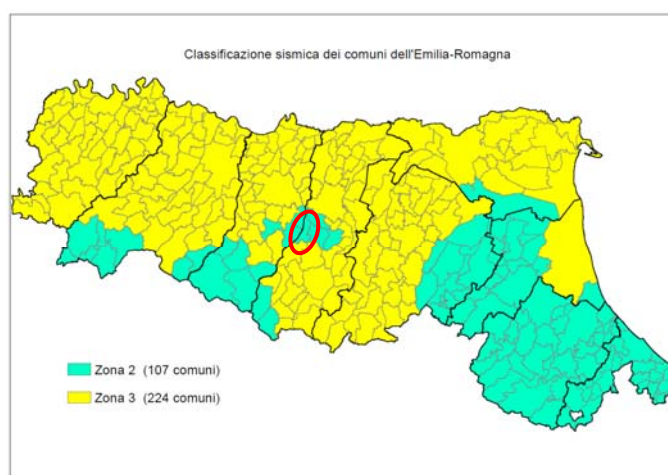


Fig. 2.3: Classificazione sismica dei comuni della regione Emilia-Romagna (DGR 1164/2018).

La suddivisione del territorio nazionale in zone a diversa classe di sismicità, caratterizzate da un valore di accelerazione di picco ed un corrispondente spettro di risposta elastico da utilizzare nella progettazione, risulta in realtà superata dall'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008. Sulla base dei contenuti delle NNTC 2008 e delle successive NTC 2018, per ogni costruzione deve essere definita un'accelerazione di riferimento propria, in funzione delle coordinate geografiche dell'area e della vita nominale dell'opera.

Per l'area in oggetto, identificata dalle seguenti coordinate geografiche (Sistema di riferimento ED50): Latitudine: 44.566554°, Longitudine: 10.788471°, in relazione a un periodo di riferimento TR stimato di 475 anni, è stato definito un parametro di accelerazione massima attesa a_g pari a $a_g \text{ attesa} = 0.163$.

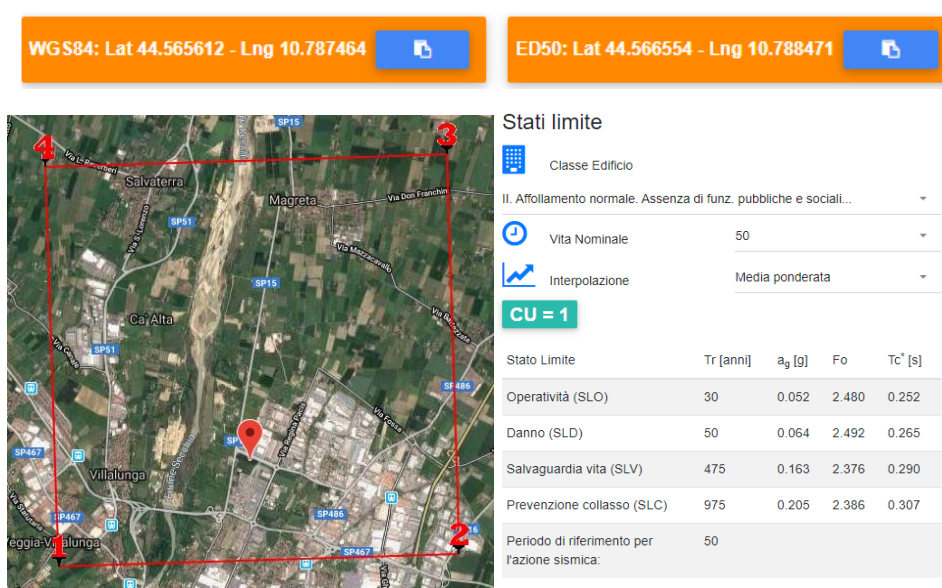


Fig. 2.4 - Parametri sismici caratteristici della maglia di punti riportata in figura, in cui ricade l'area oggetto del presente studio (da www.geostru.com/us/parametri-sismici/)

5.2 AZIONE SISMICA – II LIVELLO DI APPROFONDIMENTO

Dalla consultazione delle carte di Microzonazione Sismica del Comune di Sassuolo (MO), ed in particolare della "Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica", risulta che l'area in studio ricade in una zona in cui è richiesto un approfondimento di II livello (analisi semplificata).

Per la valutazione del coefficiente di amplificazione litologico, nelle aree in cui è ritenuta sufficiente l'analisi semplificata, si utilizzano gli abachi, le formule e le procedure indicate nell'allegato A2 della DGR 630/19.

Si procede, pertanto, alla verifica del fattore di amplificazione secondo approccio DGR 630/19, attraverso la comparazione degli abachi contenuti nella predetta normativa, considerando i

risultati ottenuti dalle indagini geognostiche eseguite in sito (indagini sismiche MASW 1 = 405 m/s e MASW 2: Vs30 = 450 m/s).

L'area in oggetto, sulla scorta delle informazioni geologiche disponibili e precedentemente illustrate, risulta inserita in un contesto di tipo MARGINE DI TIPO B caratterizzato da *spessore di terreni superficiali fini o grossolani poco consolidati superiori a 30 m; la successione sottostante è costituita da alternanze di orizzonti grossolani e orizzonti fini*.

Si illustra successivamente la tabella di riferimento per la stima del fattore di amplificazione del moto sismico e delle relative intensità spettrali:

Vs30 (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5

Fattore di Amplificazione **PGA**

Vs30 (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,7	1,5
SA2	2,6	2,6	2,3	2,1	1,9	1,7
SA3	3,1	2,9	2,7	2,4	2,3	2,1
SA4	3,0	2,9	2,6	2,3	2,1	1,9

Fattori di Amplificazione **SA1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SA2** ($0,4s \leq T \leq 0,8s$), **SA3** ($0,7s \leq T \leq 1,1s$) e **SA4** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Vs30 (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,6
SI2	2,9	2,8	2,5	2,3	2,1	2,0
SI3	3,3	3,1	2,7	2,4	2,2	2,0

Fattori di Amplificazione **SI1** ($0,1s \leq T \leq 0,5s$), **SI2** ($0,5s \leq T \leq 1,0s$), **SI3** ($0,5s \leq T \leq 1,5s$)

Quindi, secondo l'approfondimento di secondo livello (analisi semplificata) della DGR 630/19, adottando un fattore di amplificazione della PGA pari a $FA = 1.50$ e un valore di accelerazione di base pari a $PGA = 0.163g$ ($T_r = 475$ anni), si ottiene un valore di accelerazione massima attesa al suolo del valore pari a:

$$PGA_{max} = A_{max} = 1.50 \bullet 0.163g = 0.244g \text{ (per } T=0 \text{ s)}$$

5.3 STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE (§ 7.11.3.4 NNTC 2018)

Cenni teorici

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio, con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. I fenomeni di liquefazione interessano i depositi sabbiosi saturi e dipendono da:

- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata;
- genesi e storia geologica dei terreni;
- fattori ambientali.

Un terreno incoerente saturo, in assenza di sollecitazioni sismiche, è soggetto soltanto alla pressione litostatica, dovuta al peso dei sedimenti sovrastanti (in campo libero e con superficie piana).

Durante una sollecitazione sismica vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Di conseguenza, maggiore è la durata di un terremoto (maggior numero di cicli), più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione. Il terreno può essere però soggetto a sforzi di taglio statici dovuti alla presenza di strutture in superficie o alla sua particolare posizione (per es. al di sotto di un versante). In questo caso l'instaurarsi del fenomeno della liquefazione dipende, oltre che dalle caratteristiche del sisma, anche dal rapporto che si stabilisce tra le tensioni di taglio indotte da quest'ultimo e quelle statiche preesistenti al terremoto.

La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione. Anche la distribuzione, la forma delle particelle e il grado di uniformità influenzano notevolmente il fenomeno, per le implicazioni che questi fattori hanno sulla resistenza al taglio e per il modo di dissiparsi della pressione interstiziale in eccesso.

Per quanto riguarda la storia delle sollecitazioni sismiche, si può affermare che precedenti deformazioni moderate influiscano positivamente sulla resistenza del deposito, mentre una storia caratterizzata da alti livelli di deformazione (deposito già soggetto a liquefazione) ha effetti negativi sul potenziale di riliquefazione.

I depositi sabbiosi con più alto potenziale di liquefazione sono i più recenti. A parità di composizione e di altre condizioni lo stesso deposito, se più antico, avrà sviluppato legami intergranulari e cementazioni sempre più forti con il tempo.

Inoltre, la struttura di un deposito antico sarà resa più stabile e omogenea per gli effetti delle vibrazioni indotte da precedenti terremoti di piccola entità.

Poiché dalle indagini eseguite in sito e dalla ricostruzione del modello geologico del sottosuolo, non sono stati individuati livelli incoerenti sabbiosi potenzialmente liquefacibili, non si è ritenuto necessario procedere alla verifica alla liquefazione (§7.11.3.4.2 NTC 2018).

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nel mese di dicembre 2019 è stato eseguito il presente elaborato redatto al fine di verificare le condizioni di edificabilità e di pericolosità sismica dell'area sita in Strada Provinciale 15 nel Comune di Sassuolo (MO).

La caratterizzazione geotecnica dell'area studiata è stata realizzata mediante l'analisi dei dati ottenuti dalle prove penetrometriche CPT/DPSH e dalla visione delle colonne litostratigrafiche dei pozzi per acqua presenti nelle vicinanze. Da tale elaborazione è stato ottenuto un modello geotecnico medio illustrato nel par n. 3.1 e di seguito riportato:

Strato	Profondità	Falda	Litotipo
1	0.00 – 1.00 m da p.c.		Argille limose mediamente consistenti
2	1.00 – 2.00 m da p.c.		Argille limose molto consistenti con inclusi ghiaiosi decimetrici
3	2.00 – 2.60 m da p.c.		Argille limose consistenti
4	2.60 – 13.00 m da p.c.		Ghiaie sabbiose molto addensate

- la caratterizzazione sismica del sito, condotta sulla base di indagini sismiche di tipo MASW e HVSR, ha permesso di determinare la velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità e di classificare il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria B**;
- Per la definizione dell'azione sismica, in relazione all'intervento in progetto, è stata eseguita un'analisi semplificata (**II livello di approfondimento**) in ottemperanza alla DGR 630/2019, da cui si è ottenuto un valore di **PGA_{max} = A_{max} = 0.244g**;
- in relazione alle caratteristiche geologico-geotecniche e sismiche emerse dall'indagine si ritiene possibile l'esecuzione di fondazioni superficiali dirette;

In fase di progettazione esecutiva si renderà necessario eseguire per ogni intervento in progetto una ulteriore campagna di indagini geotecniche e sismiche corredate di specifiche relazioni geologiche.

A disposizione per ulteriori chiarimenti cogliamo l'occasione per porgere distinti saluti.

Modena, 17 dicembre 2019

Dott. Geol. Pier Luigi Dallari



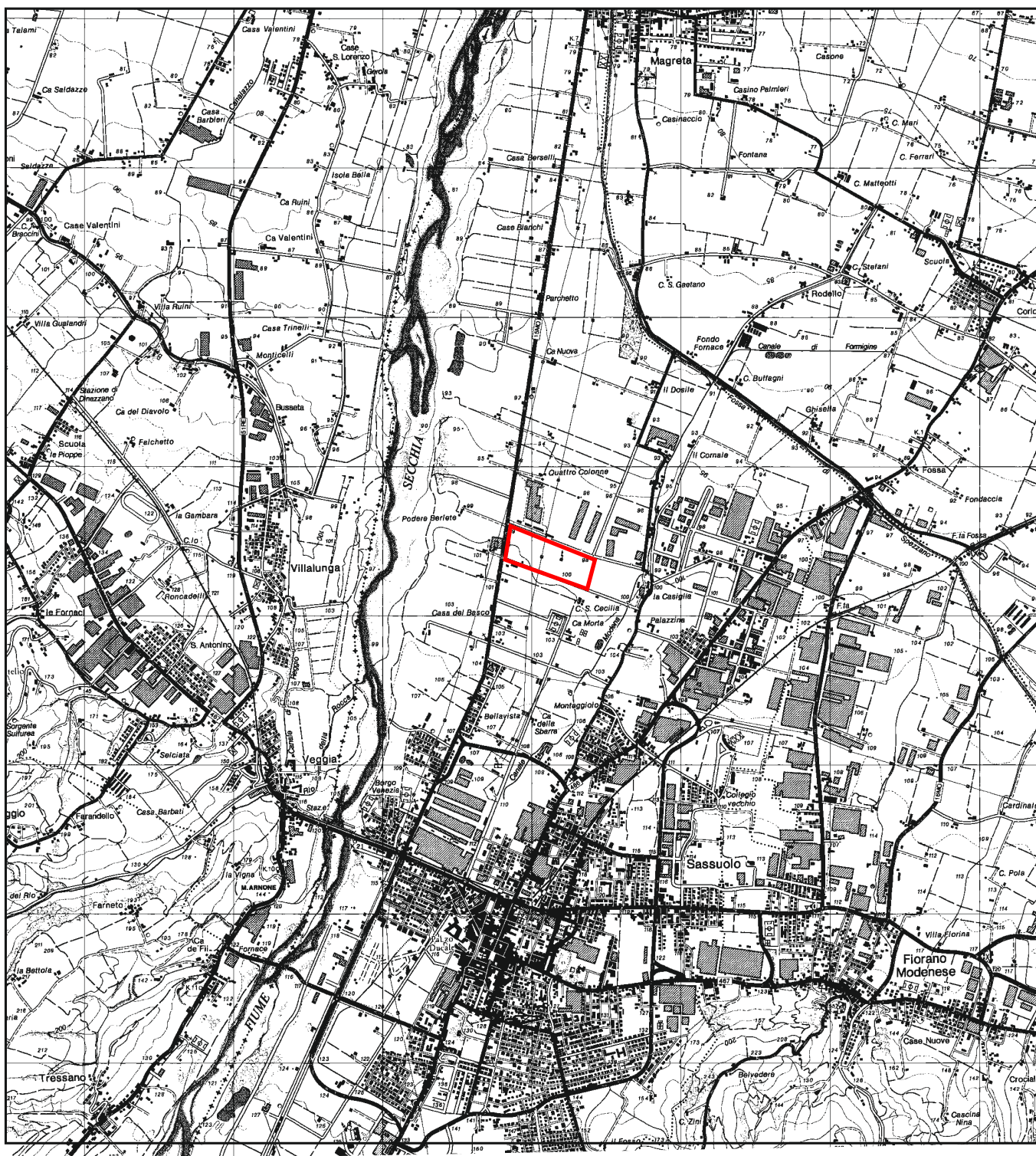
Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

TAVOLE

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it



Tav. n. 1 “Carta corografica”

Scala 1: 25000



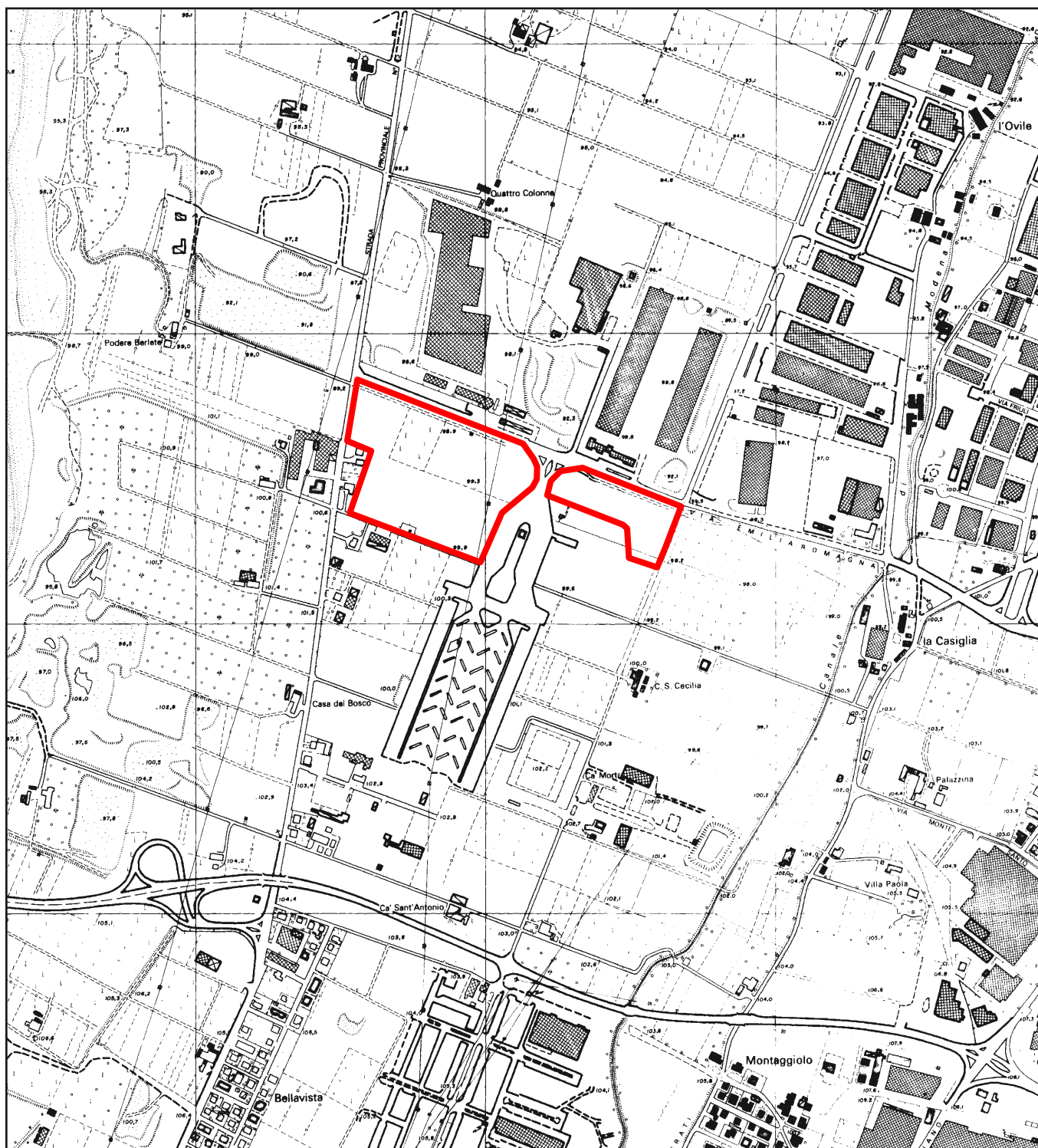
Legenda



Area di interesse

GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: info@geogroupmodena.it



Tav. n. 2 "Carta topografica"

Scala 1: 10000



Area di interesse

GEO GROUP S.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it



Tav. n. 3 “Ripresa fotografica aerea” (tratta da Google Maps) **Scala grafica**

Legenda



Area di interesse



GEO GROUP s.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176 - E-mail: info@geogroupmodena.it



Tav. n. 4 "Carta geologica" Scala 1 : 5.000

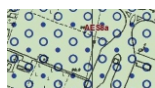


Legenda



Area di interesse

AES8a - Unità di Modena



Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).

Tratta da: <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it>

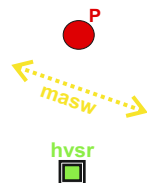
GEO GROUP S.r.l.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5332019- E-mail: info@geogroupmodena.it



Tav. n. 5 “Ubicazione indagini geognostiche”

Scala grafica



Prove penetrometriche

Indagine sismica MASW

Indagini sismiche HVSR



GEO GROUP S.R.L.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176
E-mail: info@geogroupmodena.it

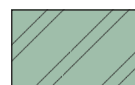
TAV. N. 6

SEZIONE GEOTECNICA A-A' Sassuolo Autoporto
-scala grafica-

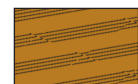
LEGENDA



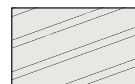
Argille e argille limose
mediamente consistenti



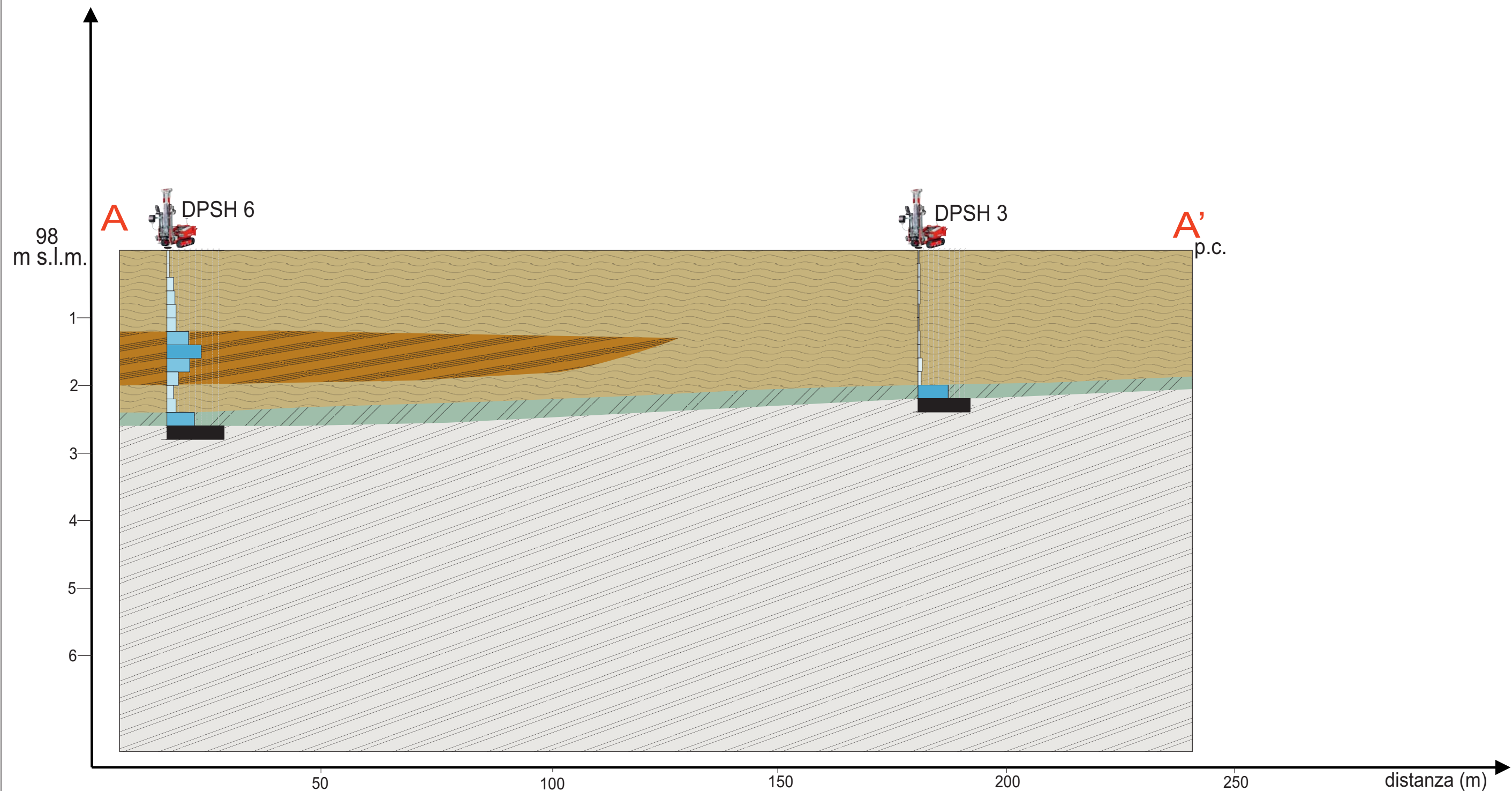
Argille e argille limose
consistenti



Argille e argille limose molto
consistenti con inclusi ghiaiosi decimetrici



Ghiaie sabbiose molto addensate



GEO GROUP S.R.L.

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche
182, via C. Costa 41100 Modena - Tel. 059/3967169 - Fax. 059/5960176
E-mail: info@geogroupmodena.it

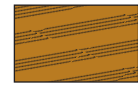
TAV. N. 7

SEZIONE GEOTECNICA B-B' Sassuolo Autoporto
-scala grafica-

LEGENDA



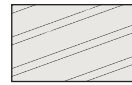
Argille e argille limose
mediamente consistenti



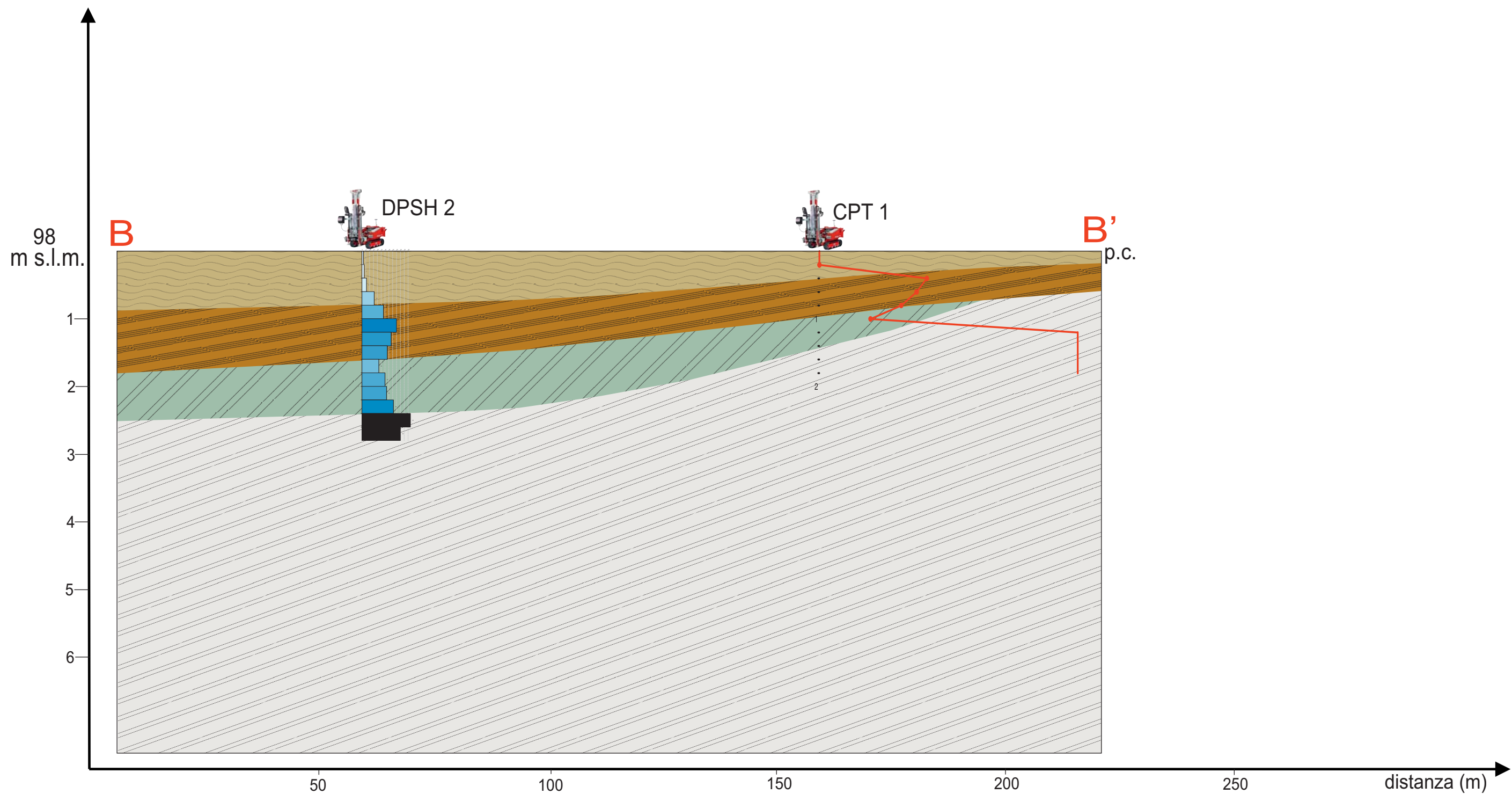
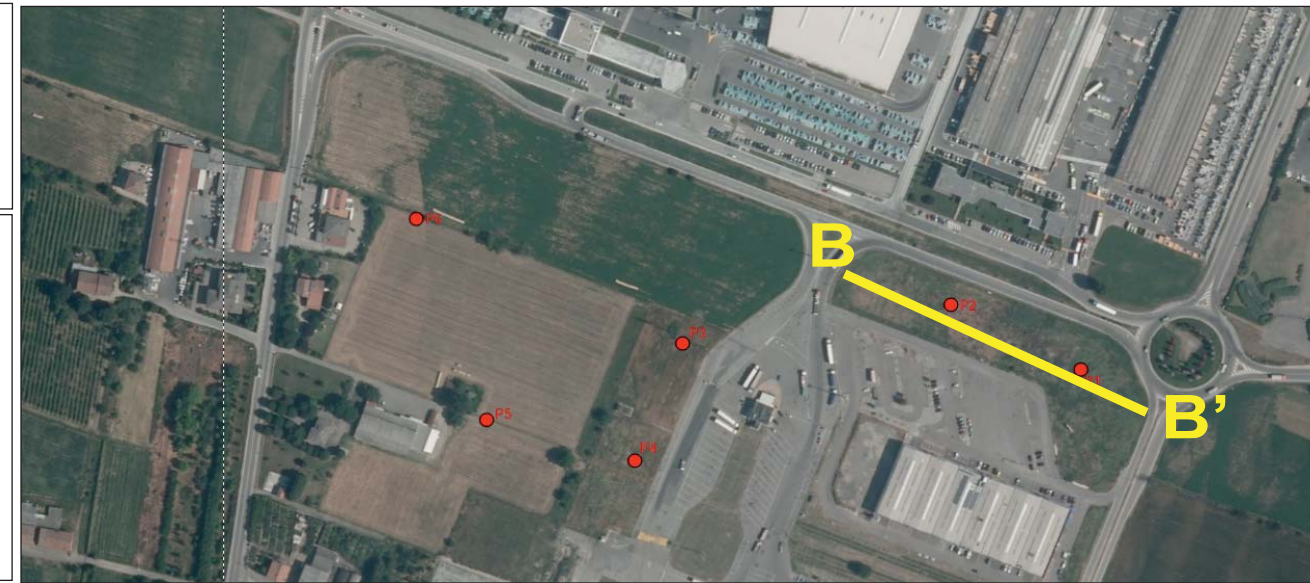
Argille e argille limose molto
consistenti con inclusi ghiaiosi decimetrici



Argille e argille limose
consistenti



Ghiaie sabbiose molto addensate



Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 1

Prove penetrometriche corredate di
interpretazione geotecnica

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA FATTORI DI CONVERSIONE

Strumento utilizzato:
SP100 - GeoDeepDrill

Caratteristiche:

- punta conica meccanica $\varnothing$ 35.7 mm, area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- punta conica meccanica angolo di apertura: $\alpha = 60^\circ$
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' ($\varnothing = 35.7 \text{ mm}$ - $h = 133 \text{ mm}$ - $A_m = 150 \text{ cm}^2$)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm/sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione $CT = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$
(dato tecnico legato alle caratteristiche del penetrometro utilizzato, fornito dal costruttore)

fase 1 - resistenza alla punta: $q_c \text{ (MPa)} = (L_1) \times CT / 10$

fase 2 - resistenza laterale locale: $f_s \text{ (kPa)} = [(L_2) - (L_1)] \times CT / 150$

fase 3 - resistenza totale: $R_t \text{ (kPa)} = (L_t) \times CT$

- Prima lettura = lettura di campagna durante l'infissione della sola punta (fase 1)
- Seconda lettura = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- Terza lettura = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta $S \text{ (Kg)}$, corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione CT .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il centro del manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale f_s viene computata 20 cm sopra la punta.

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N $\approx$ 100 kg = 0,1 t

1 MN (megaNewton) = 1.000 kN = 1.000.000 N $\approx$ 100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa $\approx$ 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (megaPascal) = 1 MN/m² = 1.000 kN/m² = 1000 kPa $\approx$ 100 t/m² = 10 kg/cm²

1 kg/cm² = 10 t/m² $\approx$ 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 MPa

1 t = 1000 kg $\approx$ 10 kN

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE CORRELAZIONI GENERALI

Valutazioni in base al rapporto: $F = (q_c / f_s)$

Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977

Valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = q_c / f_s$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F \leq 1470 \text{ kPa}$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$1470 \text{ kPa} < F \leq 2940 \text{ kPa}$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$2940 \text{ kPa} < F \leq 5880 \text{ kPa}$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 5880 \text{ kPa}$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

**Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978),
ricavabili in base ai valori di q_c e di $FR = (f_s / q_c) \% :$**

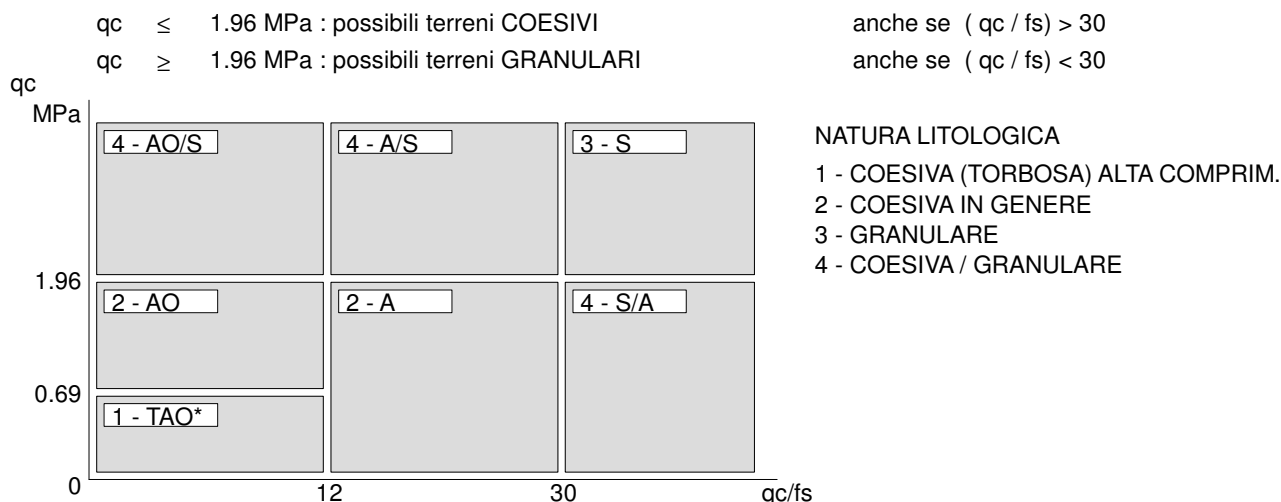
- AO	=	argilla organica e terreni misti
- Att	=	argilla (inorganica) molto tenera
- At	=	argilla (inorganica) tenera
- Am	=	argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac	=	argilla (inorganica) consistente
- Acc	=	argilla (inorganica) molto consistente
- ASL	=	argilla sabbiosa e limosa
- SAL	=	sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss	=	sabbia sciolta
- Sm	=	sabbia mediamente addensata
- Sd	=	sabbia densa o cementata
- SC	=	sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI SPECIFICHE TECNICHE

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto q_c / f_s (Begemann 1965 - A.G.I. 1977) prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :



PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

- γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - q_c - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 - Bowles 1982)
- σ'_{vo} = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')
- C_u = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : C_u - q_c]
- OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - C_u - σ'_{vo}]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)
- E_u = modulo di deformazione non drenato (terreni coesivi) [correl. : E_u - C_u - OCR - I_p I_p = ind.plast.]
 E_{u50} - E_{u25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)
- E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - q_c]
 E'_{50} - E'_{25} corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza $F = 2 - 4$ rispettivamente)
Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski ed altri 1983)
- M_o = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : M_o - q_c - natura]
Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)
- D_r = densità relativa (terreni granulari N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : D_r - R_p - σ'_{vo} (Schmertmann 1976)]
- $\emptyset'$ = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : $\emptyset'$ - D_r - q_c - σ'_{vo})
 $\emptyset'_{Ca}$ - Caquot (1948) $\emptyset'_{Ko}$ - Koppejan (1948)
 $\emptyset'_{DB}$ - De Beer (1965) $\emptyset'_{Sc}$ - Schmertmann (1978)
 $\emptyset'_{DM}$ - Durgunoglu & Mitchell (1975) (sabbie N.C.) $\emptyset'_{Me}$ - Meyerhof (1956 / 1976) (sabbie limose)
- F.L. = fattore di liquefazione (F.L.1 = Sabbie Pulite, F.L.2 = Sabbie Limose)
- V_s = velocità di propagazione delle onde sismiche (Iyisan 1996)

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT**1**

Riferimento

1017-2019

Committente **Studio tecnico**
 Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
 Località **Sassuolo Autoporto**

U.M.: **MPa**

Data esec. 10/12/2019

Pagina 1
Elaborato

Falda Assente

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0		0.00	67.00	0									
0.40	21.0	31.0		2.06	153.00	14	7.3								
0.60	19.0	42.0		1.86	160.00	12	8.4								
0.80	16.0	40.0		1.57	160.00	10	10.0								
1.00	10.0	34.0		0.98	400.00	3	40.0								
1.20	120.0	180.0		11.76	333.00	36	2.8								
1.40	250.0	300.0		24.50	333.00	75	1.3								
1.60	110.0	160.0		10.78	533.00	21	4.8								
1.80	360.0	440.0		35.28											

H = profondità
 L1 = prima lettura (punta)
 L2 = seconda lettura (punta + laterale)
 Lt = terza lettura (totale)
 CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza punta
 fs = resistenza laterale
 0.20 m sopra quota qc
 F = rapporto Begemann (qc / fs)
 Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT**1**

Riferimento

1017-2019

Committente **Studio tecnico**
 Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
 Località **Sassuolo Autoporto**

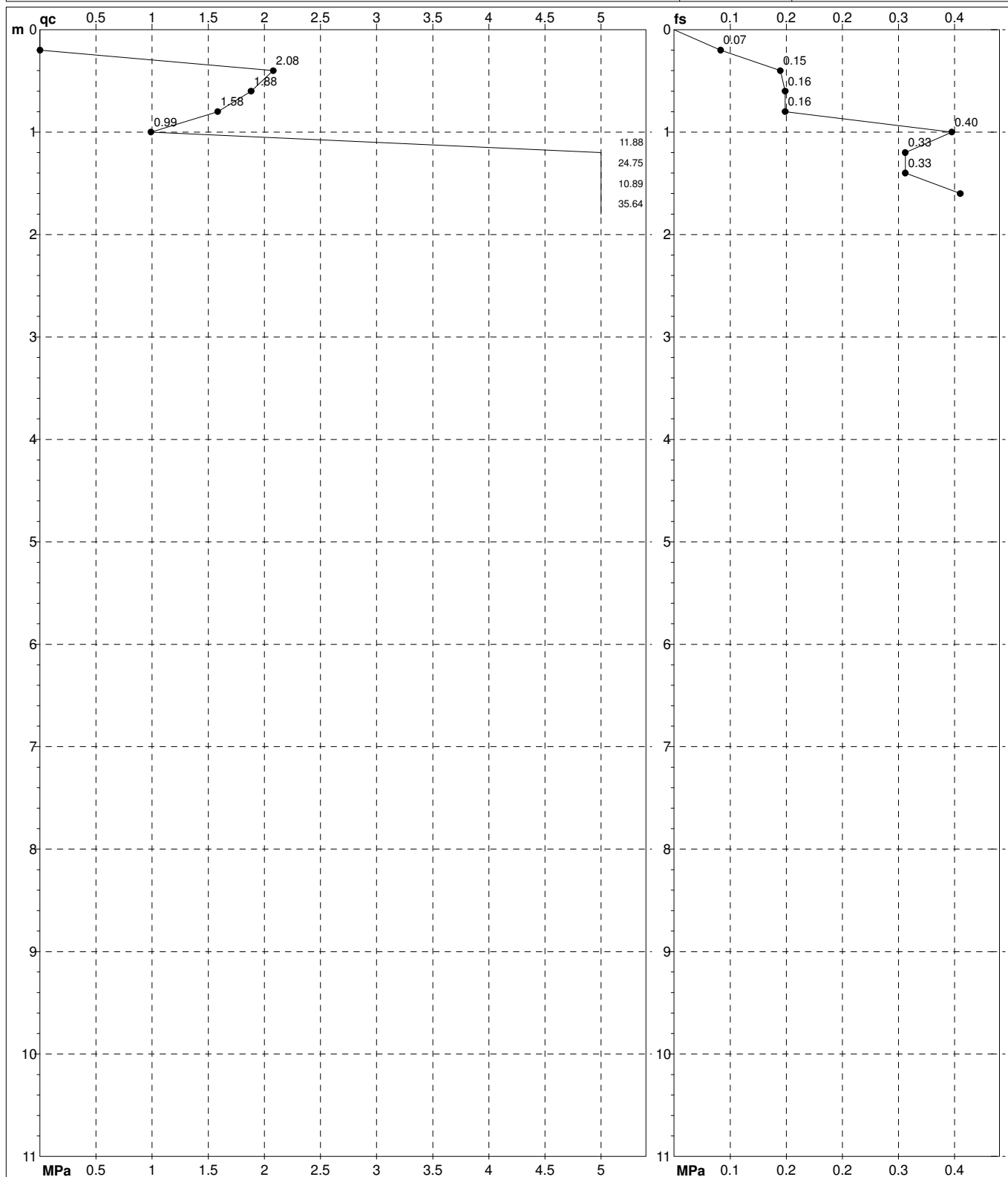
U.M.: **MPa**
 Scala: **1:55**
 Pagina **1**
 Elaborato

Data esec. 10/12/2019

Quota inizio:

Falda

Assente



Penetrometro: SP100

Responsabile:

Assistente:

preforo m

Corr.astine: kN/ml

Cod. tip:

FON111

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

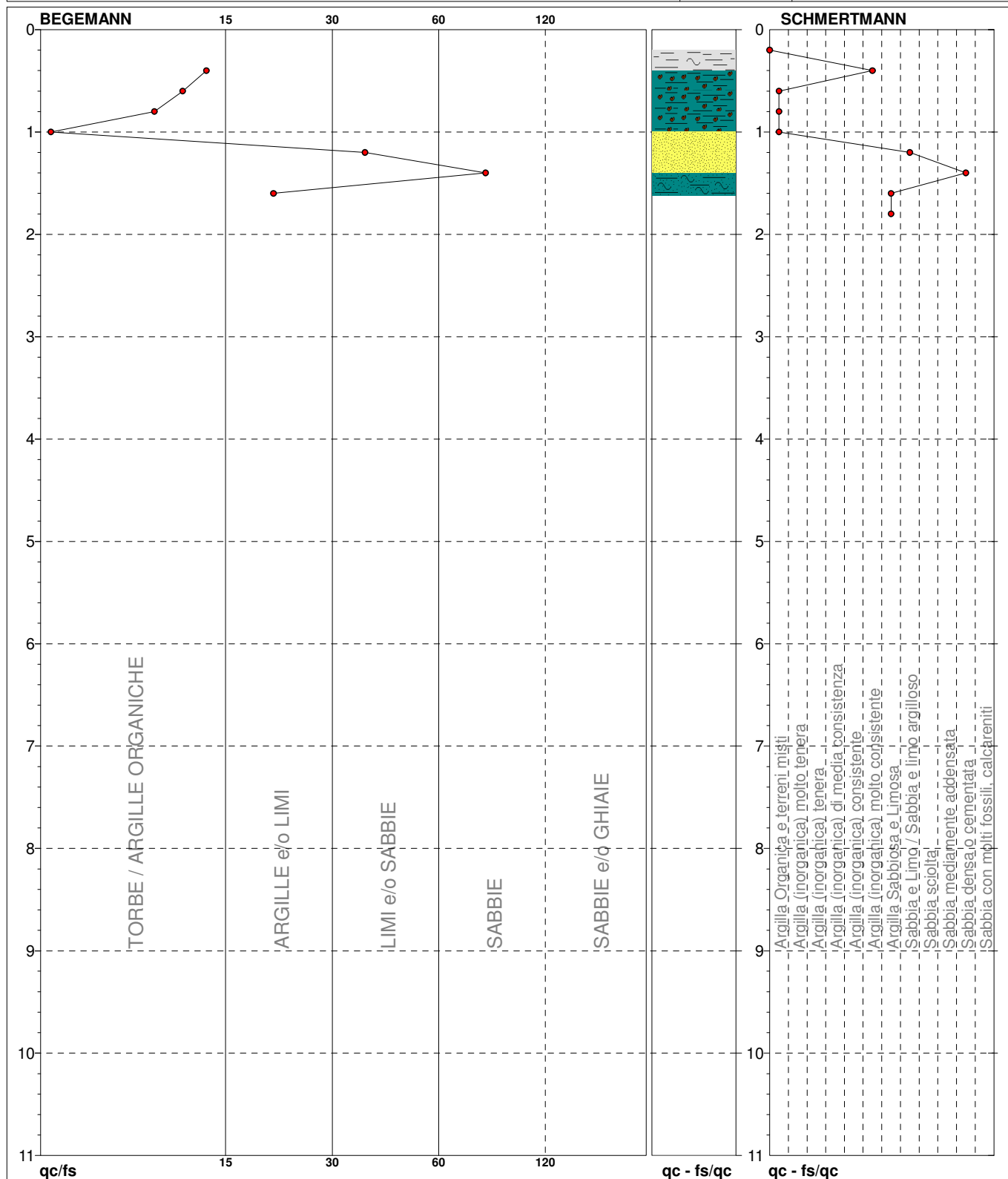
1

Riferimento

1017-2019

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Sassuolo Autoporto**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:55**
Pagina **1**
Elaborato
Data eseg. **10/12/2019**
Falda **Assente**



TORBE / ARGILLE OR	5 punti, 55.56%	Argilla Organica e terreni misti	3 punti, 33.33%	Argilla Sabbiosa e Limosa	1 punti, 11.11%
ARGILLE e/o LIMI	1 punti, 11.11%	Argilla (inorganica) molto consistente	1 punti, 11.11%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	1 punti, 11.11%
LIMI e/o SABBIE	1 punti, 11.11%			Sabbia densa o cementata	1 punti, 11.11%
SABBIE	1 punti, 11.11%				

FON111

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	1
	Riferimento	1017-2019

Committente	Studio tecnico	U.M.:	MPa	Data esec.	10/12/2019
Cantiere	Studio del terreno di fondazione	Pagina	1		
Località	Sassuolo Autoporto	Elaborato		Falda	Assente

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0.20	--	--	4	1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	2.06	13.73	4	1.85	7.3	174	80.7	99.9	13.7	20.6	6.2	82	41	38	35	33	42	27	3.4	5.1	6.2	--	--
0.60	1.86	11.88	2	1.85	10.9	168	76.0	71.3	12.9	19.4	5.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	1.57	10.00	2	1.85	14.5	157	68.2	43.5	11.6	17.4	5.1	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	0.98	2.50	2	1.85	18.1	132	49.0	21.8	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	11.76	36.04	3	1.85	21.8	336	--	--	--	--	--	100	43	41	39	36	44	35	19.6	29.4	35.3	--	--
1.40	24.50	75.08	3	1.85	25.4	443	--	--	--	--	--	100	43	44	42	39	45	39	40.8	61.3	73.5	--	--
1.60	10.78	20.64	4	1.85	29.0	325	359.3	99.9	61.1	91.6	32.3	100	43	39	37	34	43	34	18.0	27.0	32.3	--	--
1.80	35.28	--	3	1.85	32.6	509	--	--	--	--	--	100	43	44	42	39	45	40	58.8	88.2	105.8	--	--

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

LETTURE CAMPAGNA E VALORI TRASFORMATI

CPT**4**

Riferimento

1017-2019

Committente **Studio tecnico**
 Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
 Località **Sassuolo Autoporto**

U.M.: **MPa**

Data esec. 10/12/2019

 Pagina 1
 Elaborato

Falda Assente

H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %	H m	L1 -	L2 -	Lt -	qc MPa	fs kPa	F -	Rf %
0.20	0.0	0.0		0.00	67.00	0									
0.40	9.0	19.0		0.88	73.00	12	8.1								
0.60	11.0	22.0		1.08	67.00	16	6.1								
0.80	10.0	20.0		0.98	80.00	13	8.0								
1.00	12.0	24.0		1.18	100.00	12	8.3								
1.20	35.0	50.0		3.43	120.00	29	3.4								
1.40	38.0	56.0		3.72	153.00	25	4.0								
1.60	60.0	83.0		5.88	180.00	33	3.0								
1.80	57.0	84.0		5.59	273.00	21	4.8								
2.00	59.0	100.0		5.78	333.00	18	5.6								
2.20	97.0	147.0		9.51	467.00	21	4.8								
2.40	350.0	420.0		34.30	300.00	117	0.9								
2.60	195.0	240.0		19.11	260.00	75	1.3								
2.80	208.0	247.0		20.38	333.00	62	1.6								
3.00	300.0	350.0		29.40											

H = profondità

L1 = prima lettura (punta)

L2 = seconda lettura (punta + laterale)

Lt = terza lettura (totale)

CT = 10.00 costante di trasformazione

qc = resistenza punta

fs = resistenza laterale

0.20 m sopra quota qc

F = rapporto Begemann (qc / fs)

Rf = rapporto Schmertmann (fs / qc)*100

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIGRAMMI DI RESISTENZA E LITOLOGIA

CPT**4**

Riferimento

1017-2019

Committente **Studio tecnico**
 Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
 Località **Sassuolo Autoporto**

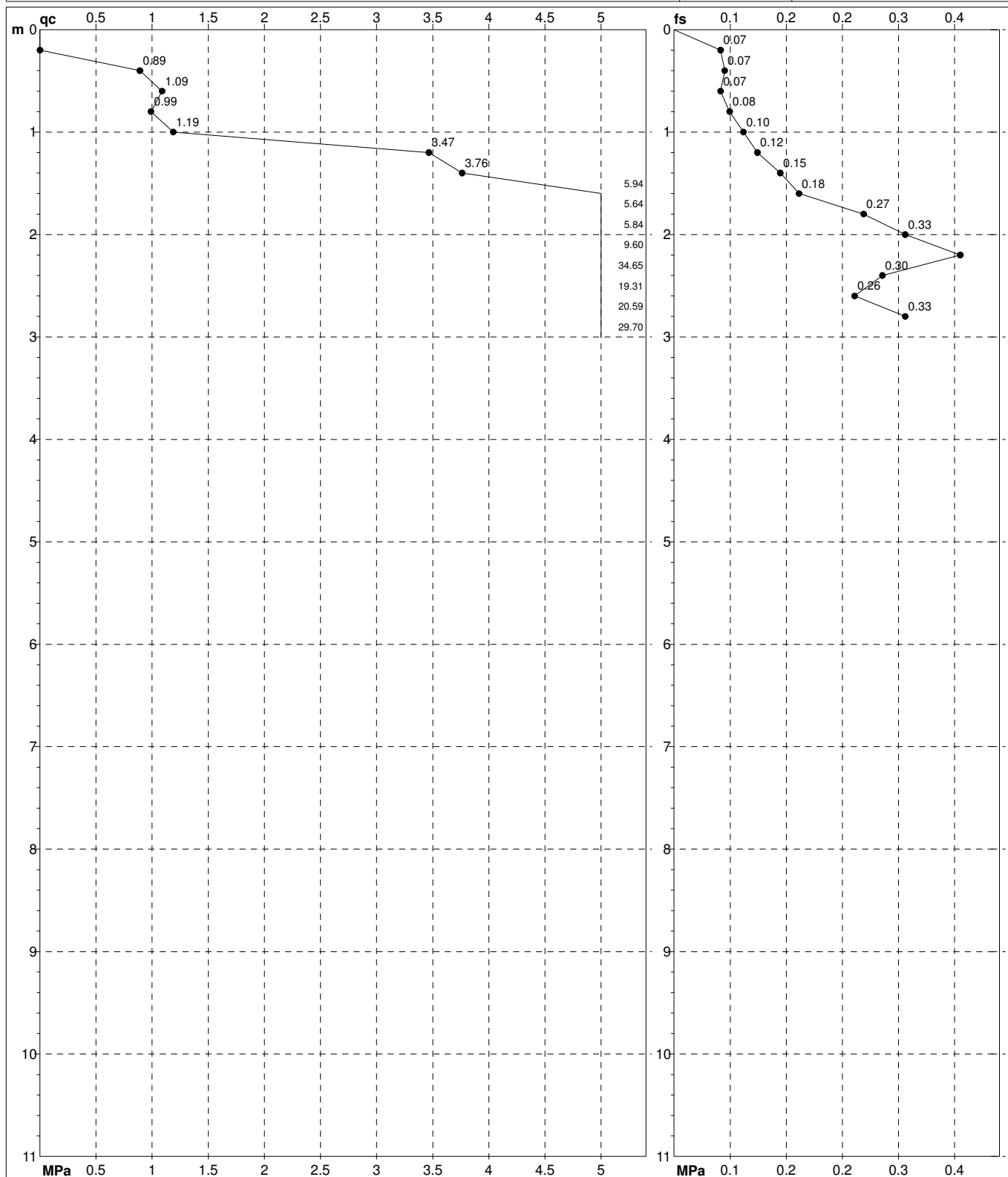
U.M.: **MPa**
 Scala: **1:55**
 Pagina **1**
 Elaborato

Data esec. 10/12/2019

Quota inizio:

Falda

Assente



Penetrometro: SP100

Responsabile:

Assistente:

preforo m

Corr.astine: kN/ml

Cod. tip:

FON111

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA

DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPT

4

Riferimento

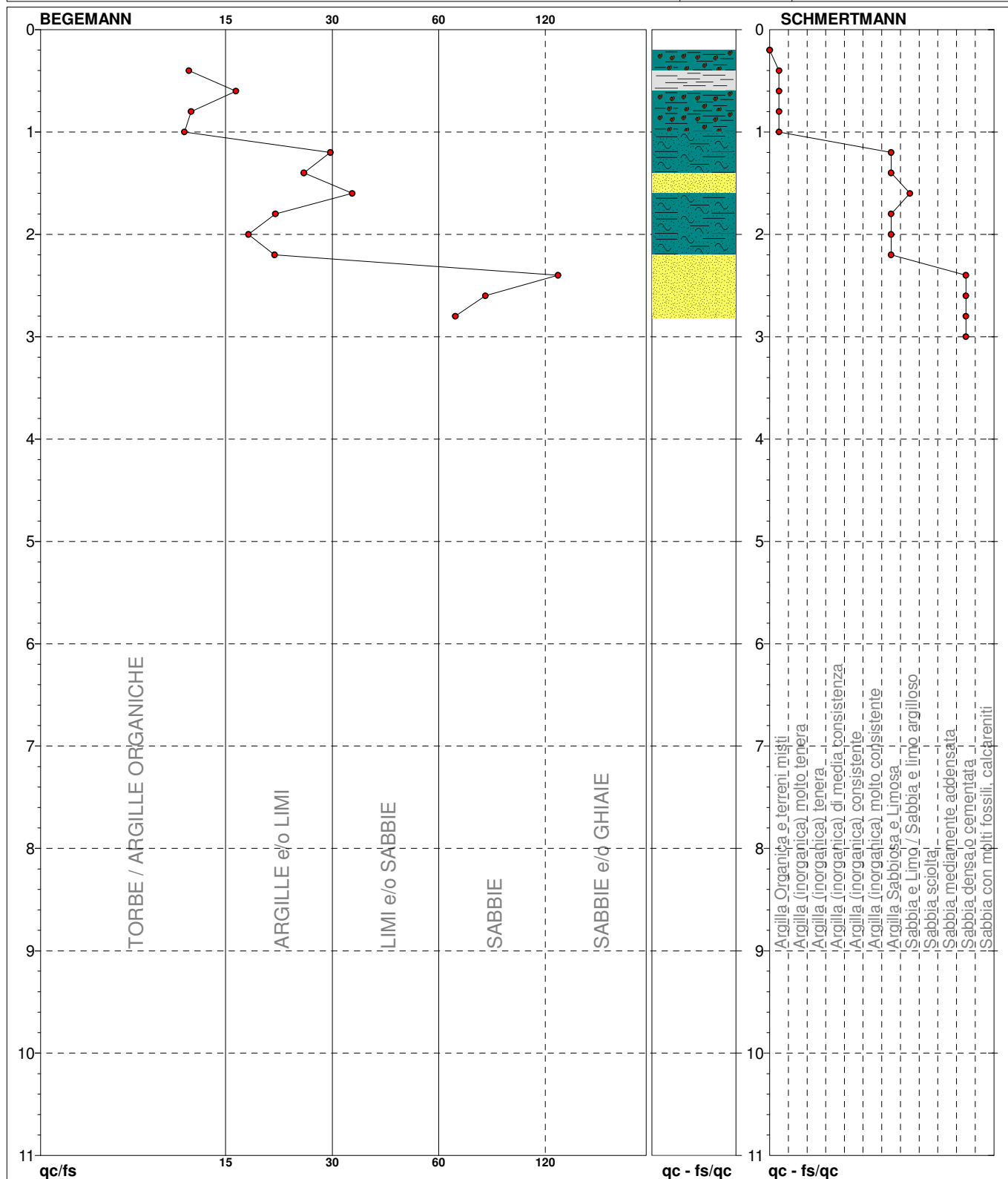
1017-2019

Committente **Studio tecnico**
Cantiere **Studio del terreno di fondazione**
Località **Sassuolo Autoporto**

U.M.: **MPa**
Scala: **1:55**
Pagina **1**
Elaborato

Data eseg. **10/12/2019**

Falda **Assente**



TORBE / ARGILLE OR	4 punti, 26.67%	Argilla Organica e terreni misti	4 punti, 26.67%	Sabbia e Limo / Sabbia e limo argilloso	1 punto, 6.67%
ARGILLE e/o LIMI	6 punti, 40.00%			Sabbia densa o cementata	3 punti, 20.00%
LIMI e/o SABBIE	1 punto, 6.67%				
SABBIE	3 punti, 20.00%				

FON111

Software by dott. Geol. Diego Merlin +39 0425-840820

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA PARAMETRI GEOTECNICI	CPT	4
	Riferimento	1017-2019

Committente	Studio tecnico	U.M.:	MPa	Data esec.	10/12/2019
Cantiere	Studio del terreno di fondazione	Pagina	1		
Località	Sassuolo Autoporto	Elaborato		Falda	Assente

							NATURA COESIVA					NATURA GRANULARE											
H	qc	qc/fs	zone	γ'	σ'_{vo}	Vs	Cu	OCR	Eu50	Eu25	Mo	Dr	Sc	Ca	Ko	DB	DM	Me	E'50	E'25	Mo	FL1	FL2
m	U.M.			t/m³	kPa	m/s	kPa	%	U.M.	U.M.	U.M.	%	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	U.M.	U.M.	U.M.		
0.20	--	--	?	1.85	3.6	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.40	0.88	12.33	2	1.85	7.3	127	44.1	60.0	7.5	11.2	3.7	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.60	1.08	16.42	2	1.85	10.9	137	52.6	45.0	8.9	13.4	4.2	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
0.80	0.98	12.50	2	1.85	14.5	132	49.0	28.8	8.3	12.5	3.9	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.00	1.18	12.00	2	1.85	18.1	141	56.0	25.7	9.5	14.3	4.4	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
1.20	3.43	29.17	4	1.85	21.8	211	114.3	50.0	19.4	29.2	10.3	73	40	35	32	30	39	29	5.7	8.6	10.3	--	--
1.40	3.72	24.84	4	1.85	25.4	218	124.1	45.7	21.1	31.7	11.2	72	40	35	32	30	39	30	6.2	9.3	11.2	--	--
1.60	5.88	33.33	3	1.85	29.0	259	--	--	--	--	--	84	41	36	33	31	40	32	9.8	14.7	17.6	--	--
1.80	5.59	20.88	4	1.85	32.6	254	186.2	55.4	31.7	47.5	16.8	79	41	35	33	30	39	31	9.3	14.0	16.8	--	--
2.00	5.78	17.72	4	1.85	36.3	257	192.7	50.7	32.8	49.1	17.3	78	41	35	32	30	39	32	9.6	14.5	17.3	--	--
2.20	9.51	20.77	4	1.85	39.9	310	316.9	83.7	53.9	80.8	28.5	93	42	37	34	32	41	34	15.8	23.8	28.5	--	--
2.40	34.30	116.67	3	1.85	43.5	503	--	--	--	--	--	100	43	43	40	38	45	40	57.2	85.8	102.9	--	--
2.60	19.11	75.00	3	1.85	47.1	404	--	--	--	--	--	100	43	40	37	34	43	38	31.9	47.8	57.3	--	--
2.80	20.38	62.46	3	1.85	50.8	414	--	--	--	--	--	100	43	40	37	34	43	38	34.0	51.0	61.2	--	--
3.00	29.40	--	3	1.85	54.4	475	--	--	--	--	--	100	43	41	39	36	44	40	49.0	73.5	88.2	--	--

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: GeoGroup Srl Descrizione: Studio del terreno di fondazione Località: Sassuolo	
--	--

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

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.63 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

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

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

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, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

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

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

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

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

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 30$ kg, altezza di caduta $H = 0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 20$ kg, altezza di caduta $H=0.20$ m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha= 60-90^\circ$), diametro $D = 35.7$ mm, area base cono $A=10 \text{ cm}^2$ rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27 \text{ cm}^2$ rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20 \text{ cm}^2$, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt} . Il passaggio viene dato da:

$$N_{SPT} = \beta_t \cdot N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M	peso massa battente.
M'	peso aste.
H	altezza di caduta.
A	area base punta conica.
δ	passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

R _{pd}	resistenza dinamica punta (area A).
e	infissione media per colpo (δ/N).
M	peso massa battente (altezza caduta H).
P	peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di (N₁)₆₀

(N₁)₆₀ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \text{ con } CN = \sqrt{(Pa/\sigma_{vo})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot (ER/60) \cdot C_s \cdot C_r \cdot C_d$$

ER/60	rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.
C _s	parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).
C _d	funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).
C _r	parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic 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 :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (+ s)

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media (- s)

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di N_{spt}

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza

(generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati N_{spt} il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING* (1982), applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se N_{spt} dello strato considerato risulta inferiore a N_{spt} critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione N_{spt} in presenza di falda

$$N_{spt \text{ corretto}} = 15 + 0.5 \cdot (N_{spt} - 15)$$

N_{spt} è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni $< 8-10$ t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito $< 38^\circ$.
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito $< 38^\circ$).
- Schmertmann (1977)- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONAL RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.

- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15 \text{ t/mq}$.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici.
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia.
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia

- Buisman-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss (1978-1981) . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_0)

- Navfac (1971-1982) - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.

- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità , (Cu-Nspt-grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC .
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago) . Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

- Stroud e Butler (1975),- per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali .
- Vesic (1970), correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - M_o (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt} = 6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15 .
- D'Appollonia ed altri (1983), correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

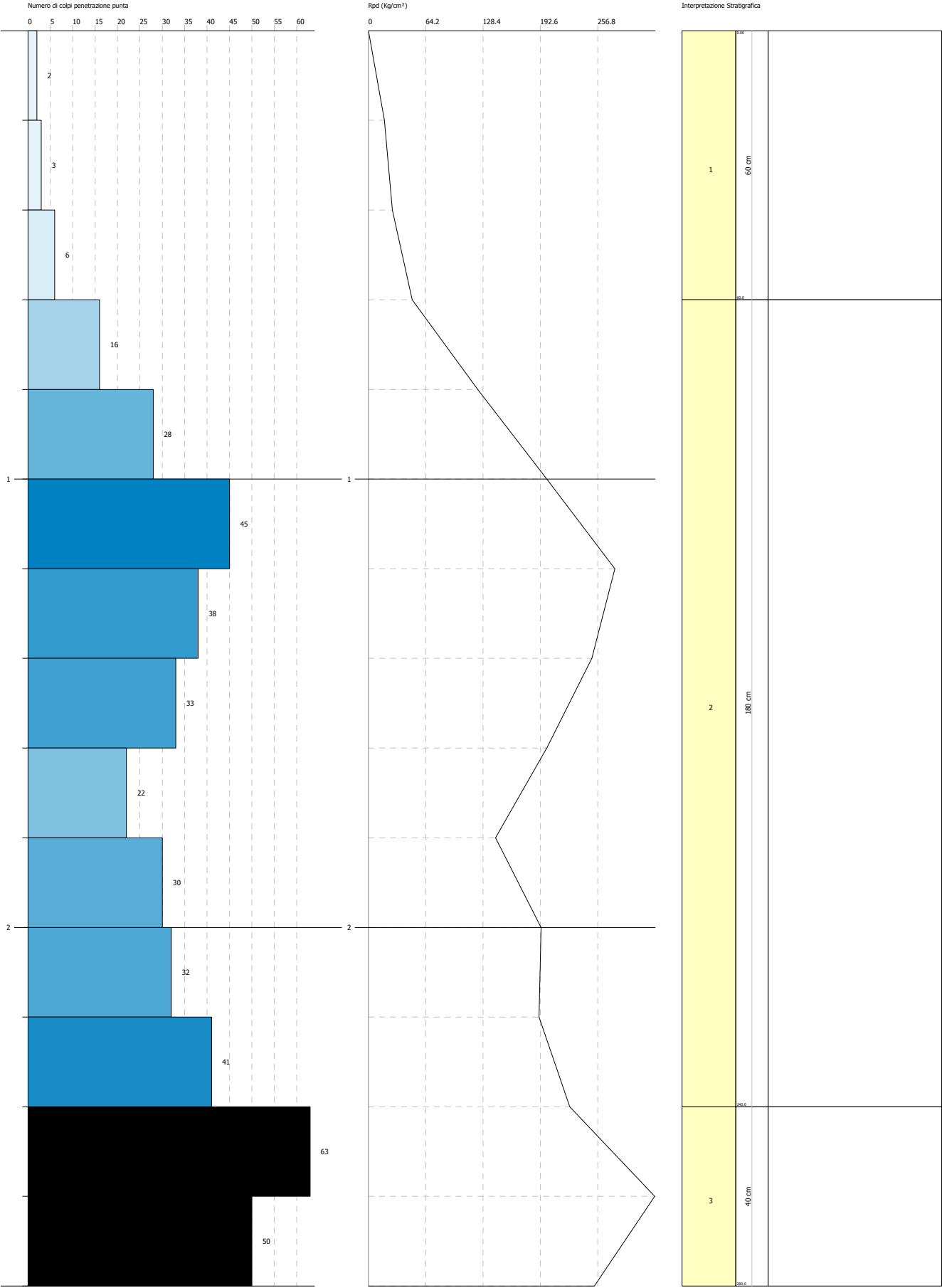
- Meyerhof ed altri.

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

Committente:
Descrizione:
Località:

Data: 10/12/2019

Scala 1:12



PROVA Nr.2

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI
 Prova eseguita in data 10/12/2019
 Profondità prova 2.80 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.20	2	0.855	17.96	21.01	0.90	1.05
0.40	3	0.851	26.82	31.52	1.34	1.58
0.60	6	0.847	49.01	57.86	2.45	2.89
0.80	16	0.793	122.41	154.30	6.12	7.71
1.00	28	0.740	199.75	270.02	9.99	13.50
1.20	45	0.636	276.11	433.95	13.81	21.70
1.40	38	0.683	250.24	366.45	12.51	18.32
1.60	33	0.680	199.83	294.06	9.99	14.70
1.80	22	0.726	142.39	196.04	7.12	9.80
2.00	30	0.723	193.33	267.33	9.67	13.37
2.20	32	0.670	191.08	285.15	9.55	14.26
2.40	41	0.617	225.47	365.34	11.27	18.27
2.60	63	0.614	320.48	521.75	16.02	26.09
2.80	50	0.611	253.18	414.08	12.66	20.70

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
0.6	3.67	36.8	Coesivo	0	1.78	1.88	0.05	1.47	5.39	
2.4	31.67	292.51	Coesivo	0	2.5	2.5	0.33	1.47	46.55	
2.8	56.5	467.91	Incoerente	0	2.5	2.22	0.61	1.47	83.06	

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2
TERRENI COESIVI
Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmertmann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman	De Beer
[1] -	5.39	0.60	0.34	0.67	0.25	0.22	0.53	1.10	0.49	0.84	0.27	0.89	0.67
[2] -	46.55	2.40	3.14	5.82	0.00	1.65	4.65	8.78	3.49	5.04	2.33	7.88	5.82

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] -	5.39	0.60	Robertson (1983)	10.78
[2] -	46.55	2.40	Robertson (1983)	93.10

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] -	5.39	0.60	24.73	80.85	56.77	67.38
[2] -	46.55	2.40	213.57	--	476.57	465.50

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] -	5.39	0.60	41.59	53.90
[2] -	46.55	2.40	514.93	465.50

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] -	5.39	0.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] -	46.55	2.40	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
[1] -	5.39	0.60	Meyerhof	1.78
[2] -	46.55	2.40	Meyerhof	2.50

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[1] -	5.39	0.60	Meyerhof	1.88
[2] -	46.55	2.40	Meyerhof	2.50

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	5.39	0.60		0
[2] -	46.55	2.40		0

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[3] -	83.06	2.80	83.57	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanes e National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[3] -	83.06	2.80	83.06	50.73	43.73	51.26	33.24	40.08	42	>38	50.3	51.92	55.28	55.76

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[3] -	83.06	2.80	83.06	650.53	664.48	980.81	802.95	490.30

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[3] -	83.06	2.80	83.06	498.36	198.07	589.73	408.45

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[3] -	83.06	2.80	83.06	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[3] -	83.06	2.80	83.06	Terzaghi-Peck 1948	1.97

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[3] -	83.06	2.80	83.06	Terzaghi-Peck 1948	2.22

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[3] -	83.06	2.80	83.06	(A.G.I.)	0.18

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[3] -	83.06	2.80	83.06	4141.35	1860.62

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[3] -	83.06	2.80	83.06	Ohta & Goto (1978) Lini	176.71

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[3] -	83.06	2.80	83.06	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[3] -	83.06	2.80	83.06		---

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

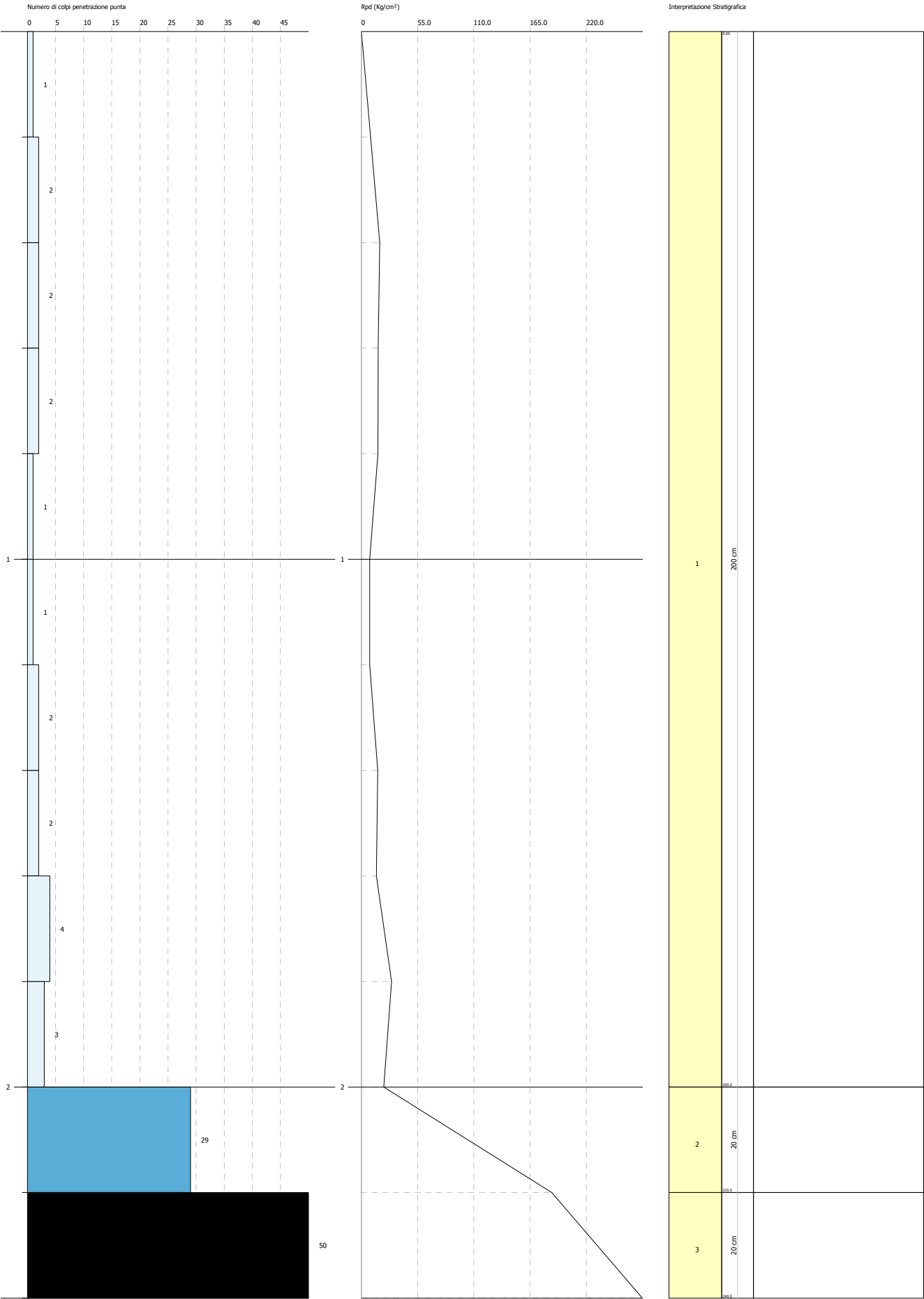
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[3] -	83.06	2.80	83.06		---

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

Committente:
Descrizione:
Località:

Data: 10/12/2019

Scala 1:10



Strumento utilizzato... **DPSH TG 63-200 PAGANI**
 Prova eseguita in data **10/12/2019**
 Profondità prova **2.40 mt**
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.20	1	0.855	8.98	10.51	0.45	0.53
0.40	2	0.851	17.88	21.01	0.89	1.05
0.60	2	0.847	16.34	19.29	0.82	0.96
0.80	2	0.843	16.27	19.29	0.81	0.96
1.00	1	0.840	8.10	9.64	0.40	0.48
1.20	1	0.836	8.06	9.64	0.40	0.48
1.40	2	0.833	16.06	19.29	0.80	0.96
1.60	2	0.830	14.78	17.82	0.74	0.89
1.80	4	0.826	29.45	35.64	1.47	1.78
2.00	3	0.823	22.01	26.73	1.10	1.34
2.20	29	0.720	186.09	258.41	9.30	12.92
2.40	50	0.617	274.96	445.54	13.75	22.28

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
2	2	18.89	Coesivo	0	1.63	1.86	0.16	1.47	2.94	
2.2	29	258.41	Coesivo	0	2.5	2.5	0.35	1.47	42.63	
2.4	50	445.54	Incoerente	0	2.46	2.2	0.4	1.47	73.5	

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] -	2.94	2.00	0.18	0.37	0.15	0.12	0.28	0.57	0.27	0.65	0.15	0.29	0.37
[2] -	42.63	2.20	2.88	5.33	0.00	1.53	4.26	7.75	3.26	4.54	2.13	7.22	5.33

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[1] -	2.94	2.00	Robertson (1983)	5.88
[2] -	42.63	2.20	Robertson (1983)	85.26

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] -	2.94	2.00	13.49	44.10	31.78	36.75
[2] -	42.63	2.20	195.59	--	436.59	426.30

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] -	2.94	2.00	13.41	29.40
[2] -	42.63	2.20	469.85	426.30

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] -	2.94	2.00	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[2] -	42.63	2.20	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
[1] -	2.94	2.00	Meyerhof	1.63
[2] -	42.63	2.20	Meyerhof	2.50

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[1] -	2.94	2.00	Meyerhof	1.86
[2] -	42.63	2.20	Meyerhof	2.50

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	2.94	2.00		0
[2] -	42.63	2.20		0

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[3] -	73.5	2.40	84.76	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[3] -	73.5	2.40	73.5	48	41	48.58	33.95	41.67	42	>38	48.2	49.05	54.99	53.34

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[3] -	73.5	2.40	73.5	611.95	588.00	868.00	731.25	442.50

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[3] -	73.5	2.40	73.5	441.00	178.44	521.85	365.81

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[3] -	73.5	2.40	73.5	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[3] -	73.5	2.40	73.5	Terzaghi-Peck 1948	1.95

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[3] -	73.5	2.40	73.5	Terzaghi-Peck 1948	2.21

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[3] -	73.5	2.40	73.5	(A.G.I.)	0.2

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[3] -	73.5	2.40	73.5	3691.68	1726.68

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[3] -	73.5	2.40	73.5	Ohta & Goto (1978) Limi	168.97

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[3] -	73.5	2.40	73.5	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[3] -	73.5	2.40	73.5		---

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

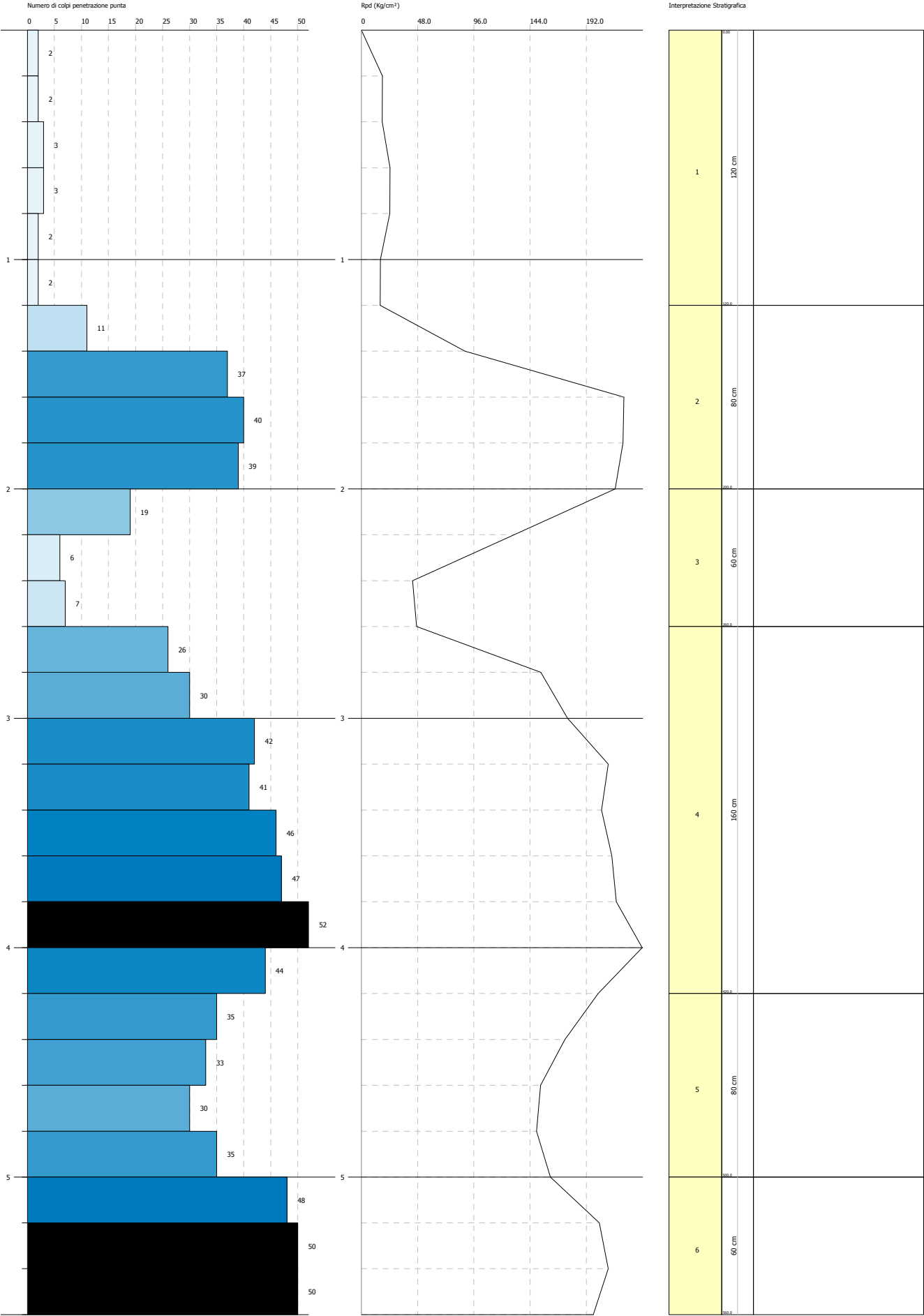
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[3] -	73.5	2.40	73.5		---

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

Committente:
Descrizione:
Località:

Data: 10/12/2019

Scala 1:23



PROVA ... Nr.5

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI
 Prova eseguita in data 10/12/2019
 Profondità prova 5.60 mt
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.20	2	0.855	17.96	21.01	0.90	1.05
0.40	2	0.851	17.88	21.01	0.89	1.05
0.60	3	0.847	24.50	28.93	1.23	1.45
0.80	3	0.843	24.40	28.93	1.22	1.45
1.00	2	0.840	16.20	19.29	0.81	0.96
1.20	2	0.836	16.13	19.29	0.81	0.96
1.40	11	0.833	88.35	106.08	4.42	5.30
1.60	37	0.680	224.05	329.70	11.20	16.49
1.80	40	0.626	223.24	356.43	11.16	17.82
2.00	39	0.623	216.57	347.52	10.83	17.38
2.20	19	0.770	130.39	169.31	6.52	8.47
2.40	6	0.817	43.69	53.47	2.18	2.67
2.60	7	0.814	47.20	57.97	2.36	2.90
2.80	26	0.711	153.19	215.32	7.66	10.77
3.00	30	0.709	176.07	248.45	8.80	12.42
3.20	42	0.606	210.79	347.83	10.54	17.39
3.40	41	0.603	204.88	339.55	10.24	16.98
3.60	46	0.601	213.81	355.83	10.69	17.79
3.80	47	0.598	217.56	363.57	10.88	18.18
4.00	52	0.596	239.75	402.25	11.99	20.11
4.20	44	0.594	202.07	340.36	10.10	17.02
4.40	35	0.641	173.66	270.74	8.68	13.54
4.60	33	0.639	153.08	239.48	7.65	11.97
4.80	30	0.687	149.59	217.71	7.48	10.89
5.00	35	0.635	161.29	253.99	8.06	12.70
5.20	48	0.583	203.08	348.33	10.15	17.42
5.40	50	0.581	210.83	362.85	10.54	18.14
5.60	50	0.579	197.89	341.71	9.89	17.09

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.2	2.4	23.49	Coesivo	0	1.67	1.87	0.1	1.47	3.53	
2	31.75	284.93	Incoerente - coesivo	0	2.5	2.5	0.3	1.47	46.67	
2.6	10.67	93.58	Incoerente - coesivo	0	2.07	2.28	0.46	1.47	15.68	
4.2	41	326.65	Incoerente	0	2.29	2.17	0.71	1.47	60.27	
5	33.25	245.48	Incoerente - coesivo	0	2.5	2.5	0.99	1.47	48.88	
5.6	49.33	350.96	Incoerente	0	2.44	2.2	1.16	1.47	72.52	

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.5
TERRENI COESIVI
Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] -	3.53	1.20	0.22	0.44	0.15	0.14	0.34	0.71	0.32	0.70	0.18	0.49	0.44
[2] -	46.67	2.00	3.15	5.83	0.00	1.65	4.67	8.55	3.50	5.05	2.33	7.98	5.83
[3] -	15.68	2.60	1.06	1.96	1.00	0.62	1.55	2.81	1.36	1.69	0.78	2.42	1.96
[5] -	48.88	5.00	3.30	6.11	0.00	1.72	4.89	7.36	3.62	5.34	2.44	7.84	6.11

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] -	3.53	1.20	Robertson (1983)	7.06
[2] -	46.67	2.00	Robertson (1983)	93.34
[3] -	15.68	2.60	Robertson (1983)	31.36
[5] -	48.88	5.00	Robertson (1983)	97.76

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] -	3.53	1.20	16.20	52.95	37.80	44.13
[2] -	46.67	2.00	214.12	--	477.80	466.70
[3] -	15.68	2.60	71.94	--	161.72	156.80
[5] -	48.88	5.00	224.26	--	500.34	488.80

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] -	3.53	1.20	20.20	35.30
[2] -	46.67	2.00	516.31	466.70
[3] -	15.68	2.60	159.92	156.80
[5] -	48.88	5.00	541.72	488.80

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] -	3.53	1.20	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[2] -	46.67	2.00	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE
[3] -	15.68	2.60	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE
[5] -	48.88	5.00	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
[1] -	3.53	1.20	Meyerhof	1.67
[2] -	46.67	2.00	Meyerhof	2.50
[3] -	15.68	2.60	Meyerhof	2.07
[5] -	48.88	5.00	Meyerhof	2.50

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
[1] -	3.53	1.20	Meyerhof	1.87
[2] -	46.67	2.00	Meyerhof	2.50
[3] -	15.68	2.60	Meyerhof	2.28
[5] -	48.88	5.00	Meyerhof	2.50

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	3.53	1.20		0
[2] -	46.67	2.00		0
[3] -	15.68	2.60		0
[5] -	48.88	5.00		0

TERRENI INCOERENTI**Densità relativa**

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[2] -	46.67	2.00	73.41	100	100	77.64
[3] -	15.68	2.60	41.59	77.13	78.08	44.23
[4] -	60.27	4.20	71.63	100	100	90.36
[5] -	48.88	5.00	60.81	100	100	79.43
[6] -	72.52	5.60	69.09	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerh of 1956	Meyerh of (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerh of (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanes e National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[2] -	46.67	2.00	46.67	40.33	33.33	41.07	33.84	42.23	42	35-38	41.46	41	51.41	45.55
[3] -	15.68	2.60	15.68	31.48	24.48	32.39	31.13	35.7	38.8	30-32	30.34	31.7	41.27	32.71
[4] -	60.27	4.20	60.27	44.22	37.22	44.88	32.39	42.66	42	>38	45.07	45.08	52.09	49.72
[5] -	48.88	5.00	48.88	40.97	33.97	41.69	31.32	42.4	42	35-38	42.08	41.66	49.19	46.27
[6] -	72.52	5.60	72.52	47.72	40.72	48.31	31.61	41.79	42	>38	47.98	48.76	51.97	53.08

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[2] -	46.67	2.00	46.67	487.63	373.36	551.41	530.02	308.35
[3] -	15.68	2.60	15.68	282.65	125.44	185.72	297.60	153.40
[4] -	60.27	4.20	60.27	554.14	482.16	711.89	632.03	376.35
[5] -	48.88	5.00	48.88	499.04	391.04	577.48	546.60	319.40
[6] -	72.52	5.60	72.52	607.85	580.16	856.44	723.90	437.60

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[2] -	46.67	2.00	46.67	280.02	123.33	331.36	246.15
[3] -	15.68	2.60	15.68	94.08	59.67	111.33	107.93
[4] -	60.27	4.20	60.27	361.62	151.26	427.92	306.80
[5] -	48.88	5.00	48.88	293.28	127.87	347.05	256.00
[6] -	72.52	5.60	72.52	435.12	176.42	514.89	361.44

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[2] -	46.67	2.00	46.67	Classificazione A.G.I	ADDENSATO
[3] -	15.68	2.60	15.68	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[4] -	60.27	4.20	60.27	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
[5] -	48.88	5.00	48.88	Classificazione A.G.I	ADDENSATO
[6] -	72.52	5.60	72.52	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[2] -	46.67	2.00	46.67	Terzaghi-Peck 1948	1.83
[3] -	15.68	2.60	15.68	Terzaghi-Peck 1948	1.55
[4] -	60.27	4.20	60.27	Terzaghi-Peck 1948	1.91
[5] -	48.88	5.00	48.88	Terzaghi-Peck 1948	1.85
[6] -	72.52	5.60	72.52	Terzaghi-Peck 1948	1.95

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[2] -	46.67	2.00	46.67	Terzaghi-Peck 1948	2.14
[3] -	15.68	2.60	15.68	Terzaghi-Peck 1948	1.96
[4] -	60.27	4.20	60.27	Terzaghi-Peck 1948	2.18
[5] -	48.88	5.00	48.88	Terzaghi-Peck 1948	2.15
[6] -	72.52	5.60	72.52	Terzaghi-Peck 1948	2.21

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[2] -	46.67	2.00	46.67	(A.G.I.)	0.26
[3] -	15.68	2.60	15.68	(A.G.I.)	0.32
[4] -	60.27	4.20	60.27	(A.G.I.)	0.23
[5] -	48.88	5.00	48.88	(A.G.I.)	0.26
[6] -	72.52	5.60	72.52	(A.G.I.)	0.21

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[2] -	46.67	2.00	46.67	2408.85	1308.25
[3] -	15.68	2.60	15.68	864.05	671.84
[4] -	60.27	4.20	60.27	3063.43	1529.51
[5] -	48.88	5.00	48.88	2515.92	1345.76
[6] -	72.52	5.60	72.52	3645.39	1712.58

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[2] -	46.67	2.00	46.67	Ohta & Goto (1978) Limi	145.63
[3] -	15.68	2.60	15.68	Ohta & Goto (1978) Limi	129.34
[4] -	60.27	4.20	60.27	Ohta & Goto (1978) Limi	176.06
[5] -	48.88	5.00	48.88	Ohta & Goto (1978) Limi	179.99
[6] -	72.52	5.60	72.52	Ohta & Goto (1978) Limi	198.05

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[2] -	46.67	2.00	46.67	Seed e Idriss (1971)	--
[3] -	15.68	2.60	15.68	Seed e Idriss (1971)	--
[4] -	60.27	4.20	60.27	Seed e Idriss (1971)	--
[5] -	48.88	5.00	48.88	Seed e Idriss (1971)	--
[6] -	72.52	5.60	72.52	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo K0=SigmaH/P0

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[2] -	46.67	2.00	46.67		---
[3] -	15.68	2.60	15.68		---
[4] -	60.27	4.20	60.27		---
[5] -	48.88	5.00	48.88		---
[6] -	72.52	5.60	72.52		---

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

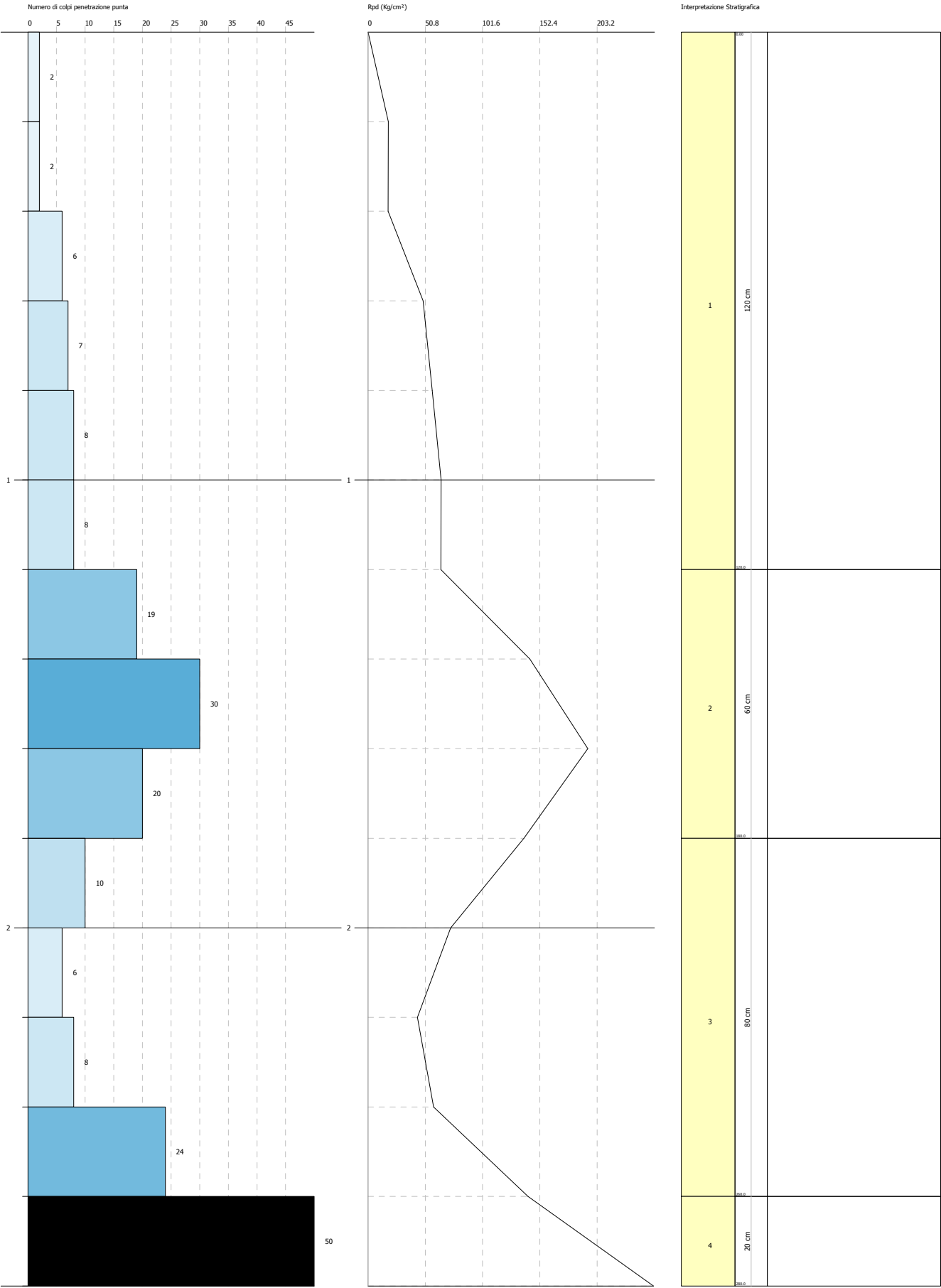
	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[2] -	46.67	2.00	46.67		---
[3] -	15.68	2.60	15.68		---
[4] -	60.27	4.20	60.27		---
[5] -	48.88	5.00	48.88		---
[6] -	72.52	5.60	72.52		---

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.6
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente:
Descrizione:
Località:

Data: 10/12/2019

Scala 1:12



Strumento utilizzato... **DPSH TG 63-200 PAGANI**
 Prova eseguita in data **10/12/2019**
 Profondità prova **2.80 mt**
 Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.20	2	0.855	17.96	21.01	0.90	1.05
0.40	2	0.851	17.88	21.01	0.89	1.05
0.60	6	0.847	49.01	57.86	2.45	2.89
0.80	7	0.843	56.93	67.50	2.85	3.38
1.00	8	0.840	64.78	77.15	3.24	3.86
1.20	8	0.836	64.52	77.15	3.23	3.86
1.40	19	0.783	143.44	183.23	7.17	9.16
1.60	30	0.730	195.03	267.33	9.75	13.37
1.80	20	0.776	138.35	178.22	6.92	8.91
2.00	10	0.823	73.35	89.11	3.67	4.46
2.20	6	0.820	43.85	53.47	2.19	2.67
2.40	8	0.817	58.25	71.29	2.91	3.56
2.60	24	0.714	141.96	198.76	7.10	9.94
2.80	50	0.611	253.18	414.08	12.66	20.70

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1.2	6.2	60.14	Coesivo	0	1.94	2.13	0.12	1.47	9.11	
1.8	23	209.59	Coesivo	0	2.25	2.5	0.3	1.47	33.81	
2.6	12	103.15	Coesivo	0	2.09	2.3	0.45	1.47	17.64	
2.8	50	414.08	Incoerente	0	2.46	2.2	0.56	1.47	73.5	

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.6

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terzaghi -Peck	Sanglerat	Terzaghi -Peck (1948)	U.S.D.M .S.M	Schmert mann 1975	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Begeman n	De Beer
[1] -	9.11	1.20	0.62	1.14	0.50	0.37	0.89	1.80	0.81	1.13	0.46	1.46	1.14
[2] -	33.81	1.80	2.28	4.23	0.00	1.25	3.37	6.29	2.70	3.51	1.69	5.75	4.23
[3] -	17.64	2.60	1.19	2.21	1.00	0.69	1.74	3.10	1.51	1.86	0.88	2.76	2.21

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[1] -	9.11	1.20	Robertson (1983)	18.22
[2] -	33.81	1.80	Robertson (1983)	67.62
[3] -	17.64	2.60	Robertson (1983)	35.28

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] -	9.11	1.20	41.80	--	94.71	113.88
[2] -	33.81	1.80	155.12	--	346.63	338.10
[3] -	17.64	2.60	80.93	--	181.71	176.40

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] -	9.11	1.20	84.37	91.10
[2] -	33.81	1.80	368.42	338.10
[3] -	17.64	2.60	182.46	176.40

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] -	9.11	1.20	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[2] -	33.81	1.80	A.G.I. (1977)	ESTREM. CONSISTENTE
[3] -	17.64	2.60	A.G.I. (1977)	MOLTO CONSISTENTE

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
[1] -	9.11	1.20	Meyerhof	1.94
[2] -	33.81	1.80	Meyerhof	2.25
[3] -	17.64	2.60	Meyerhof	2.09

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
[1] -	9.11	1.20	Meyerhof	2.13
[2] -	33.81	1.80	Meyerhof	2.50
[3] -	17.64	2.60	Meyerhof	2.30

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] -	9.11	1.20		0
[2] -	33.81	1.80		0
[3] -	17.64	2.60		0

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[4] -	73.5	2.80	80.8	100	100	100

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[4] -	73.5	2.80	73.5	48	41	48.58	33.22	41.67	42	>38	48.2	49.05	54.39	53.34

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[4] -	73.5	2.80	73.5	611.95	588.00	868.00	731.25	442.50

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[4] -	73.5	2.80	73.5	441.00	178.44	521.85	365.81

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[4] -	73.5	2.80	73.5	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[4] -	73.5	2.80	73.5	Terzaghi-Peck 1948	1.95

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[4] -	73.5	2.80	73.5	Terzaghi-Peck 1948	2.21

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[4] -	73.5	2.80	73.5	(A.G.I.)	0.2

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[4] -	73.5	2.80	73.5	3691.68	1726.68

Velocità onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[4] -	73.5	2.80	73.5	Ohta & Goto (1978) Limi	174.28

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[4] -	73.5	2.80	73.5	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_{vh}/\sigma_{v0}$

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K_0
[4] -	73.5	2.80	73.5		---

 Q_c (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Q_c (Kg/cm²)
[4] -	73.5	2.80	73.5		---

Indagini geognostiche, geofisiche e consulenze geologiche e geotecniche

ALLEGATO N° 2

Indagini sismiche

SASSUOLO AUTOPORTO, MASW1

Start recording: 11/12/19 15:28:31 End recording: 11/12/19 15:28:34

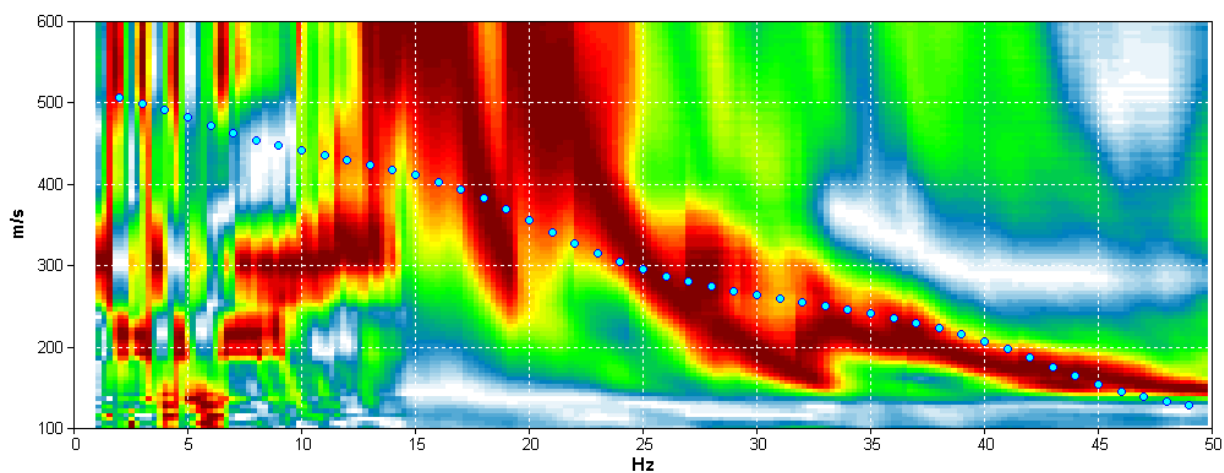
Trace length: 0h00'03".

Sampling rate: 4000 Hz

Channel labels: CH01 ; CH02 ; CH03 ; CH04 ; CH05 ; CH06 ; CH07 ;
CH08 ; CH09 ; CH10 ; CH11 ; CH12 ; CH13 ; CH14 ; CH15 ; CH16
; CH17

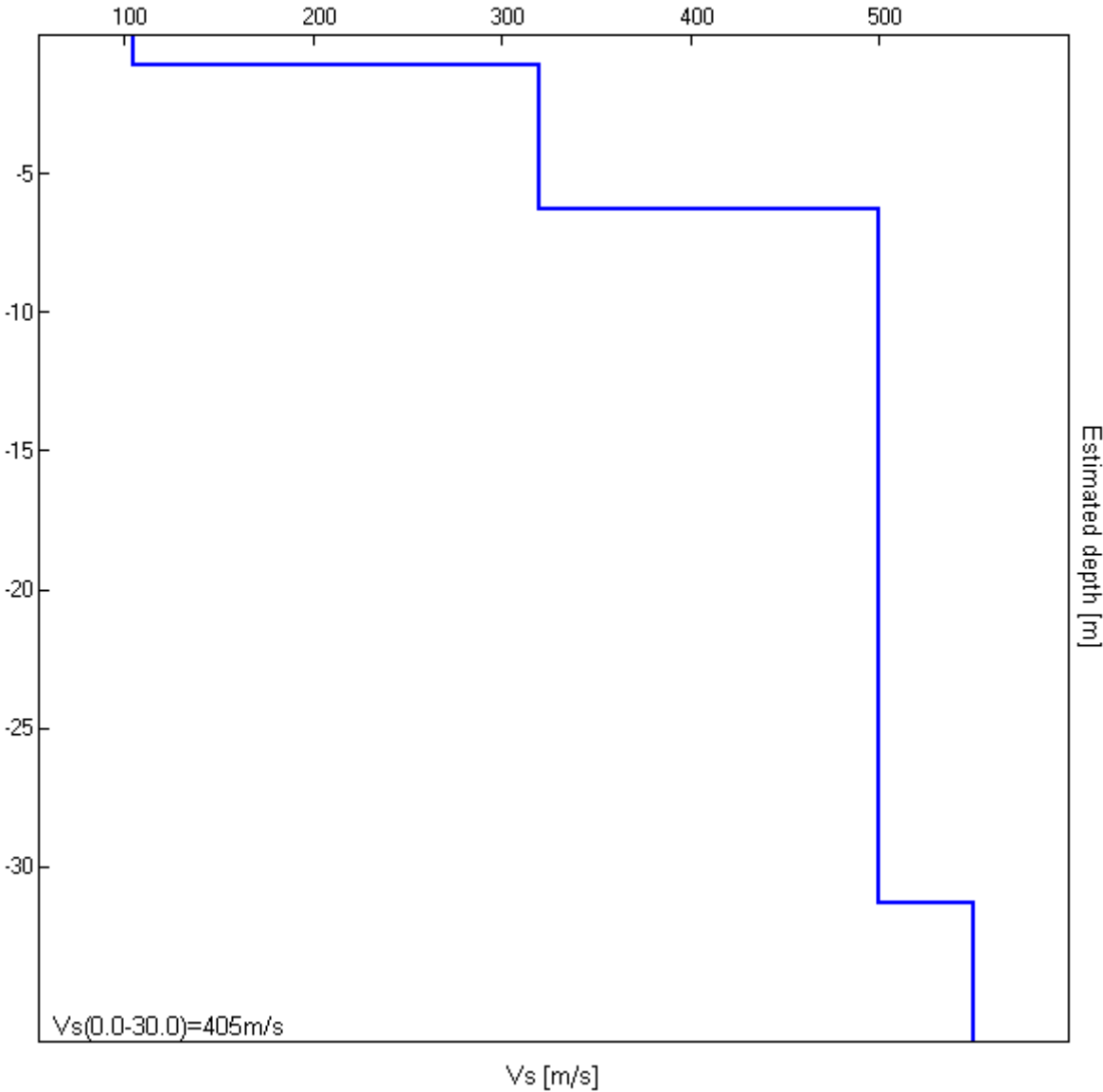
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 30.0 32.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.10	1.10	105	0.42
6.30	5.20	320	0.42
31.30	25.00	500	0.42
inf.	inf.	550	0.42

Vs(0.0-30.0)=405m/s



SASSUOLO AUTOPORTO, MASW2

Start recording: 11/12/19 16:11:49 End recording: 11/12/19 16:11:52

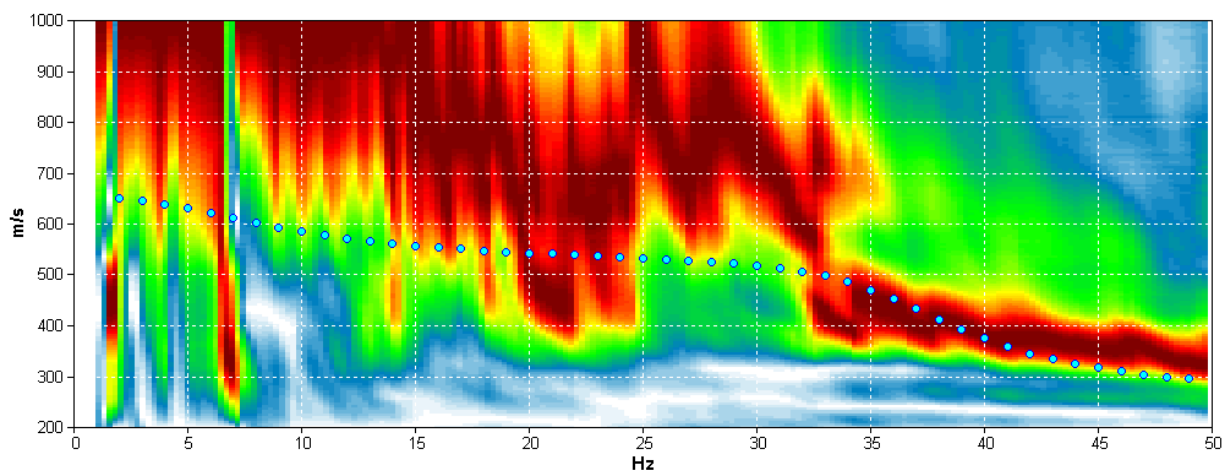
Trace length: 0h00'03".

Sampling rate: 4000 Hz

Channel labels: CH01 ; CH02 ; CH03 ; CH04 ; CH05 ; CH06 ; CH07 ;
CH08 ; CH09 ; CH10 ; CH11 ; CH12 ; CH13 ; CH14 ; CH15

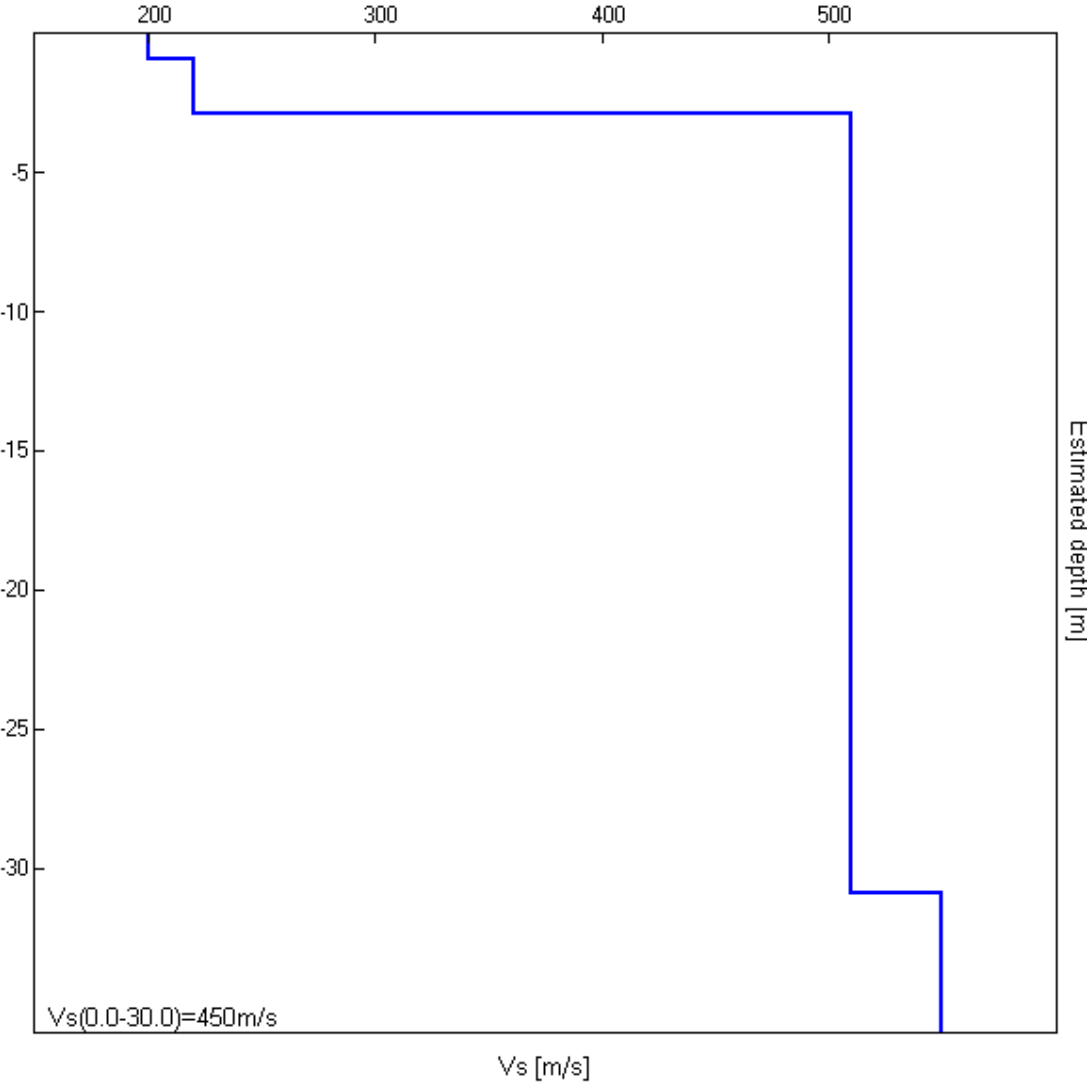
Array geometry (x): 0.0 2.0 4.0 6.0 8.0 10.0 12.0 14.0 16.0 18.0 20.0 22.0 24.0 26.0 28.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.90	0.90	200	0.42
2.90	2.00	220	0.42
30.90	28.00	510	0.42
inf.	inf.	550	0.42

Vs(0.0-30.0)=450 m/s



SASSUOLO AUTOPORTO HV1

Instrument: TE3-0303/01-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 05/12/19 11:41:59 End recording: 05/12/19 12:01:59

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 60% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

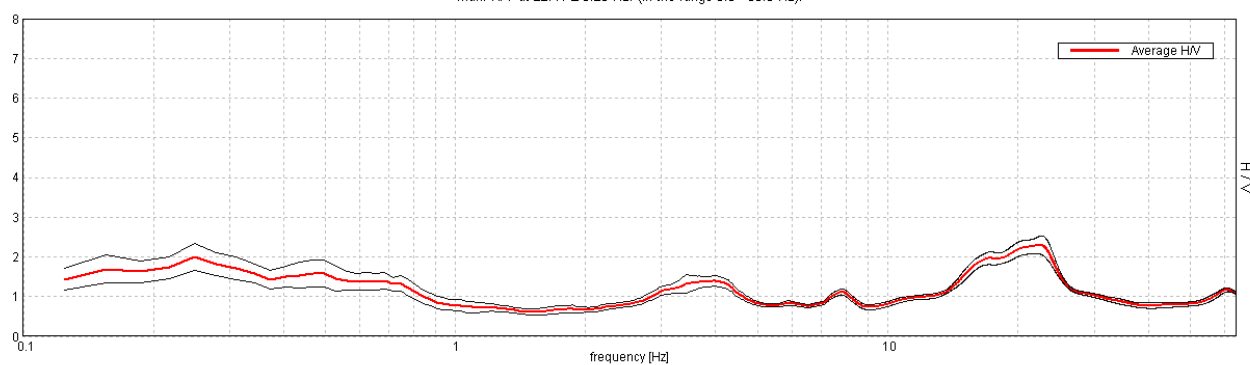
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

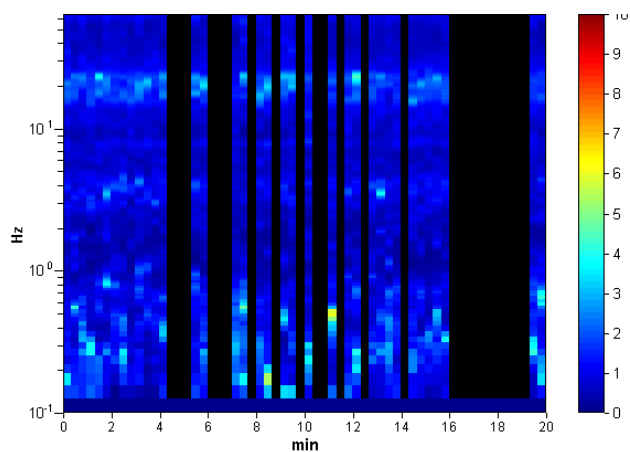
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

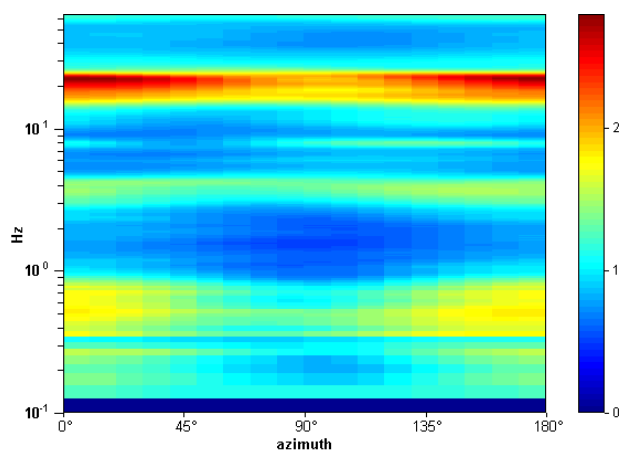
Max. H/V at 22.41 ± 8.25 Hz. (In the range 0.0 - 30.0 Hz).



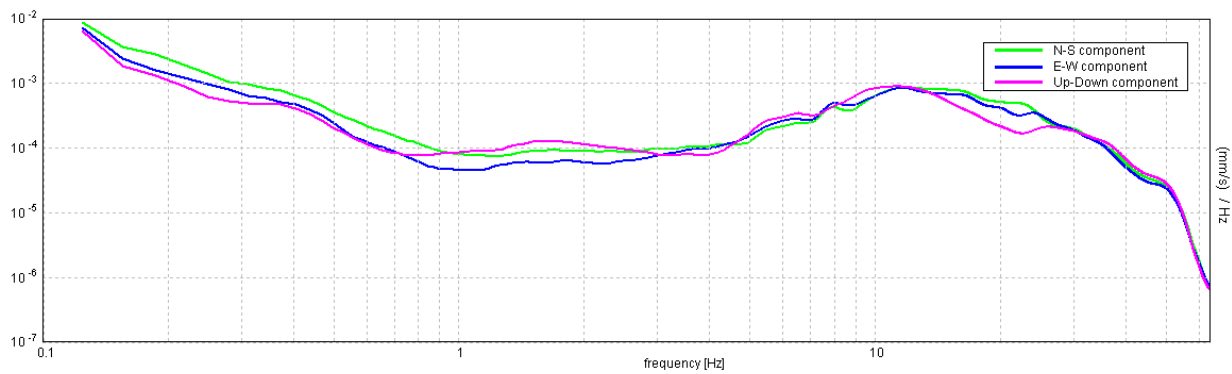
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 22.41 ± 8.25 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$22.41 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$16132.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1076 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	13.75 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	26.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.30 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.3683 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$8.25221 < 1.12031$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2214 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

SASSUOLO AUTOPORTO HV2

Instrument: TE3-0303/01-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 11/12/19 17:19:53 End recording: 11/12/19 17:39:53

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 82% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

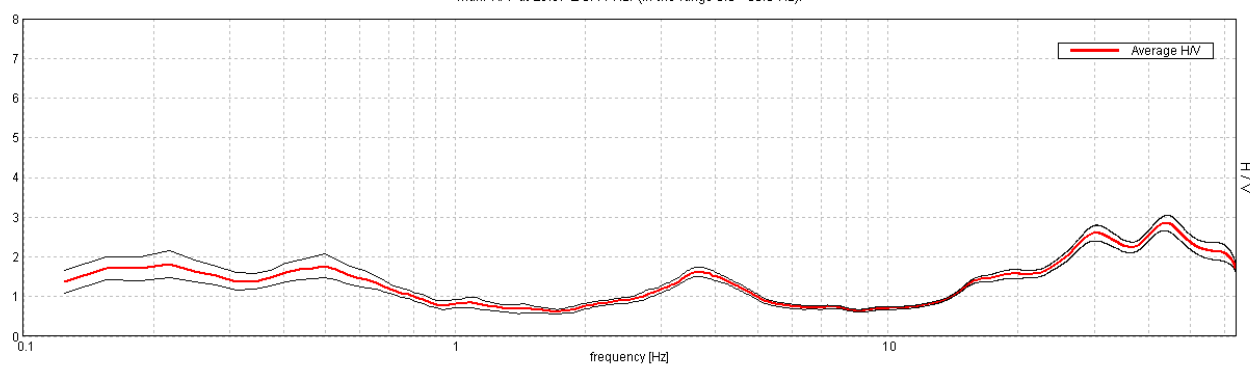
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

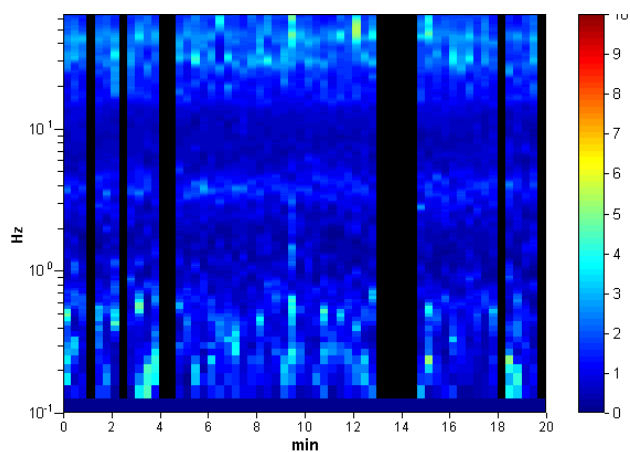
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

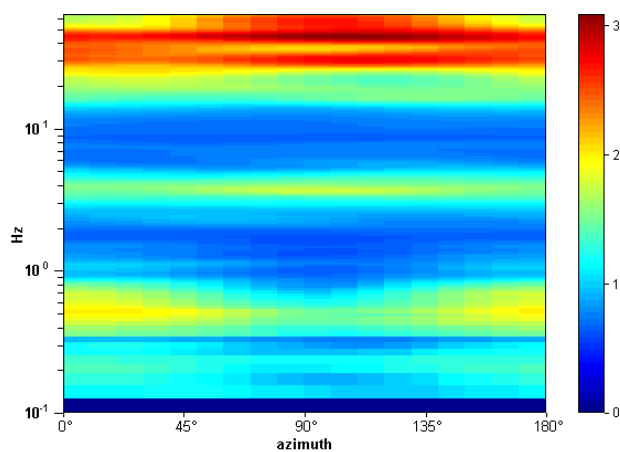
Max. H/V at 29.97 ± 8.44 Hz. (In the range 0.0 - 30.0 Hz).



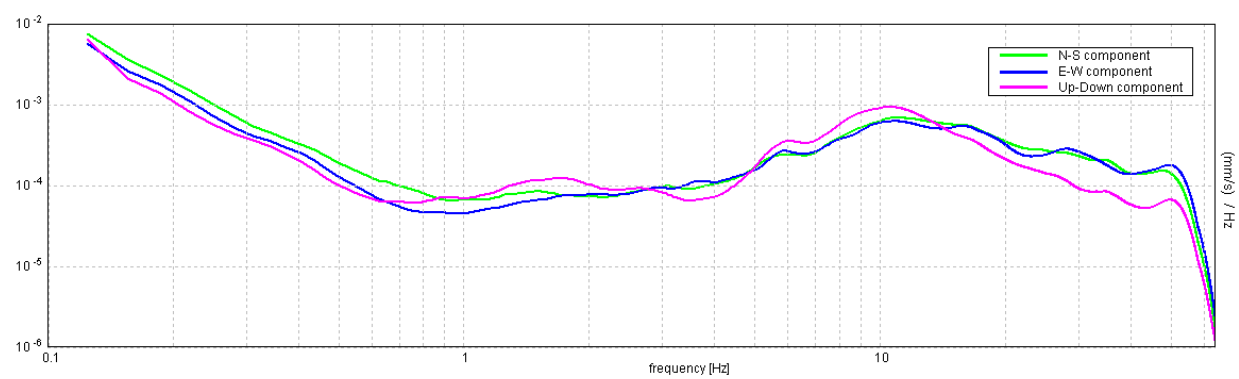
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 29.97 ± 8.44 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$29.97 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$29369.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1440 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	15.281 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.59 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.28162 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$8.43982 < 1.49844$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1902 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20