UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA

Comune di Pesaro

ARPAM AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTALE

marche multiservizi

Area "Ex-Amga"
Via Morosini - Comune di Pesaro (PU)

Gara d'Appalto Lavoro

D.Lgs. 18 Aprile 2016 n.50

PROGETTO ESECUTIVO

Progetto di Bonifica "Area Ex-Amga" ai sensi del D.Lgs. 152/2006

ELABORATO 2

Relazione Geologica

Approvato	Ing. Franco Macor *Marche Multiservizi S.p.A.*			**Progetto di bonifica** UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELLA TUSCIA ARPAM AGENZIA REGIONALE PER LA PROTEZIONE AMBIENTALE Comune di Pesaro
Redatto	Geologo Marco Brunelli	Firmato digitalmente da **MARCO BRUNELLI** CN = BRUNELLI MARCO O = Ordine dei Geologi della Regione Marche C = IT		
Rev.	02	**Data**	Maggio 2021	
Cod. Doc.	AMG 01 PU AL 01 E1 RG 00.03	**Pagine**	1 di 11	

Sommario

1. PREMESSA 1

2. UBICAZIONE GEOGRAFICA, GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA 2

3. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E IDROGEOLOGIA 3

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DI LABORATORIO 5

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA IN SITU DA ELABORAZIONE PROVE CPT 6

6. MODELLO GEOTECNICO DI SOTTOSUOLO 7

7. STIMA DELLE ACCELERAZIONI MASSIME DI SITO E DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI E VERTICALI DELL'AZIONE SISMICA 8

Allegati fuori testo:

- Stralcio C.T.R. SEZ 268070 – scala 1:10.000
- Stralcio P.A.I. tav. RI 2c - scala 1:7.500
- Stralcio carta geologica regionale - sezione 268070 - scala 1:10.000
-
- Planimetria area ex AMGA con ubicazione dati - scala 1:200
- Sezione geomeccanica-litostratigrafica A-B - scala 1:200
- Elaborazioni e grafici n°3 prove penetrometriche statiche CPT (solo elaborazione media minima)
- Relazione indagine sismica M.A.S.W. + sismica passiva H.V.S.R
- Rapporto di analisi geotecniche di laboratorio

1. PREMESSA

Su incarico della Multiservizi S.p.a. è stato svolto uno studio geologico, geotecnico e sismico finalizzato alla variante al progetto operativo degli interventi di bonifica ai sensi del D.lgs. 152/06 del sito Area Centro Direzionale Benelli, via Morosini, Pesaro (PU).

Nello specifico il presente studio è stato focalizzato sul progetto di realizzazione di una rampa di accesso all'area suddetta e di una struttura di protezione dell'impianto di depurazione delle acque di falda presenti nel sottosuolo dell'area.

Per la caratterizzazione litostratigrafica e geotecnica del sottosuolo oggetto di indagine sono state eseguite le seguenti operazioni:

⟶ *reperimento di dati litostratigrafici* da sondaggi a carotaggio eseguiti nelle varie campagne di caratterizzazione ambientale dell'area; i sondaggi, sebbene di modesta profondità poiché realizzati con lo scopo di campionare terreno e installare piezometri per il campionamento delle acque fino alla profondità raggiunta dall'inquinamento, sono risultati comunque utili nella descrizione dei primi metri di terreno presente al di sotto del piano campagna e quindi nella taratura dei dati indiretti registrati con le prove penetrometriche;

⟶ *svolgimento* di *3 prove penetrometriche statiche* con punta meccanica tipo Begemann (CPT), ubicate come osservabile dalla allegata planimetria, due in corrispondenza della zona di progetto della rampa di accesso da Via Morosini e una in corrispondenza dell'area nella quale è prevista la realizzazione della tettoia;

⟶ *prelievo,* in un foro realizzato nelle immediate vicinanze della prova penetrometrica CPT 2 *di un campione indisturbato di terreno*, con campionatore semplice in acciaio infisso a percussione per mezzo del sistema di battitura del penetrometro; il campione è stato prelevato alla profondità di -1,10÷1,40 m dal p.c. all'interno dell'argilla con limo alluvionale;

⟶ *analisi geotecniche di laboratorio* sul campione prelevato, volte a determinarne le caratteristiche fisiche (contenuto in acqua e massa volumica), i limiti di consistenza di Atterberg e i parametri di resistenza al taglio diretto di picco e allo stato ultimo/critico;

⟶ *indagine sismica* attiva di tipo M.A.S.W. con 12 geofoni disposti lungo uno stendimento di 50 m con acquisizioni sia in onde di Rayleigh sia in onde di Love e passiva di tipo H.V.S.R. con tromografo posto all'incirca al centro dello stendimento M.A.S.W.;

⟶ *correlazione dei dati litostratigrafici e geomeccanici/geotecnici* a disposizione in una *sezione litostratigrafica e geomeccanica* grazie alla quale si è ipotizzato un modello geotecnico di sottosuolo.

2. UBICAZIONE GEOGRAFICA, GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA

L'area di indagine è ubicata in zona densamente urbanizzata posta a nord ovest del centro storico di Pesaro, in destra idrografica del Fiume Foglia, ad una distanza minima di circa 120 m dall'alveo fluviale nel suo ultimo tratto prima di sfociare, dopo un chilometro circa, nel mare Adriatico. L'area è attualmente sottoposta a bonifica in quanto oggetto di inquinamento per vecchi sversamenti di sottoprodotti della lavorazione del carbone per la produzione di gas e carbone coke, lavorazioni già attive prima della seconda guerra mondiale; ha un'estensione complessiva di circa 5.200 m^2 e una quota originaria (attuale quota di via Morosini) di 3 m s.l.m., quota ormai fortemente modificata dagli sbancamenti per l'asportazione del terreno inquinato, rimpiazzato in parte da ghiaia pulita, e per l'installazione di pompe per il sollevamento e la depurazione dell'acqua di falda, tanto che il piano del sito in oggetto si trova a quote variabili da 1 a 2 metri inferiori a quelle di via Morosini, la via che ne delimita il confine nord e dalla quale si accede all'area. Il sito in studio si trova all'interno della piana alluvionale in destra idrografica del Fiume Foglia, e i sedimenti che costituiscono il sottosuolo sono depositi alluvionali terrazzati costituiti da alternanze di materiali fini limosi e argillosi, a tratti con ghiaie e ciottoli all'interno e orizzonti di materiale più grossolano sabbioso ghiaioso in scarsa matrice limosa. Nell'area urbana il Fiume Foglia scorre con andamento prevalente orientato da Sud-Ovest verso Nord-Est sulle proprie alluvioni che poggiano su una struttura geologica costituita da una serie di strette anticlinali e sinclinali disposte in direzione Nord-Ovest-Sud-Est con terreni del substrato pre-quaternari di origine marina. In queste formazioni geologiche il corso d'acqua ha scavato la sua valle, colmandola con abbondanti sedimenti alluvionali attraverso fasi alternate di erosione e deposizione nel corso del Pleistocene e dell'Olocene.

Nell'area di studio, al di sotto dei depositi alluvionali il substrato di deposizione marina è costituito dalla Formazione a Colombacci, ascrivibile al periodo Messiniano, come osservabile dall'allegato stralcio della carta geologica regionale, terreni che dovrebbero trovarsi nell'area ad una profondità di circa 43m al di sotto del p.c. (45 m circa dal p.c. originale), come evidenziato dall'improvviso aumento delle velocità delle onde di taglio registrato a 43,2 m dall'indagine MASW.

La zona in studio è inserita all'interno dell'area esondabile del fiume Foglia che, mentre più a monte e più a valle del tratto considerato è stata tracciata nella cartografia P.A.I. (vedi stralcio) quasi coincidente con la piana alluvionale recente all'interno degli argini, proprio in corrispondenza del tratto più prossimo all'area in studio si allarga fino ad interessare l'intero "quartiere" nel quale si ubica il sito, compreso tra la S.S. Adriatica a sud, la strada Panoramica Adriatica a nord e via Cecchi a est. In tale zona evidentemente si sono registrati in passato eventi alluvionali che hanno portato a comprendere l'area nella fascia a rischio di esondazione elevato codificato come E-02-001 nel P.A.I.

3. CARATTERIZZAZIONE LITOSTRATIGRAFICA E IDROGEOLOGIA

Come detto in premessa, per l'indagine geomeccanica e litostratigrafica del sottosuolo in studio sono state eseguite 3 prove penetrometriche statiche, correlandone i risultati con le descrizioni litologiche di 4 (dei numerosi) sondaggi eseguiti tra il 2010 e il 2016 per pregressi lavori di caratterizzazione ambientale del sito. Delle tre verticali indagate con le prove penetrometriche, due sono ubicate nell'area nella quale è in progetto la rampa di accesso (CPT2 e CPT3) mentre una (CPT1) è ubicata nell'area nella quale è prevista la realizzazione della struttura di protezione dell'impianto di pompaggio dell'acqua di falda. Tra i sondaggi reperiti si sono scelte le perforazioni S.13, S.28 e S.29 della campagna di caratterizzazione ambientale del 2016 ricadenti nell'area della rampa e il sondaggio PM2 della campagna di caratterizzazione ambientale del 2010 per l'area dell'impianto di depurazione.

Le prove penetrometriche statiche registrano, ad intervalli di 20 cm, le resistenze q_c offerte dal terreno al passaggio della punta dello strumento, e le resistenze f_s di attrito laterale del terreno stesso su un manicotto montato tra la punta e le aste collegate al sistema spingente.

Dal rapporto tra i due valori si ottengono informazioni indirette circa le litologie prevalenti intercettate lungo la verticale di prova; proprio perché si tratta di informazioni indirette, è importante disporre di una taratura delle prove CPT con dati litostratigrafici del sito ed è pertanto stato utile reperire, nel caso in esame, i sondaggi a carotaggio svolti in varie campagne di caratterizzazione ambientale. Tali perforazioni, seppure non molto profonde, sono stati utili per il confronto con le resistenze geomeccaniche registrate dalle CPT.

I risultati delle prove penetrometriche mostrano che i sedimenti che costituiscono il sottosuolo in oggetto sono molto eterogenei sia verticalmente lungo le singole verticali indagate sia lateralmente tra le varie verticali perforate rendendo molto difficile correlare orizzonti a prevalente composizione coesiva e orizzonti a granulometrie più grossolane.

La forma seghettata dei grafici penetrometrici indica la fitta alternanza tra strati nei quali è prevalente la componente coesiva limosa-argillosa, descritta come poco consistente nel sondaggio PM2 del 2010 e gli strati nei quali sono prevalenti elementi grossolani quali ghiaie e talora ciottoli in matrice limoso-sabbiosa.

Nei sondaggi reperiti S13 S28 e S29, svolti in ambito ambientale nel 2016 per il prelievo di campioni e l'istallazione di piezometri nell'area dove è in progetto la realizzazione della rampa, si distingue uno spessore superficiale di 1,30÷1,80 m di alluvioni in prevalenza fini e a luoghi di terreno di riporto grossolano; tale spessore non è ben individuabile nella CPT 2 eseguita tra i sondaggi S29 e S13 del 2016 (vedi planimetria) poiché le resistenze q_c registrate nei primi 2,0 metri circa di tale prova risultano omogeneamente molto bassi, senza particolari picchi riconducibili a elementi di laterizio nella matrice limosa. Nella CPT 3, eseguita a 15÷20 m di distanza dalla precedente, è presente un picco a notevole resistenza che si registra da subito

sotto il piano campagna e fino a oltre 2,0 m di profondità che, invece, probabilmente è fornito da terreno di riporto.

In tutte e tre le prove CPT eseguite per la presente relazione si nota un incremento medio delle resistenze alla punta attorno ai 9,50÷11,0 m dal p.c.; infatti mentre al di sopra di tale quota si ha una fitta alternanza di picchi ad elevata resistenza e gole a resistenza q_c molto bassa, spesso inferiore a 20 kg/cm^2, al di sotto di tale quota si ha prevalenza di valori di resistenza elevati e, laddove le q_c risultano inferiori, i valori non scendono comunque mai al di sotto dei 60÷80 kg/cm^2. Ciò può essere interpretato come un passaggio da uno spessore di depositi alluvionali caratterizzati da una fitta alternanza di terreni più fini plastici e terreni più grossolani, a una zona caratterizzata da depositi alluvionali omogeneamente più grossolani, quali sabbie addensate e/o ghiaie sabbiose.

In nessuna delle verticali indagate si è raggiunta la base delle alluvioni ed il sottostante substrato Messiniano delle argille a Colombacci che, come detto al precedente capitolo, si trova probabilmente a profondità ben più elevate, all'incirca a -40÷45 m dal p.c. come evidenziato dall'indagine sismica che pone un riflettore sismo-stratigrafico ad una profondità di circa 43 m al di sotto del p.c., interpretabile come il passaggio tra i depositi alluvionali del fiume Foglia e il substrato Messiniano.

Per quanto riguarda la falda idrica nel sottosuolo, questa, pur fortemente influenzata dai pompaggi eseguiti per la sua depurazione, è monitorata grazie ai numerosi piezometri presenti nell'area di studio; a quanto riportato nella relazione del piano di caratterizzazione ambientale redatto nell'agosto 2016, la falda idrica superficiale "*ha una soggiacenza compresa fra 0,9 m (maggio 2010) e 1,0 m (luglio 2010) dall'attuale piano di calpestio (pari quindi a 0,3 m e 0,2 m sul livello medio del mare) e direzione di deflusso da Nord/Nord-Ovest verso Sud/Sud-Est*".

Da una misurazione eseguita nei due piezometri più vicini alle due aree di studio durante la giornata di campagna geognostica svolta per la presente relazione in data 16/12/2020, i livelli idrici sono risultati i seguenti:

- piezometro PM12 (vicino all'area della futura rampa di accesso- vedi planimetria): -1,82 m dal p.c.
- piezometro PM2 (vicino all'area della futura struttura di protezione dell'impianto di pompaggio - vedi planimetria): -1,05 m dal p.c.

4. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DI LABORATORIO

Durante la campagna di prove penetrometriche svolte nell'area di studio è stato prelevato anche *un campione indisturbato di terreno* con campionatore semplice in acciaio infisso a percussione per mezzo del sistema di battitura del penetrometro. Il campione è stato prelevato alla profondità di -1,10÷1,40 m dal p.c. in un foro nelle immediate vicinanze della verticale della CPT 2 ed è costituito da limo e argilla ed è rappresentativo delle porzioni prevalentemente coesive dei depositi alluvionali presenti nel sottosuolo dell'area di studio.
Le prove geotecniche sono state svolte dal laboratorio geomeccanico certificato Orazi di Pesaro ed è stato sottoposto ad analisi volte a determinarne le caratteristiche fisiche (contenuto in acqua e massa volumica), i limiti di consistenza di Atterberg e i parametri di resistenza al taglio diretto di picco e allo stato ultimo/critico; i risultati di tali analisi sono riassunti nella seguente tabella mentre i certificati completi redatti dal laboratorio sono allegati in calce:

CAMPIONE		CPT2 C1 1,1/1,4m
Contenuto in acqua	%	29,9
Massa volumica	Mg/m^3	1,95
Massa volumica secca	Mg/m^3	1,50
Limite di liquidità	%	47,8
Indice di plasticità	%	25,7
Indice di consistenza	-	0,70
Classificazione USCS	-	CL
Coesione di picco	kPa	1,9
Angolo di resistenza al taglio di picco	°	26,9
Angolo di resistenza allo stato ultimo	°	27,2

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA IN SITU DA ELABORAZIONE PROVE CPT

Considerata la forte variabilità sia laterale sia verticale del sottosuolo di studio, variabilità dovuta alle fitte alternanze di terreni coesivi e incoerenti, le elaborazioni delle prove penetrometriche statiche sono state eseguite utilizzando due tipologie di suddivisione delle verticali di CPT in strati considerabili omogenei; anche le medie dei valori di q_c dalle quali si deducono tutti i parametri geotecnici, sono state differenziate in base al comportamento prevalente -coesivo/incoerente- dei singoli strati di suddivisione del terreno:

- laddove le alternanze -coesivo/incoerente- risultano molto fitte, è stata utilizzata l'elaborazione definita della "media minima" cioè una media che abbassa il valore della media aritmetica facendo "pesare" maggiormente i valori di resistenza inferiori; in tal modo si ottengono medie di q_c e conseguenti valori dedotti di parametri geotecnici in condizioni non drenate più adeguati al comportamento degli straterelli in prevalenza coesivi;
- una suddivisione al passo strumentale più dettagliata dei singoli orizzonti prevalentemente incoerenti per poter dedurre degli angoli d'attrito adeguati.

Come sintesi delle elaborazioni geotecniche delle prove CPT si è scelto di inserire nella sezione litostratigrafica e geomeccanica i valori di coesione non drenata Cu ed i valori di modulo elastico Eu per gli straterelli a prevalente componente coesiva e i valori di angolo d'attrito φ per gli straterelli prevalentemente incoerenti.

Gli altri parametri dedotti sono osservabili nelle elaborazioni che si riportano per esteso in allegato.

6. MODELLO GEOTECNICO DI SOTTOSUOLO

Considerata la elevata variabilità laterale e verticale dei sedimenti alluvionali costituenti il sottosuolo oggetto di studio, si è deciso di accorpare le fitte alternanze di sedimenti coesivi/incoerenti in macro-orizzonti a omogeneo rapporto grossolano/fine.

Il sottosuolo è stato quindi discretizzato in 4 macro orizzonti:

(A) Alluvioni prevalentemente fini con riporto grossolano, da considerare a prevalente comportamento coesivo alle quali sono stati attribuiti i seguenti principali parametri geotecnici:

Cu=0,6 kg/cm² Eu=25 kg/cm² φ'_{CR}=27,2°

(B) Alluvioni prevalentemente grossolane, costituite da sabbie ghiaiose alternate a limi sabbiosi plastici, con: 1) rapporto grossolano/fine 2:1 nell'area di sedime della rampa, alle quali sono stati attribuiti i seguenti principali parametri geotecnici: Per gli **strati coesivi**, Cu=0,8 kg/cm² Eu=32 kg/cm² φ'_{CR}=27,2°; per gli **strati incoerenti,** φ=40°; e con:2) rapporto grossolano/fine 1:1 nell'area di sedime della struttura di protezione impianto di depurazione, alle quali sono stati attribuiti i seguenti principali parametri geotecnici: Per gli **strati coesivi**, Cu=0,6 kg/cm² Eu=25 kg/cm² φ'_{CR}=27,2°; per gli **strati incoerenti,** φ=41°;

(C) Alluvioni costituite da sabbie ghiaiose alternate a limi sabbiosi plastici, con: 1) rapporto grossolano/fine 1:1 nell'area di sedime della rampa, alle quali sono stati attribuiti i seguenti principali parametri geotecnici: Per gli **strati coesivi**, Cu=1,0 kg/cm² Eu=40 kg/cm² φ'_{CR}=27,2°; per gli **strati incoerenti,** φ=40°; e con:2) rapporto grossolano/fine 1:1,5 nell'area di sedime della struttura di protezione impianto di depurazione, alle quali sono stati attribuiti i seguenti principali parametri geotecnici: Per gli **strati coesivi**, Cu=1,0 kg/cm² Eu=40 kg/cm² φ'_{CR}=27,2°; per gli **strati incoerenti,** φ=38°;

(D) Alluvioni costituite da sabbie ghiaiose e ghiaie, alle quali è stato attribuito un angolo di attrito φ=40°.

7. STIMA DELLE ACCELERAZIONI MASSIME DI SITO E DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI E VERTICALI DELL'AZIONE SISMICA

L'elaborazione congiunta dell'indagine sismica MASW e HVSR, come riportato nella relazione sismica allegata in calce, ha consentito di stimare una velocità Vs_{eq} riferita al piano campagna attuale dell'area di studio pari a 297 m/s, velocità che, in rispetto alla vigente normativa

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

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

NTC2018 fa ricadere il sottosuolo nella **categoria sismica C.**

La topografia è sub pianeggiante in entrambe le zone di intervento ricadenti all'interno dell'area in oggetto, pertanto la **categoria topografica è la T1**.

L'area in oggetto è così caratterizzata:

- UBICAZIONE (coordinate ED50):

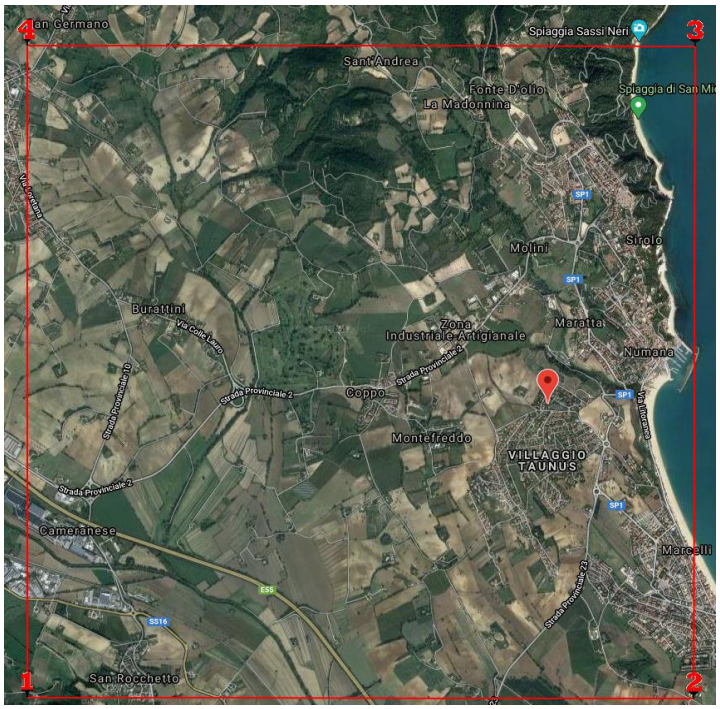
zona di progetto della rampa:

lat. 43.915119° long. 12,906109°

zona di progetto della copertura:

lat. 43.914767° long. 12,906610°

- MAGLIA DI APPARTENENZA:
siti di riferimento:
Sito 1 ID: 19416 Lat: 43,9333
Lon: 12,8653 Distanza: 3894,870
Sito 2 ID: 19417 Lat: 43,9336
Lon: 12,9347 Distanza: 3072,525
Sito 3 ID: 19639 Lat: 43,8836
Lon: 12,9351 Distanza: 4149,793
Sito 4 ID: 19638 Lat: 43,8833
Lon: 12,8658 Distanza: 4792,796



- CLASSE D'USO: I quindi Cu=0,7

- VITA NOMINALE: Vn=50 anni

- STATO LIMITE CONSIDERATO:

SLV (salvaguardia della vita);

- TEMPO DI RITORNO: 332 anni

Partendo da tali dati si ha: **ag= 0,157 g** **F_0=2,459** **Tc*=0,291**

Secondo la normativa NTC2018 trovandosi in categoria sismica C (S_s = 1,47) e topografica T1 (S_T=1,00) si avrà:

Ag_{max}= Ag×S_s×S_T = 0,157×1,47×1,00 = **0,231 g**

Da tale accelerazione massima di sito si calcolano le componenti orizzontali e verticali dell'azione sismica a seconda del tipo di intervento previsto; per i calcoli della progettazione di fondazioni come per le due opere in oggetto si avrà:

Kh= β_s × Ag_{max} = 0,24 × 0,231**= 0,055**

Kv= Kh/2 = 0,055/2 = **0,028**

Tab. 7.11.I – *Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito*

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0,2 < a_g$ (g) $\leq 0,4$	0,30	0,28
$0,1 < a_g$ (g) $\leq 0,2$	0,27	0,24
a_g (g) $\leq 0,1$	0,20	0,20

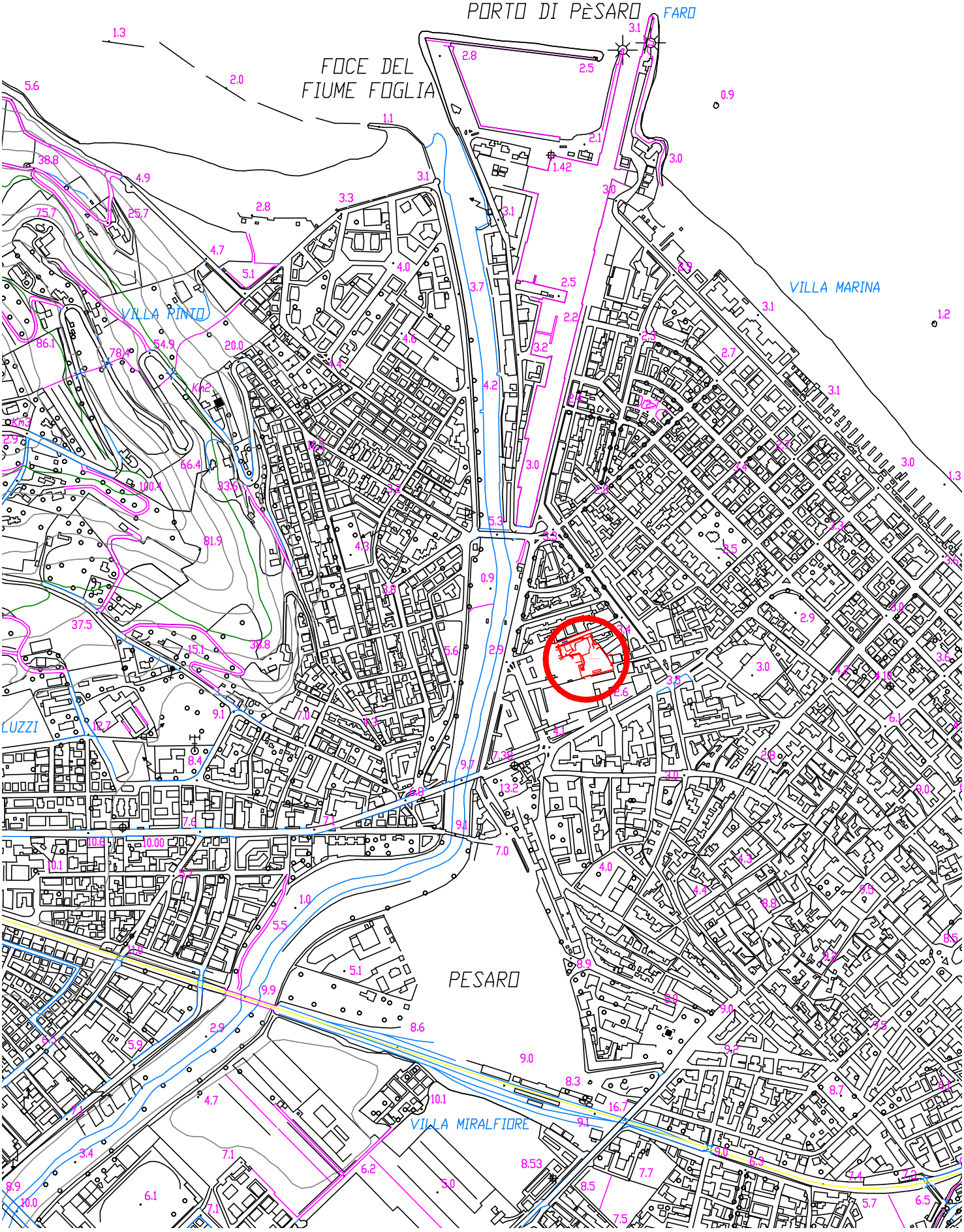
Ancona, maggio 2021

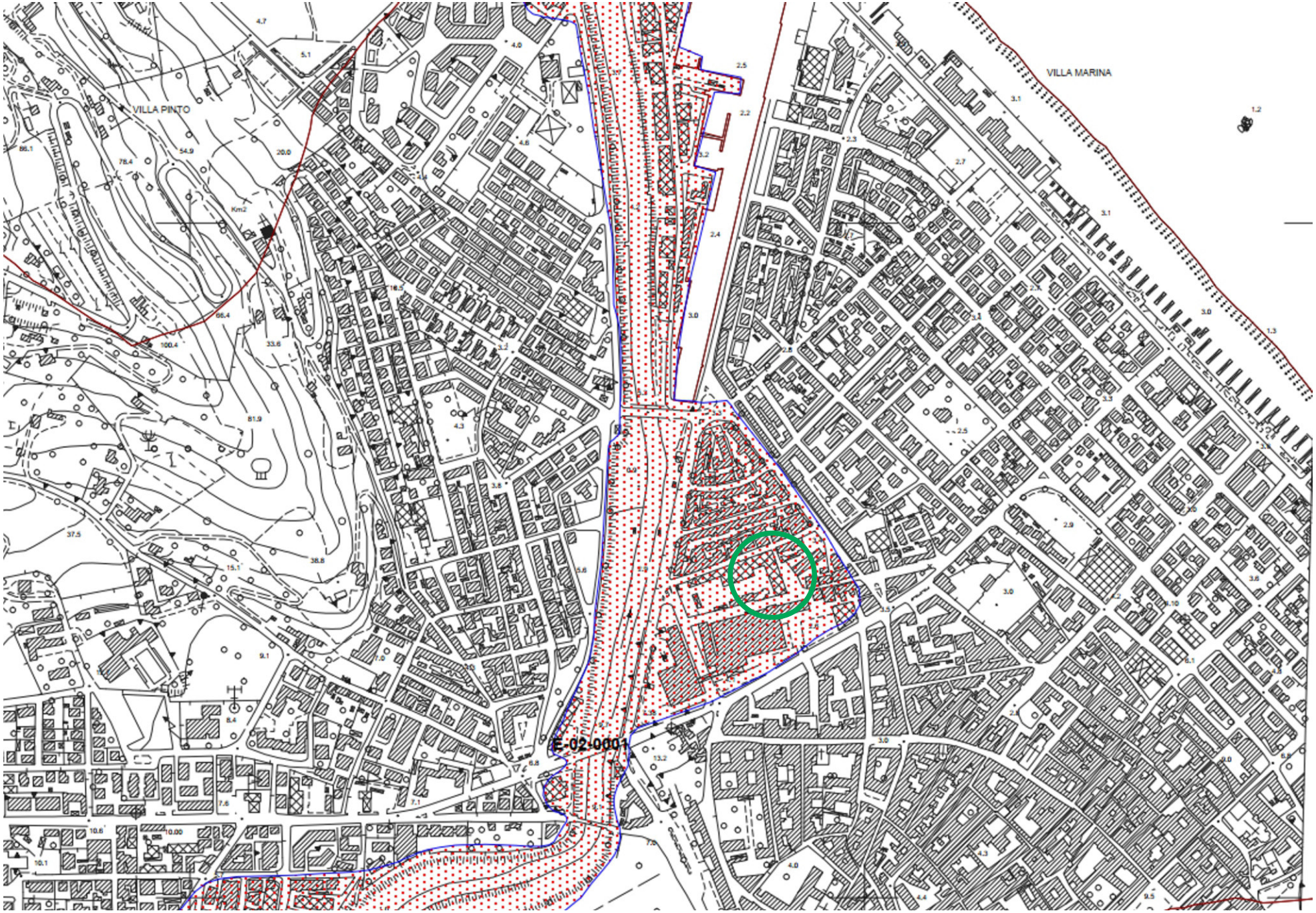
Geologo Marco Brunelli

Firmato digitalmente da
MARCO BRUNELLI

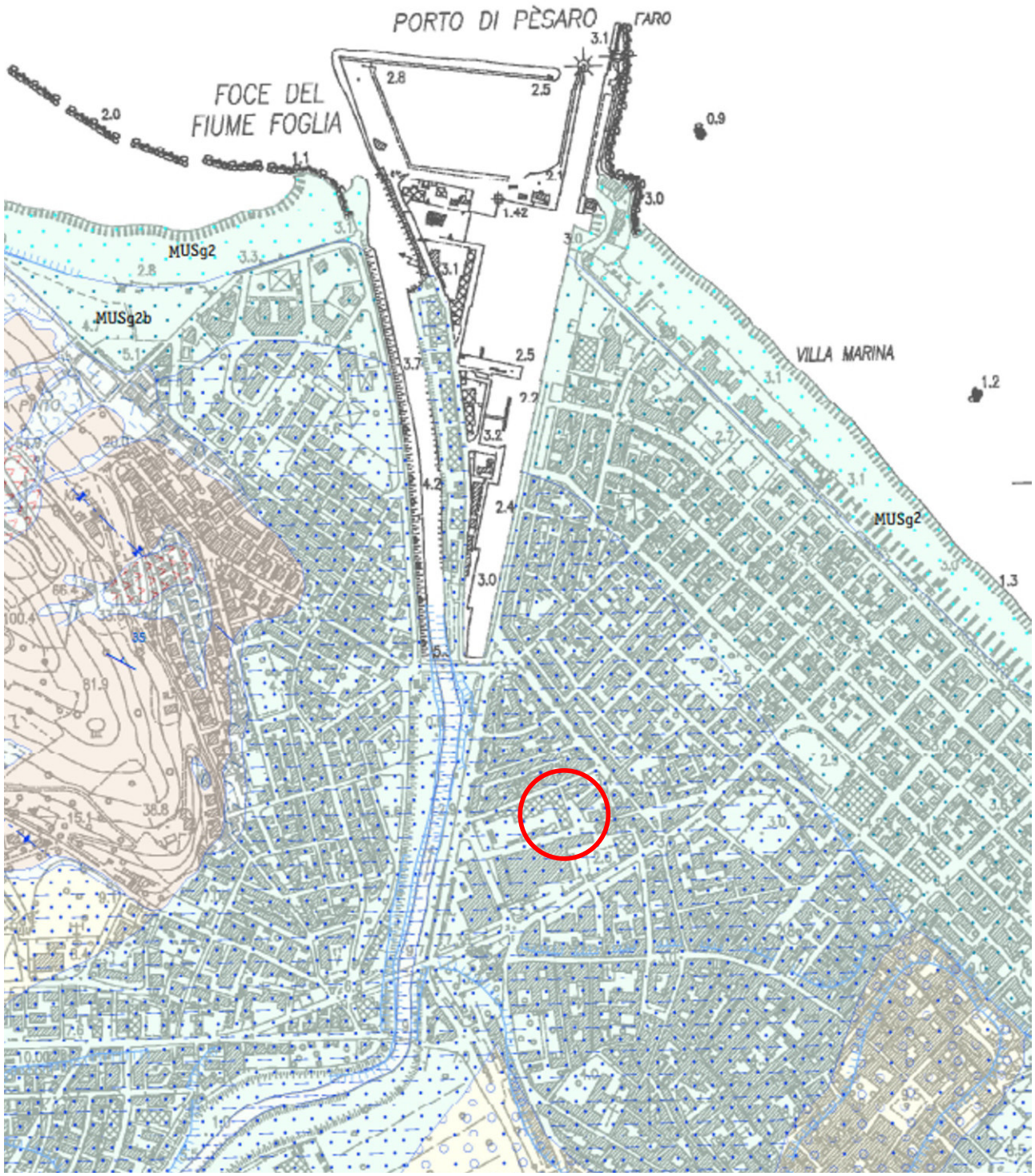
CN = BRUNELLI MARCO
O = Ordine dei Geologi della Regione Marche
C = IT

STRALCIO C.T.R. - SEZIONE 268070 - SCALA 1:10.000





Stralcio P.A.I. tav RI 2c - scala 1:7.500



LEGENDA GEOLOGICA

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

SINTEMA DEL MUSONE

(OLOCENE)

	MUSa1	Frane in evoluzione
	MUSa1a	Frana antica
	MUSa1q	Frana senza indizi di evoluzione
	MUSa1s	Frana di scorrimento con indizi di evoluzione
	MUSa1qs	Frana di scorrimento senza indizi di evoluzione
	MUSb	Deposito alluvionali attuali argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie
	MUSbn	Depositi alluvionali terrazzati argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie
	MUSb2	Deposito eluvio colluviale
	MUSg2	Depositi di spiaggia attuale sabbie prevalenti

SINTEMA DI MATELICA

(PLEISTOCENE SUPERIORE p.p. - OLOCENE p.p.)

a) b)	MTIbn	Depositi alluvionali terrazzati a) ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi e argille b) argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie

SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA

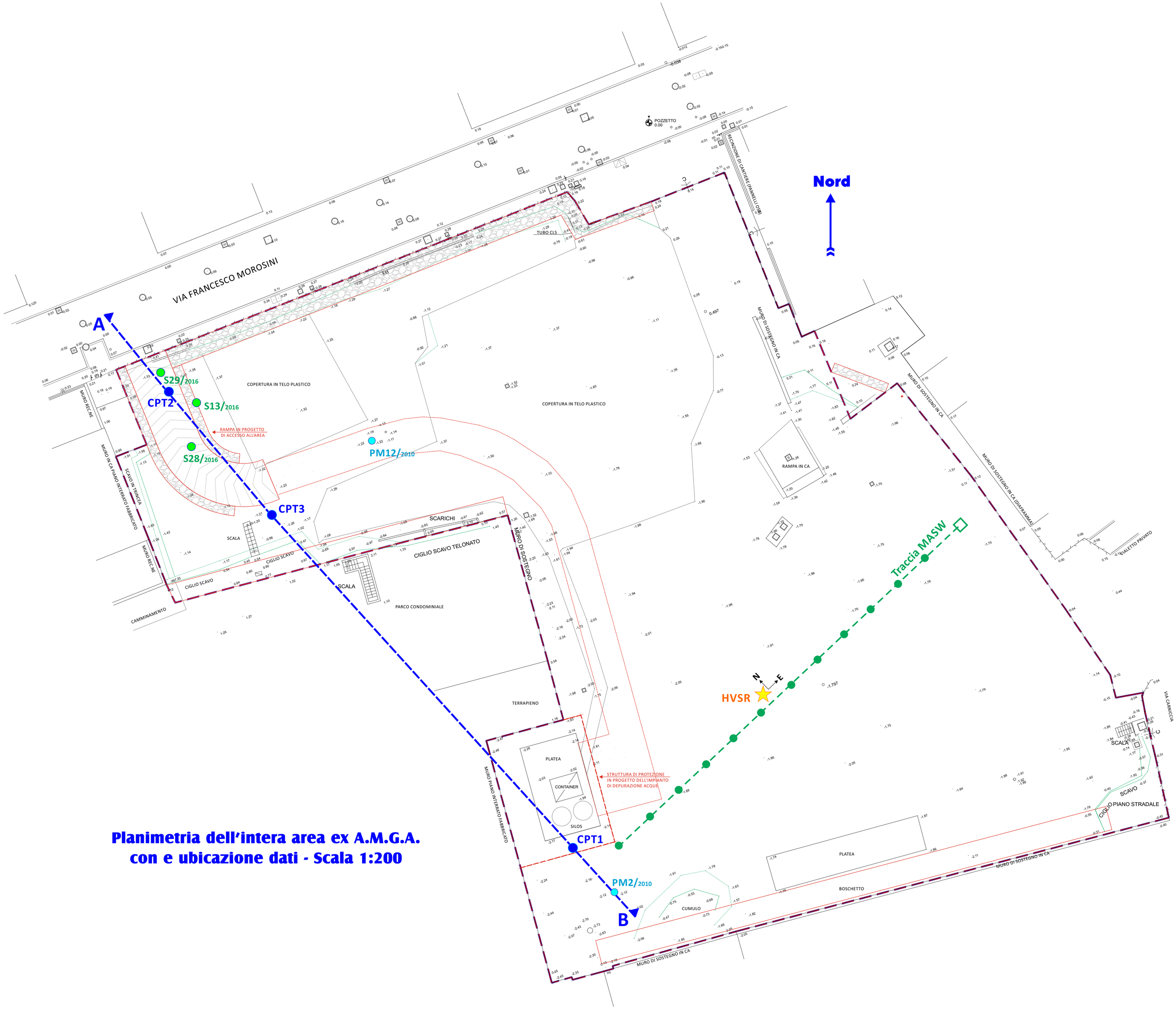
SUCCESSIONE PLIOCENICA

	FAA	ARGILLE AZZURRE Pliocene inferiore p.p. - Pliocene superiore p.p.

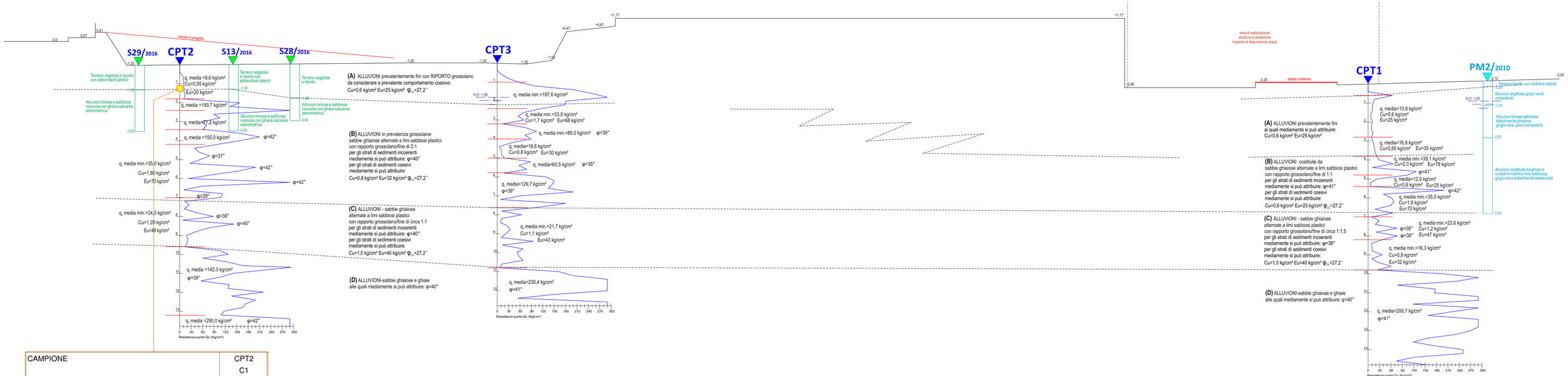
SUCCESSIONE MIOCENICA

	FCO	FORMAZIONE A COLOMBACCI Messiniano p.p.

Stralcio carta geologica regionale
sezione 268070 - scala 1:10.000



Planimetria dell'intera area ex A.M.G.A.
con e ubicazione dati - Scala 1:200



CAMPIONE		CPT2 C1 1,1/1,4m
Contenuto in acqua	%	29,9
Massa volumica	Mg/m^3	1,95
Massa volumica secca	Mg/m^3	1,50
Limite di liquidità	%	47,8
Indice di plasticità	%	25,7
Indice di consistenza	-	0,70
Classificazione USCS	-	CL
Coesione di picco	kPa	1,9
Angolo di resistenza al taglio di picco	°	26,9
Angolo di resistenza allo stato ultimo	°	27,2

SEZIONE GEOMECCANICA-LITOSTRATIGRAFICA A-B
SCALA 1:100

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: Marche Multiservizi S.p.a.
Cantiere: realizzazione strutture all'interno del cantiere ex Amga
Località: Via Morosini - Pesaro

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

Rif. Norme	**ASTM D3441-86**
Diametro Punta conica meccanica	**35,7**
Angolo di apertura punta	**60**
Area punta	**10**
Superficie manicotto	**150**
Passo letture (cm)	**20**
Costante di trasformazione Ct	**10**

Responsabile

Geol. Marco Brunelli

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE
(CONE PENETRATION TEST)
CPT

PROVE CPT : METODOLOGIA DELL' INDAGINE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante (v = 2 cm / s ± 0,5 cm / s). La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica. La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale : punta / manicotto tipo **"Begemann"**.

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

- diametro Punta Conica meccanica ∅ = 35,7 mm
- area di punta Ap = 10 cm^2
- angolo di apertura del cono α = 60 °
- superficie laterale del manicotto Am = 150 cm^2

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

REGISTRAZIONE DATI.

Una cella di carico, che rileva gli sforzi di infissione, è montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata "selettore", che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna. Durante la fase di spinta le aste sono azionate automaticamente da un comando idraulico. L'operatore deve solamente controllare i movimenti di spinta per l'infissione delle aste. I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico (qualora presente) o sui manometri. Per mezzo di un software (in alcuni strumenti) è possibile sia durante l'acquisizione, che in un secondo momento a prove ultimate trasferire i dati ad un PC. Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm^2) durante l'infissione sono le seguenti:

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

METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta). Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "***STATIC PROBING***" della GeoStru. La resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

Ap = l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann") = 10 cm^2
Am = area del manicotto di frizione = 150 cm^2
Ct = costante di trasformazione =10

Il programma Static Probing permette inoltre l'archiviazione, la gestione e l'elaborazione delle Prove Penetrometriche Statiche. La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona. I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il Rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %).

I valori sono calcolati con queste formule:

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

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

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

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

N.B.
- Ap = 10 cm^2 e Am = 150 cm^2
- la resistenza laterale viene conteggiata **20 cm sotto** (alla quota della prima lettura della punta)

VALUTAZIONI STATISTICHE

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

Medio
Media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.
Media minima
Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.
Massimo
Valore massimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.
Minimo
Valore minimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.
Media (+) s
Media (+) scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.
Media (–) s
Media (-) scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

CORRELAZIONI

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

INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (Autori di riferimento)

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

Suddivisione delle metodologia di indagine con i Penetrometri statici

CPT (Cone Penetration Test – punta Meccanica tipo Begemann)

CPTE (Cone Penetration Test Electric – punta elettrica)

CPTU (Piezocono)

Per quanto riguarda la PUNTA ELETTRICA generalmente tale strumento permette di ottenere dati in continuo con un passo molto ravvicinato (anche 2 cm.) rispetto al PUNTA MECCANICA (20 cm.). Per il PIEZOCONO i dati di inserimento oltre a quelli di LP e LT sono invece la pressione neutrale misurata ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della sovrappressione neutrale e la pressione neutrale o pressione della colonna d'acqua). Tale misurazione si effettua generalmente misurando la sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione neutrale (dissipazione nel tempo) misurata in fase di alleggerimento di spinta (arresto penetrazione). Il programma usato per le elaborazioni permette di immettere U1 – U2 – U3 cioè la sovrappressione neutrale misurata rispettivamente con filtro poroso posizionato nel cono, attorno al cono, o attorno al manicotto a seconda del tipo di piezocono utilizzato. Tale sovrappressione (che è data dalla somma della pressione idrostatica preesistente la penetrazione e dalle pressioni dei pori prodotte dalla compressione) può essere positiva o negativa e generalmente varia da (-1 a max. + 10-20 kg/cmq) ed è prodotta dalla compressione o dilatazione del terreno a seguito della penetrazione. Per il calcolo oltre ai dati strumentali generali si deve immettere per una correzione dei valori immessi :

Area punta del cono (area esterna punta)
Area interna punta del cono (area del restringimento in prossimità del setto poroso – interna cono-manicotto). Generalmente il rapporto tra le aree varia da (0,70 – 1,00).
Il Passo del penetrometro (l'intervallo entro cui effettua la lettura, generalmente per penetrometri normali è 20 cm., per le punte elettriche-piezoconi può essere di 2 cm).

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

CORRELAZIONI GEOTECNICHE

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati. Ad ogni strato mediato il programma calcola la Qc media, la fs media, il peso di volume naturale medio, il comportamento geotecnico (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), ed applica una texture. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

PROVA ...CPT 1

Prova eseguita in data: 16/12/2020
Profondità prova: 14,80 m

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00		
0,40	0,00	0,00	0,00	1,53	0,0	
0,60	64,00	87,00	64,00	2,53	25,3	4,0
0,80	17,00	55,00	17,00	1,67	10,2	9,8
1,00	13,00	38,00	13,00	1,27	10,2	9,8
1,20	11,00	30,00	11,00	0,73	15,1	6,6
1,40	11,00	22,00	11,00	0,87	12,6	7,9
1,60	7,00	20,00	7,00	0,53	13,2	7,6
1,80	8,00	16,00	8,00	0,40	20,0	5,0
2,00	11,00	17,00	11,00	0,47	23,4	4,3
2,20	9,00	16,00	9,00	0,20	45,0	2,2
2,40	9,00	12,00	9,00	0,13	69,2	1,4
2,60	13,00	15,00	13,00	0,27	48,1	2,1
2,80	8,00	12,00	8,00	0,40	20,0	5,0
3,00	12,00	18,00	12,00	0,33	36,4	2,8
3,20	15,00	20,00	15,00	0,40	37,5	2,7
3,40	17,00	23,00	17,00	0,20	85,0	1,2
3,60	18,00	21,00	18,00	0,33	54,5	1,8
3,80	22,00	27,00	22,00	0,60	36,7	2,7
4,00	29,00	38,00	29,00	2,33	12,4	8,0
4,20	66,00	101,00	66,00	2,27	29,1	3,4
4,40	11,00	45,00	11,00	2,13	5,2	19,4
4,60	127,00	159,00	127,00	1,87	67,9	1,5
4,80	103,00	131,00	103,00	1,00	103,0	1,0
5,00	23,00	38,00	23,00	1,27	18,1	5,5
5,20	6,00	25,00	6,00	9,93	0,6	165,5
5,40	7,00	156,00	7,00	0,00		0,0
5,60	200,00	0,00	200,00	1,47	136,1	0,7
5,80	40,00	62,00	40,00	1,20	33,3	3,0
6,00	62,00	80,00	62,00	1,00	62,0	1,6
6,20	68,00	83,00	68,00	0,20	340,0	0,3
6,40	59,00	62,00	59,00	1,13	52,2	1,9
6,60	18,00	35,00	18,00	0,60	30,0	3,3
6,80	65,00	74,00	65,00	0,33	197,0	0,5
7,00	9,00	14,00	9,00	0,20	45,0	2,2
7,20	29,00	32,00	29,00	2,33	12,4	8,0
7,40	19,00	54,00	19,00	0,33	57,6	1,7
7,60	76,00	81,00	76,00	0,80	95,0	1,1
7,80	21,00	33,00	21,00	0,27	77,8	1,3
8,00	77,00	81,00	77,00	0,27	285,2	0,4
8,20	37,00	41,00	37,00	0,93	39,8	2,5
8,40	9,00	23,00	9,00	0,20	45,0	2,2
8,60	10,00	13,00	10,00	0,27	37,0	2,7
8,80	11,00	15,00	11,00	0,47	23,4	4,3
9,00	37,00	44,00	37,00	1,00	37,0	2,7
9,20	10,00	25,00	10,00	0,33	30,3	3,3
9,40	25,00	30,00	25,00	6,40	3,9	25,6
9,60	61,00	157,00	61,00	0,87	70,1	1,4
9,80	25,00	38,00	25,00	0,00		0,0
10,00	200,00	0,00	200,00	0,00		0,0
10,20	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0
10,40	230,00	0,00	230,00	1,53	150,3	0,7
10,60	77,00	100,00	77,00	1,53	50,3	2,0
10,80	177,00	200,00	177,00	0,87	203,4	0,5
11,00	170,00	183,00	170,00	0,00		0,0
11,20	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0
11,40	290,00	0,00	290,00	3,93	73,8	1,4
11,60	118,00	177,00	118,00	0,00		0,0
11,80	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0
12,00	220,00	0,00	220,00	5,60	39,3	2,5
12,20	158,00	242,00	158,00	0,00		0,0
12,40	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0
12,60	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0
12,80	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0
13,00	270,00	0,00	270,00	0,00		0,0
13,20	220,00	0,00	220,00	1,13	194,7	0,5
13,40	155,00	172,00	155,00	3,67	42,2	2,4
13,60	118,00	173,00	118,00	1,67	70,7	1,4
13,80	174,00	199,00	174,00	0,00		0,0

14,00	250,00	0,00	250,00	0,00		0,0
14,20	250,00	0,00	250,00	1,00	250,0	0,4
14,40	123,00	138,00	123,00	4,60	26,7	3,7
14,60	74,00	143,00	74,00	1,00	74,0	1,4
14,80	153,00	168,00	153,00	0,00		0,0

Prof. Strato (m)	qc Medio Minimo (Kg/cm²)	fs Media minima (Kg/cm²)	Gamma Medio Minimo (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
0,60	64,00	2,53	2,17	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
2,80	8,82	0,38	1,83	Coesivo	Argilla inorganica di media consistenza
3,80	14,40	0,29	1,84	Incoerente-Coesivo	Sabbie Sciolte
4,80	39,10	1,46	1,94	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
5,40	9,00	1,87	1,80	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
6,80	35,00	0,47	1,92	Incoerente-Coesivo	Sabbie
8,20	23,64	0,47	1,88	Incoerente-Coesivo	Sabbie
9,80	16,25	0,60	1,87	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
14,80	140,34	0,53	1,97	Incoerente	Sabbie addensate o cementate

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi
Strato 1	0,60	64,00	2,53	3,66	2,96	4,26	3,76	3,36	3,20
Strato 2	2,80	8,82	0,38	0,49	0,64	0,57	0,50	0,45	0,44
Strato 3	3,80	14,40	0,29	0,80	0,97	0,92	0,81	0,73	0,72
Strato 4	4,80	39,10	1,46	2,21	2,14	2,55	2,25	2,02	1,95
Strato 5	5,40	9,00	1,87	0,48	0,60	0,54	0,47	0,42	0,45
Strato 6	6,80	35,00	0,47	1,97	1,96	2,26	1,99	1,78	1,75
Strato 7	8,20	23,64	0,47	1,31	1,43	1,48	1,31	1,17	1,18
Strato 8	9,80	16,25	0,60	0,88	1,01	0,97	0,86	0,77	0,81

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 1	0,60	64,00	2,53	160,00	128,00	192,00	96,00
Strato 2	2,80	8,82	0,38	44,10	40,75	52,92	26,46
Strato 3	3,80	14,40	0,29	72,00	48,41	86,40	43,20
Strato 4	4,80	39,10	1,46	97,75	78,20	117,30	117,30
Strato 5	5,40	9,00	1,87	45,00	41,22	54,00	27,00
Strato 6	6,80	35,00	0,47	87,50	70,00	105,00	105,00
Strato 7	8,20	23,64	0,47	59,10	47,28	70,92	70,92
Strato 8	9,80	16,25	0,60	81,25	47,85	97,50	48,75

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (40)
Strato 1	0,60	64,00	2,53	2397,56	128,00
Strato 2	2,80	8,82	0,38	320,19	17,60
Strato 3	3,80	14,40	0,29	524,44	28,80
Strato 4	4,80	39,10	1,46	1447,36	78,00
Strato 5	5,40	9,00	1,87	315,94	18,00
Strato 6	6,80	35,00	0,47	1287,63	70,00
Strato 7	8,20	23,64	0,47	856,90	47,20
Strato 8	9,80	16,25	0,60	574,86	32,40

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
Strato 1	0,60	64,00	2,53	Imai & Tomauchi	355,41
Strato 2	2,80	8,82	0,38	Imai & Tomauchi	105,89
Strato 3	3,80	14,40	0,29	Imai & Tomauchi	142,86
Strato 4	4,80	39,10	1,46	Imai & Tomauchi	263,01
Strato 5	5,40	9,00	1,87	Imai & Tomauchi	107,20
Strato 6	6,80	35,00	0,47	Imai & Tomauchi	245,80
Strato 7	8,20	23,64	0,47	Imai & Tomauchi	193,40
Strato 8	9,80	16,25	0,60	Imai & Tomauchi	153,81

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	0,60	64,00	2,53	Meyerhof	2,17
Strato 2	2,80	8,82	0,38	Meyerhof	1,83
Strato 3	3,80	14,40	0,29	Meyerhof	1,91
Strato 4	4,80	39,10	1,46	Meyerhof	2,08
Strato 5	5,40	9,00	1,87	Meyerhof	1,83
Strato 6	6,80	35,00	0,47	Meyerhof	2,06
Strato 7	8,20	23,64	0,47	Meyerhof	2,00
Strato 8	9,80	16,25	0,60	Meyerhof	1,93

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	0,60	64,00	2,53	Meyerhof	2,25
Strato 2	2,80	8,82	0,38	Meyerhof	1,91

Strato 3	3,80	14,40	0,29	Meyerhof	1,99
Strato 4	4,80	39,10	1,46	Meyerhof	2,16
Strato 5	5,40	9,00	1,87	Meyerhof	1,91
Strato 6	6,80	35,00	0,47	Meyerhof	2,14
Strato 7	8,20	23,64	0,47	Meyerhof	2,08
Strato 8	9,80	16,25	0,60	Meyerhof	2,01

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	Schmertmann	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkowski 1985
Strato 1	0,60	64,00	2,53	92,03	100	100	93,08	100
Strato 3	3,80	14,40	0,29	23,32	23,49	26,58	23,78	25,21
Strato 4	4,80	39,10	1,46	48,94	54,82	56,23	49,63	46,27
Strato 6	6,80	35,00	0,47	41,89	43,37	45,81	42,51	33,1
Strato 7	8,20	23,64	0,47	28,26	24,33	28,14	28,77	15,91
Strato 8	9,80	16,25	0,60	< 5	6,48	11,56	15,83	5
Strato 9	14,80	140,34	0,53	72,55	77,53	78,62	73,44	52,59

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Durgunouglu-Mitchell 1973	Caquot	Koppejan	De Beer	Schmertmann	Robertson & Campanella 1983	Herminier	Meyerhof 1951
Strato 1	0,60	64,00	2,53	45	43,98	41,7	38,7	42	45	32,18	45
Strato 3	3,80	14,40	0,29	31,16	27,39	24,28	22,78	31,29	34,63	23,35	23,47
Strato 4	4,80	39,10	1,46	35,08	31,38	28,47	26,61	35,67	39,34	26,32	34,56
Strato 6	6,80	35,00	0,47	33,31	29,47	26,46	24,78	34,07	37,15	24,69	32,72
Strato 7	8,20	23,64	0,47	30,65	26,66	23,51	22,08	31,41	33,7	23,11	27,61
Strato 8	9,80	16,25	0,60	28,16	24,04	20,76	19,57	28,91	30,2	22,23	24,3
Strato 9	14,80	140,34	0,53	37,19	33,29	30,47	28,44	38,85	41,39	28,72	45

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 1	0,60	64,00	2,53	160,00	128,00	256,00
Strato 3	3,80	14,40	0,29	36,00	28,80	189,81
Strato 4	4,80	39,10	1,46	97,75	78,20	368,38
Strato 6	6,80	35,00	0,47	87,50	70,00	377,85
Strato 7	8,20	23,64	0,47	59,10	47,28	309,22
Strato 8	9,80	16,25	0,60	40,63	32,50	247,36
Strato 9	14,80	140,34	0,53	350,85	280,68	939,77

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Robertson & Campanella da Schmertmann	Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-Mayne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
Strato 1	0,60	64,00	2,53	81,68	251,05	519,21	108,80	96,00
Strato 3	3,80	14,40	0,29	23,84	56,49	101,22	28,80	72,00
Strato 4	4,80	39,10	1,46	50,38	153,38	302,53	78,20	117,30
Strato 6	6,80	35,00	0,47	43,07	137,29	264,89	70,00	105,00
Strato 7	8,20	23,64	0,47	29,16	92,73	168,49	47,28	118,20
Strato 8	9,80	16,25	0,60	16,38	63,74	104,79	32,50	81,25
Strato 9	14,80	140,34	0,53	79,88	295,25	1122,80	210,51	210,51

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato 1	0,60	64,00	2,53	Imai & Tomauchi	355,41
Strato 3	3,80	14,40	0,29	Imai & Tomauchi	142,86
Strato 4	4,80	39,10	1,46	Imai & Tomauchi	263,01
Strato 6	6,80	35,00	0,47	Imai & Tomauchi	245,80
Strato 7	8,20	23,64	0,47	Imai & Tomauchi	193,40
Strato 8	9,80	16,25	0,60	Imai & Tomauchi	153,81
Strato 9	14,80	140,34	0,53	Imai & Tomauchi	574,23

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Ko
Strato 1	0,60	64,00	2,53	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00
Strato 3	3,80	14,40	0,29	Kulhawy & Mayne (1990)	0,31
Strato 4	4,80	39,10	1,46	Kulhawy & Mayne (1990)	0,51
Strato 6	6,80	35,00	0,47	Kulhawy & Mayne (1990)	0,40
Strato 7	8,20	23,64	0,47	Kulhawy & Mayne (1990)	0,28
Strato 8	9,80	16,25	0,60	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00
Strato 9	14,80	140,34	0,53	Kulhawy & Mayne (1990)	0,66

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	0,60	64,00	2,53	Meyerhof	1,80
Strato 3	3,80	14,40	0,29	Meyerhof	1,80
Strato 4	4,80	39,10	1,46	Meyerhof	1,80
Strato 6	6,80	35,00	0,47	Meyerhof	1,90
Strato 7	8,20	23,64	0,47	Meyerhof	1,80
Strato 8	9,80	16,25	0,60	Meyerhof	1,80
Strato 9	14,80	140,34	0,53	Meyerhof	1,90

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	0,60	64,00	2,53	Meyerhof	2,10
Strato 3	3,80	14,40	0,29	Meyerhof	2,10
Strato 4	4,80	39,10	1,46	Meyerhof	2,10
Strato 6	6,80	35,00	0,47	Meyerhof	2,20

Strato 7	8,20	23,64	0,47	Meyerhof		2,10
Strato 8	9,80	16,25	0,60	Meyerhof		2,10
Strato 9	14,80	140,34	0,53	Meyerhof		2,20

PROVA ...CPT 2

Prova eseguita in data: 16/12/2020
Profondità prova: 13,80 m

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00		
0,40	0,00	0,00	0,00	0,47	0,0	
0,60	9,00	16,00	9,00	0,33	27,3	3,7
0,80	10,00	15,00	10,00	0,60	16,7	6,0
1,00	11,00	20,00	11,00	0,60	18,3	5,5
1,20	11,00	20,00	11,00	0,73	15,1	6,6
1,40	11,00	22,00	11,00	0,40	27,5	3,6
1,60	14,00	20,00	14,00	0,47	29,8	3,4
1,80	11,00	18,00	11,00	0,47	23,4	4,3
2,00	159,00	166,00	159,00	1,87	85,0	1,2
2,20	132,00	160,00	132,00	0,00		0,0
2,40	290,00	0,00	290,00	3,47	83,6	1,2
2,60	89,00	141,00	89,00	1,53	58,2	1,7
2,80	106,00	129,00	106,00	3,87	27,4	3,7
3,00	59,00	117,00	59,00	0,80	73,8	1,4
3,20	71,00	83,00	71,00	1,27	55,9	1,8
3,40	61,00	80,00	61,00	1,20	50,8	2,0
3,60	154,00	172,00	154,00	0,00		0,0
3,80	210,00	0,00	210,00	4,47	47,0	2,1
4,00	158,00	225,00	158,00	0,53	298,1	0,3
4,20	98,00	106,00	98,00	1,27	77,2	1,3
4,40	39,00	58,00	39,00	1,40	27,9	3,6
4,60	51,00	72,00	51,00	1,80	28,3	3,5
4,80	79,00	106,00	79,00	1,60	49,4	2,0
5,00	54,00	78,00	54,00	1,60	33,8	3,0
5,20	27,00	51,00	27,00	0,00		0,0
5,40	200,00	0,00	200,00	4,20	47,6	2,1
5,60	155,00	218,00	155,00	0,93	166,7	0,6
5,80	85,00	99,00	85,00	0,27	314,8	0,3
6,00	23,00	27,00	23,00	0,00		0,0
6,20	290,00	0,00	290,00	5,87	49,4	2,0
6,40	58,00	146,00	58,00	4,87	11,9	8,4
6,60	11,00	84,00	11,00	2,53	4,3	23,0
6,80	113,00	151,00	113,00	1,80	62,8	1,6
7,00	108,00	135,00	108,00	1,87	57,8	1,7
7,20	14,00	42,00	14,00	0,87	16,1	6,2
7,40	25,00	38,00	25,00	1,07	23,4	4,3
7,60	12,00	28,00	12,00	0,53	22,6	4,4
7,80	45,00	53,00	45,00	0,73	61,6	1,6
8,00	89,00	100,00	89,00	0,20	445,0	0,2
8,20	8,00	11,00	8,00	0,60	13,3	7,5
8,40	143,00	152,00	143,00	1,00	143,0	0,7
8,60	76,00	91,00	76,00	5,73	13,3	7,5
8,80	43,00	129,00	43,00	0,87	49,4	2,0
9,00	17,00	30,00	17,00	0,80	21,3	4,7
9,20	22,00	34,00	22,00	0,80	27,5	3,6
9,40	19,00	31,00	19,00	0,60	31,7	3,2
9,60	14,00	23,00	14,00	4,73	3,0	33,8
9,80	107,00	178,00	107,00	2,20	48,6	2,1
10,00	128,00	161,00	128,00	1,33	96,2	1,0
10,20	61,00	81,00	61,00	4,27	14,3	7,0
10,40	125,00	189,00	125,00	2,67	46,8	2,1
10,60	168,00	208,00	168,00	0,00		0,0
10,80	290,00	0,00	290,00	6,67	43,5	2,3
11,00	141,00	241,00	141,00	5,13	27,5	3,6
11,20	107,00	184,00	107,00	4,73	22,6	4,4
11,40	56,00	127,00	56,00	5,80	9,7	10,4
11,60	131,00	218,00	131,00	1,27	103,1	1,0
11,80	127,00	146,00	127,00	-4,47	-28,4	-3,5
12,00	220,00	0,00	220,00	1,07	205,6	0,5
12,20	137,00	153,00	137,00	-0,13	-1053,8	-0,1
12,40	200,00	0,00	200,00	1,60	125,0	0,8
12,60	174,00	198,00	174,00	2,73	63,7	1,6
12,80	165,00	206,00	165,00	5,67	29,1	3,4
13,00	117,00	202,00	117,00	1,00	117,0	0,9
13,20	108,00	123,00	108,00	0,00		0,0

13,40	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0
13,60	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0
13,80	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0

Prof. Strato (m)	qc Medio Minimo (Kg/cm²)	fs Media minima (Kg/cm²)	Gamma Medio Minimo (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,80	4,81	0,23	1,82	Coesivo	Argilla inorganica tenera
2,40	162,83	0,89	2,00	Incoerente-Coesivo	Sabbie addensate o cementate
3,40	68,10	1,27	1,94	Incoerente-Coesivo	Sabbie
4,20	126,50	0,78	2,00	Incoerente-Coesivo	Sabbie addensate o cementate
7,00	34,95	0,81	1,93	Incoerente-Coesivo	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
9,60	24,27	0,81	1,88	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
13,20	99,17	-1,08	2,05	Incoerente	Sabbie addensate o cementate
13,80	290,00	0,00	2,00	Incoerente	Sabbie addensate o cementate

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi
Strato 1	1,80	4,81	0,23	0,27	0,37	0,31	0,27	0,24	0,24
Strato 2	2,40	162,83	0,89	9,31	4,46	10,83	9,56	8,55	8,14
Strato 3	3,40	68,10	1,27	3,88	3,04	4,50	3,97	3,56	3,40
Strato 4	4,20	126,50	0,78	7,22	4,06	8,39	7,40	6,62	6,32
Strato 5	7,00	34,95	0,81	1,96	1,96	2,26	1,99	1,78	1,75
Strato 6	9,60	24,27	0,81	1,34	1,45	1,51	1,33	1,19	1,21

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 1	1,80	4,81	0,23	38,48	26,58	72,15	14,43
Strato 2	2,40	162,83	0,89	407,08	325,65	488,49	244,24
Strato 3	3,40	68,10	1,27	170,25	136,20	204,30	102,15
Strato 4	4,20	126,50	0,78	316,25	253,00	379,50	189,75
Strato 5	7,00	34,95	0,81	87,38	69,90	104,85	104,85
Strato 6	9,60	24,27	0,81	60,68	48,54	72,81	72,81

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (40)
Strato 1	1,80	4,81	0,23	174,23	9,60
Strato 2	2,40	162,83	0,89	6092,72	325,60
Strato 3	3,40	68,10	1,27	2537,45	136,00
Strato 4	4,20	126,50	0,78	4724,19	252,80
Strato 5	7,00	34,95	0,81	1284,68	70,00
Strato 6	9,60	24,27	0,81	875,01	48,40

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
Strato 1	1,80	4,81	0,23	Imai & Tomauchi	73,11
Strato 2	2,40	162,83	0,89	Imai & Tomauchi	628,82
Strato 3	3,40	68,10	1,27	Imai & Tomauchi	369,16
Strato 4	4,20	126,50	0,78	Imai & Tomauchi	538,93
Strato 5	7,00	34,95	0,81	Imai & Tomauchi	245,59
Strato 6	9,60	24,27	0,81	Imai & Tomauchi	196,53

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	1,80	4,81	0,23	Meyerhof	1,73
Strato 2	2,40	162,83	0,89	Meyerhof	2,32
Strato 3	3,40	68,10	1,27	Meyerhof	2,18
Strato 4	4,20	126,50	0,78	Meyerhof	2,28
Strato 5	7,00	34,95	0,81	Meyerhof	2,06
Strato 6	9,60	24,27	0,81	Meyerhof	2,00

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	1,80	4,81	0,23	Meyerhof	1,81
Strato 2	2,40	162,83	0,89	Meyerhof	2,40
Strato 3	3,40	68,10	1,27	Meyerhof	2,26
Strato 4	4,20	126,50	0,78	Meyerhof	2,36
Strato 5	7,00	34,95	0,81	Meyerhof	2,14
Strato 6	9,60	24,27	0,81	Meyerhof	2,08

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	Schmertmann	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkowski 1985
Strato 2	2,40	162,83	0,89	94,36	100	100	95,43	100
Strato 3	3,40	68,10	1,27	66,81	79,1	78,85	67,65	73,69
Strato 4	4,20	126,50	0,78	81,82	96,86	95,74	82,79	83,37
Strato 5	7,00	34,95	0,81	41,25	42,18	44,74	41,87	35,16

Strato 6	9,60	24,27	0,81	26,58	20,69	24,93	27,08	13,47
Strato 7	13,20	99,17	-1,08	62,6	64,66	66,55	63,4	44,44
Strato 8	13,80	290,00	0,00	90,79	99,56	99,5	91,83	70,09

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Durgunouglu-Mitchell 1973	Caquot	Koppejan	De Beer	Schmertmann	Robertson & Campanella 1983	Herminier	Meyerhof 1951
Strato 2	2,40	162,83	0,89	43,47	40,16	37,69	35,04	42	45	41,71	45
Strato 3	3,40	68,10	1,27	38,41	34,87	32,13	29,96	39,07	43	31,13	45
Strato 4	4,20	126,50	0,78	40,56	37,04	34,41	32,04	41,56	45	35,39	45
Strato 5	7,00	34,95	0,81	33,12	29,25	26,24	24,57	33,91	36,9	24,56	32,69
Strato 6	9,60	24,27	0,81	30	25,94	22,76	21,39	30,9	32,77	22,85	27,9
Strato 7	13,20	99,17	-1,08	35,5	31,53	28,63	26,76	37,05	39,51	26,6	45
Strato 8	13,80	290,00	0,00	39,92	36,05	33,37	31,09	41,94	44,15	33,42	45

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 2	2,40	162,83	0,89	407,08	325,66	651,32
Strato 3	3,40	68,10	1,27	170,25	136,20	443,19
Strato 4	4,20	126,50	0,78	316,25	253,00	553,67
Strato 5	7,00	34,95	0,81	87,38	69,90	382,30
Strato 6	9,60	24,27	0,81	60,68	48,54	328,06
Strato 7	13,20	99,17	-1,08	247,92	198,34	817,24
Strato 8	13,80	290,00	0,00	725,00	580,00	1175,31

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Robertson & Campanella da Schmertmann	Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-Mayne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
Strato 2	2,40	162,83	0,89	88,07	339,36	1331,21	244,24	244,24
Strato 3	3,40	68,10	1,27	69,62	267,13	546,99	115,77	102,15
Strato 4	4,20	126,50	0,78	86,42	268,11	1026,26	189,75	189,75
Strato 5	7,00	34,95	0,81	42,46	137,10	266,71	69,90	104,85
Strato 6	9,60	24,27	0,81	28,03	95,20	173,16	48,54	121,35
Strato 7	13,20	99,17	-1,08	68,56	389,01	785,37	168,59	148,76
Strato 8	13,80	290,00	0,00	104,42	588,79	2355,95	435,00	435,00

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato 2	2,40	162,83	0,89	Imai & Tomauchi	628,82
Strato 3	3,40	68,10	1,27	Imai & Tomauchi	369,16
Strato 4	4,20	126,50	0,78	Imai & Tomauchi	538,93
Strato 5	7,00	34,95	0,81	Imai & Tomauchi	245,59
Strato 6	9,60	24,27	0,81	Imai & Tomauchi	196,53
Strato 7	13,20	99,17	-1,08	Imai & Tomauchi	464,46
Strato 8	13,80	290,00	0,00	Imai & Tomauchi	894,71

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Ko
Strato 2	2,40	162,83	0,89	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00
Strato 3	3,40	68,10	1,27	Kulhawy & Mayne (1990)	0,81
Strato 4	4,20	126,50	0,78	Kulhawy & Mayne (1990)	1,08
Strato 5	7,00	34,95	0,81	Kulhawy & Mayne (1990)	0,39
Strato 6	9,60	24,27	0,81	Kulhawy & Mayne (1990)	0,25
Strato 7	13,20	99,17	-1,08	Kulhawy & Mayne (1990)	0,52
Strato 8	13,80	290,00	0,00	Kulhawy & Mayne (1990)	0,95

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 2	2,40	162,83	0,89	Meyerhof	1,90
Strato 3	3,40	68,10	1,27	Meyerhof	1,80
Strato 4	4,20	126,50	0,78	Meyerhof	1,90
Strato 5	7,00	34,95	0,81	Meyerhof	1,80
Strato 6	9,60	24,27	0,81	Meyerhof	1,80
Strato 7	13,20	99,17	-1,08	Meyerhof	1,80
Strato 8	13,80	290,00	0,00	Meyerhof	0,00

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 2	2,40	162,83	0,89	Meyerhof	2,20
Strato 3	3,40	68,10	1,27	Meyerhof	2,10
Strato 4	4,20	126,50	0,78	Meyerhof	2,20
Strato 5	7,00	34,95	0,81	Meyerhof	2,10
Strato 6	9,60	24,27	0,81	Meyerhof	2,10
Strato 7	13,20	99,17	-1,08	Meyerhof	2,10
Strato 8	13,80	290,00	0,00	Meyerhof	0,00

PROVA ...CPT 3

Prova eseguita in data: 16/12/2020
Profondità prova: 12,80 m

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm²)	Lettura laterale (Kg/cm²)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,00	0,00	0,00		
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,0	
0,60	12,00	21,00	12,00	0,93	12,9	7,8
0,80	29,00	43,00	29,00	1,40	20,7	4,8
1,00	55,00	76,00	55,00	1,80	30,6	3,3
1,20	99,00	126,00	99,00	0,00		0,0
1,40	200,00	0,00	200,00	0,00		0,0
1,60	250,00	0,00	250,00	0,00		0,0
1,80	290,00	0,00	290,00	3,53	82,2	1,2
2,00	181,00	234,00	181,00	1,13	160,2	0,6
2,20	178,00	195,00	178,00	1,27	140,2	0,7
2,40	115,00	134,00	115,00	1,40	82,1	1,2
2,60	70,00	91,00	70,00	1,60	43,8	2,3
2,80	55,00	79,00	55,00	0,93	59,1	1,7
3,00	70,00	84,00	70,00	3,73	18,8	5,3
3,20	15,00	71,00	15,00	0,93	16,1	6,2
3,40	74,00	88,00	74,00	0,93	79,6	1,3
3,60	104,00	118,00	104,00	2,00	52,0	1,9
3,80	73,00	103,00	73,00	2,20	33,2	3,0
4,00	89,00	122,00	89,00	1,47	60,5	1,7
4,20	37,00	59,00	37,00	1,47	25,2	4,0
4,40	6,00	28,00	6,00	0,20	30,0	3,3
4,60	11,00	14,00	11,00	0,07	157,1	0,6
4,80	11,00	12,00	11,00	1,07	10,3	9,7
5,00	18,00	34,00	18,00	2,73	6,6	15,2
5,20	88,00	129,00	88,00	2,07	42,5	2,4
5,40	57,00	88,00	57,00	2,07	27,5	3,6
5,60	78,00	109,00	78,00	2,80	27,9	3,6
5,80	19,00	61,00	19,00	3,67	5,2	19,3
6,00	129,00	184,00	129,00	0,00		0,0
6,20	200,00	0,00	200,00	2,87	69,7	1,4
6,40	145,00	188,00	145,00	4,80	30,2	3,3
6,60	134,00	206,00	134,00	0,00		0,0
6,80	200,00	0,00	200,00	1,40	142,9	0,7
7,00	60,00	81,00	60,00	1,53	39,2	2,6
7,20	9,00	32,00	9,00	2,27	4,0	25,2
7,40	180,00	214,00	180,00	4,33	41,6	2,4
7,60	110,00	175,00	110,00	3,93	28,0	3,6
7,80	12,00	71,00	12,00	0,47	25,5	3,9
8,00	64,00	71,00	64,00	1,27	50,4	2,0
8,20	12,00	31,00	12,00	0,33	36,4	2,8
8,40	8,00	13,00	8,00	0,20	40,0	2,5
8,60	28,00	31,00	28,00	2,00	14,0	7,1
8,80	34,00	64,00	34,00	0,87	39,1	2,6
9,00	22,00	35,00	22,00	0,60	36,7	2,7
9,20	11,00	20,00	11,00	0,80	13,8	7,3
9,40	95,00	107,00	95,00	4,07	23,3	4,3
9,60	14,00	75,00	14,00	0,13	107,7	0,9
9,80	68,00	70,00	68,00	1,33	51,1	2,0
10,00	52,00	72,00	52,00	3,00	17,3	5,8
10,20	58,00	103,00	58,00	1,27	45,7	2,2
10,40	68,00	87,00	68,00	2,20	30,9	3,2
10,60	12,00	45,00	12,00	2,47	4,9	20,6
10,80	8,00	45,00	8,00	0,87	9,2	10,9
11,00	162,00	175,00	162,00	0,00		0,0
11,20	200,00	0,00	200,00	0,00		0,0
11,40	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0
11,60	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0
11,80	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0
12,00	290,00	0,00	290,00	0,80	362,5	0,3
12,20	148,00	160,00	148,00	7,07	20,9	4,8
12,40	54,00	160,00	54,00	0,00		0,0
12,60	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0
12,80	290,00	0,00	290,00	0,00		0,0

Prof. Strato (m)	qc Medio Minimo (Kg/cm²)	fs Media minima (Kg/cm²)	Gamma Medio Minimo (t/m³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,00	22,00	1,15	1,91	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
2,40	143,29	0,52	1,95	Incoerente-Coesivo	Sabbie addensate o cementate
3,20	33,75	1,36	1,97	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
4,00	79,00	1,29	1,95	Incoerente-Coesivo	Sabbie
5,00	11,30	0,59	1,83	Coesivo	Argilla inorganica compatta
5,80	39,75	2,36	2,05	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta
7,60	69,33	1,17	1,96	Incoerente-Coesivo	Sabbie
10,80	21,69	0,75	1,88	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
12,80	142,20	0,39	1,96	Incoerente-Coesivo	Sabbie addensate o cementate

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI CPT 3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Lunne & Eide	Sunda Relazione Sperimentale	Lunne T.-Kleven A. 1981	Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977	Lunne, Robertson and Powell 1977	Terzaghi
Strato 1	1,00	22,00	1,15	1,25	1,43	1,46	1,29	1,15	1,10
Strato 2	2,40	143,29	0,52	8,19	4,27	9,53	8,41	7,52	7,16
Strato 3	3,20	33,75	1,36	1,91	1,95	2,21	1,95	1,75	1,69
Strato 4	4,00	79,00	1,29	4,49	3,28	5,22	4,61	4,12	3,95
Strato 5	5,00	11,30	0,59	0,61	0,76	0,70	0,61	0,55	0,57
Strato 6	5,80	39,75	2,36	2,24	2,15	2,58	2,28	2,04	1,99
Strato 7	7,60	69,33	1,17	3,92	3,04	4,54	4,00	3,58	3,47
Strato 8	10,80	21,69	0,75	1,18	1,31	1,33	1,17	1,05	1,08
Strato 9	12,80	142,20	0,39	8,07	4,20	9,33	8,23	7,36	7,11

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Mitchell & Gardner (1975)	Metodo generale del modulo edometrico	Buismann	Buismann Sanglerat
Strato 1	1,00	22,00	1,15	55,00	44,00	66,00	66,00
Strato 2	2,40	143,29	0,52	358,22	286,58	429,87	214,93
Strato 3	3,20	33,75	1,36	84,38	67,50	101,25	101,25
Strato 4	4,00	79,00	1,29	197,50	158,00	237,00	118,50
Strato 5	5,00	11,30	0,59	56,50	45,89	67,80	33,90
Strato 6	5,80	39,75	2,36	99,38	79,50	119,25	119,25
Strato 7	7,60	69,33	1,17	173,33	138,66	207,99	104,00
Strato 8	10,80	21,69	0,75	54,23	43,38	65,07	65,07
Strato 9	12,80	142,20	0,39	355,50	284,40	426,60	213,30

Modulo di deformazione non drenato Eu (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Cancelli 1980	Ladd 1977 (40)
Strato 1	1,00	22,00	1,15	821,42	44,00
Strato 2	2,40	143,29	0,52	5361,09	286,40
Strato 3	3,20	33,75	1,36	1249,02	67,60
Strato 4	4,00	79,00	1,29	2943,02	158,00
Strato 5	5,00	11,30	0,59	401,28	22,80
Strato 6	5,80	39,75	2,36	1465,03	79,60
Strato 7	7,60	69,33	1,17	2569,46	138,80
Strato 8	10,80	21,69	0,75	774,44	43,20
Strato 9	12,80	142,20	0,39	5284,69	284,40

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm²)
Strato 1	1,00	22,00	1,15	Imai & Tomauchi	185,09
Strato 2	2,40	143,29	0,52	Imai & Tomauchi	581,58
Strato 3	3,20	33,75	1,36	Imai & Tomauchi	240,40
Strato 4	4,00	79,00	1,29	Imai & Tomauchi	404,21
Strato 5	5,00	11,30	0,59	Imai & Tomauchi	123,19
Strato 6	5,80	39,75	2,36	Imai & Tomauchi	265,68
Strato 7	7,60	69,33	1,17	Imai & Tomauchi	373,22
Strato 8	10,80	21,69	0,75	Imai & Tomauchi	183,49
Strato 9	12,80	142,20	0,39	Imai & Tomauchi	578,87

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 1	1,00	22,00	1,15	Meyerhof	1,99
Strato 2	2,40	143,29	0,52	Meyerhof	2,30
Strato 3	3,20	33,75	1,36	Meyerhof	2,06
Strato 4	4,00	79,00	1,29	Meyerhof	2,20
Strato 5	5,00	11,30	0,59	Meyerhof	1,87
Strato 6	5,80	39,75	2,36	Meyerhof	2,09
Strato 7	7,60	69,33	1,17	Meyerhof	2,18
Strato 8	10,80	21,69	0,75	Meyerhof	1,98
Strato 9	12,80	142,20	0,39	Meyerhof	2,30

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 1	1,00	22,00	1,15	Meyerhof	2,07
Strato 2	2,40	143,29	0,52	Meyerhof	2,38

Strato 3	3,20	33,75	1,36	Meyerhof	2,14
Strato 4	4,00	79,00	1,29	Meyerhof	2,28
Strato 5	5,00	11,30	0,59	Meyerhof	1,95
Strato 6	5,80	39,75	2,36	Meyerhof	2,17
Strato 7	7,60	69,33	1,17	Meyerhof	2,26
Strato 8	10,80	21,69	0,75	Meyerhof	2,06
Strato 9	12,80	142,20	0,39	Meyerhof	2,38

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa (%)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Baldi 1978 - Schmertmann 1976	Schmertmann	Harman	Lancellotta 1983	Jamiolkowski 1985
Strato 2	2,40	143,29	0,52	91,98	100	100	93,03	100
Strato 3	3,20	33,75	1,36	46,6	52,91	54,28	47,26	53,66
Strato 4	4,00	79,00	1,29	68,5	79,73	79,65	69,35	70,76
Strato 7	7,60	69,33	1,17	58,46	62,98	64,46	59,22	49,24
Strato 8	10,80	21,69	0,75	21,92	13,8	18,59	22,38	6,97
Strato 9	12,80	142,20	0,39	72,45	77,1	78,26	73,33	53,81

Angolo di resistenza al taglio (°)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Durgunouglu-Mitchell 1973	Caquot	Koppejan	De Beer	Schmertmann	Robertson & Campanella 1983	Herminier	Meyerhof 1951
Strato 2	2,40	143,29	0,52	43,25	39,96	37,48	34,85	42	45	41,41	45
Strato 3	3,20	33,75	1,36	34,96	31,29	28,38	26,53	35,41	39,24	26,26	32,15
Strato 4	4,00	79,00	1,29	38,32	34,72	31,98	29,81	39,16	42,85	30,89	45
Strato 7	7,60	69,33	1,17	35,69	31,86	28,98	27,07	36,82	39,87	26,92	45
Strato 8	10,80	21,69	0,75	29	24,88	21,64	20,37	29,93	31,34	22,5	26,74
Strato 9	12,80	142,20	0,39	37,1	33,18	30,36	28,34	38,79	41,28	28,59	45

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Schmertmann	Robertson & Campanella (1983)	ISOPT-1 1988 Ey(50)
Strato 2	2,40	143,29	0,52	358,22	286,58	573,16
Strato 3	3,20	33,75	1,36	84,38	67,50	325,71
Strato 4	4,00	79,00	1,29	197,50	158,00	508,16
Strato 7	7,60	69,33	1,17	173,33	138,66	585,31
Strato 8	10,80	21,69	0,75	54,23	43,38	311,12
Strato 9	12,80	142,20	0,39	355,50	284,40	959,57

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Robertson & Campanella da Schmertmann	Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997	Kulhawy-Mayne 1990	Mitchell & Gardner 1975	Buisman - Sanglerat
Strato 2	2,40	143,29	0,52	87,13	301,04	1171,19	214,93	214,93
Strato 3	3,20	33,75	1,36	47,99	132,39	263,85	67,50	101,25
Strato 4	4,00	79,00	1,29	71,44	309,89	634,87	134,30	118,50
Strato 7	7,60	69,33	1,17	61,32	271,96	548,00	117,86	104,00
Strato 8	10,80	21,69	0,75	23,70	85,08	150,14	43,38	108,45
Strato 9	12,80	142,20	0,39	80,09	298,90	1139,66	213,30	213,30

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato 2	2,40	143,29	0,52	Imai & Tomauchi	581,58
Strato 3	3,20	33,75	1,36	Imai & Tomauchi	240,40
Strato 4	4,00	79,00	1,29	Imai & Tomauchi	404,21
Strato 7	7,60	69,33	1,17	Imai & Tomauchi	373,22
Strato 8	10,80	21,69	0,75	Imai & Tomauchi	183,49
Strato 9	12,80	142,20	0,39	Imai & Tomauchi	578,87

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Ko
Strato 2	2,40	143,29	0,52	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00
Strato 3	3,20	33,75	1,36	Kulhawy & Mayne (1990)	0,51
Strato 4	4,00	79,00	1,29	Kulhawy & Mayne (1990)	0,80
Strato 7	7,60	69,33	1,17	Kulhawy & Mayne (1990)	0,55
Strato 8	10,80	21,69	0,75	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00
Strato 9	12,80	142,20	0,39	Kulhawy & Mayne (1990)	0,65

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato 2	2,40	143,29	0,52	Meyerhof	1,90
Strato 3	3,20	33,75	1,36	Meyerhof	1,80
Strato 4	4,00	79,00	1,29	Meyerhof	1,90
Strato 7	7,60	69,33	1,17	Meyerhof	1,80
Strato 8	10,80	21,69	0,75	Meyerhof	1,80
Strato 9	12,80	142,20	0,39	Meyerhof	1,90

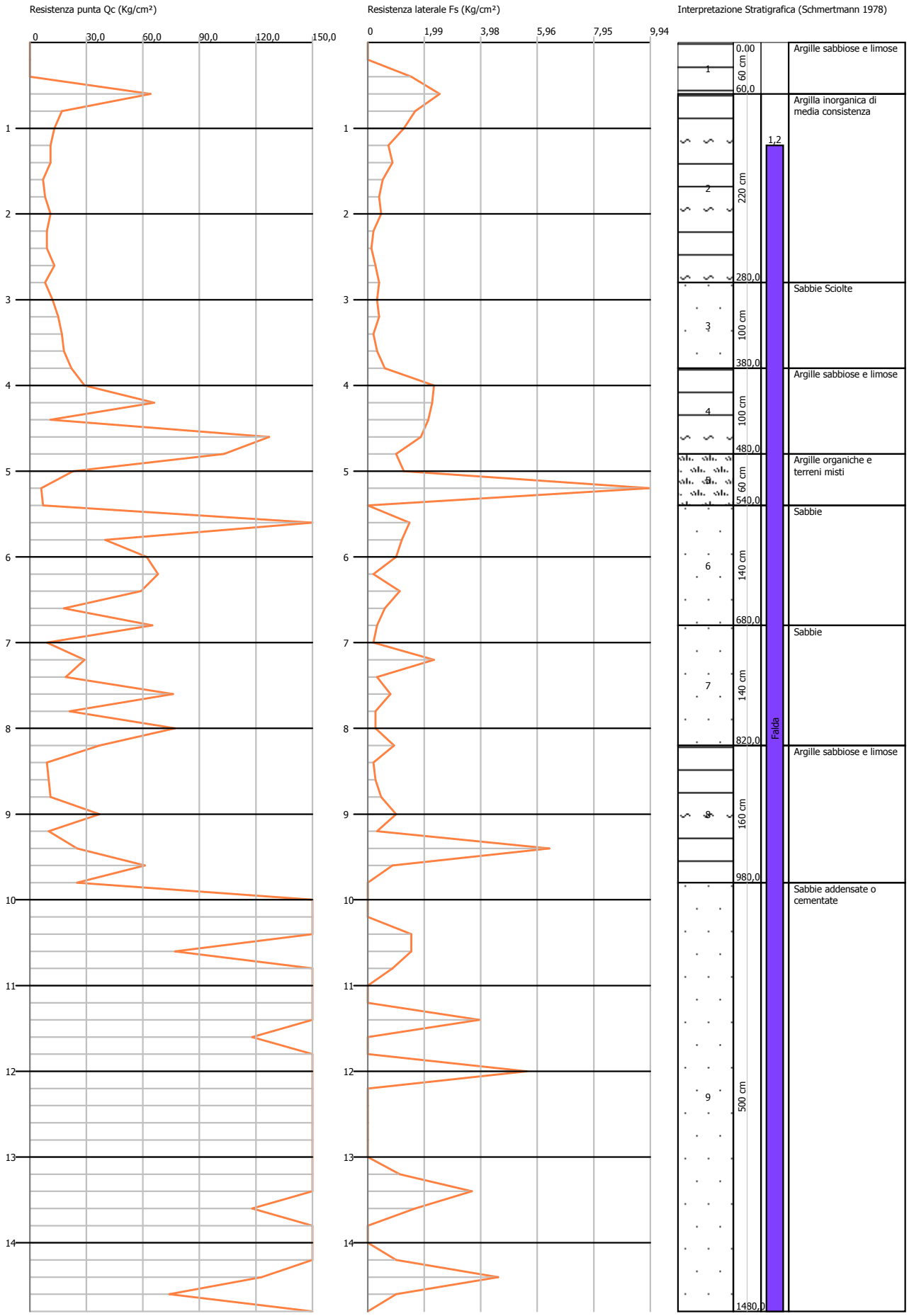
Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm²)	fs (Kg/cm²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato 2	2,40	143,29	0,52	Meyerhof	2,20
Strato 3	3,20	33,75	1,36	Meyerhof	2,10
Strato 4	4,00	79,00	1,29	Meyerhof	2,20
Strato 7	7,60	69,33	1,17	Meyerhof	2,10
Strato 8	10,80	21,69	0,75	Meyerhof	2,10
Strato 9	12,80	142,20	0,39	Meyerhof	2,20

Probe CPT - Cone Penetration CPT 1
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: Marche Multiservizi S.p.a.
Cantiere: realizzazione strutture all'interno del cantiere ex Amga
Località: Via Morosini - Pesaro

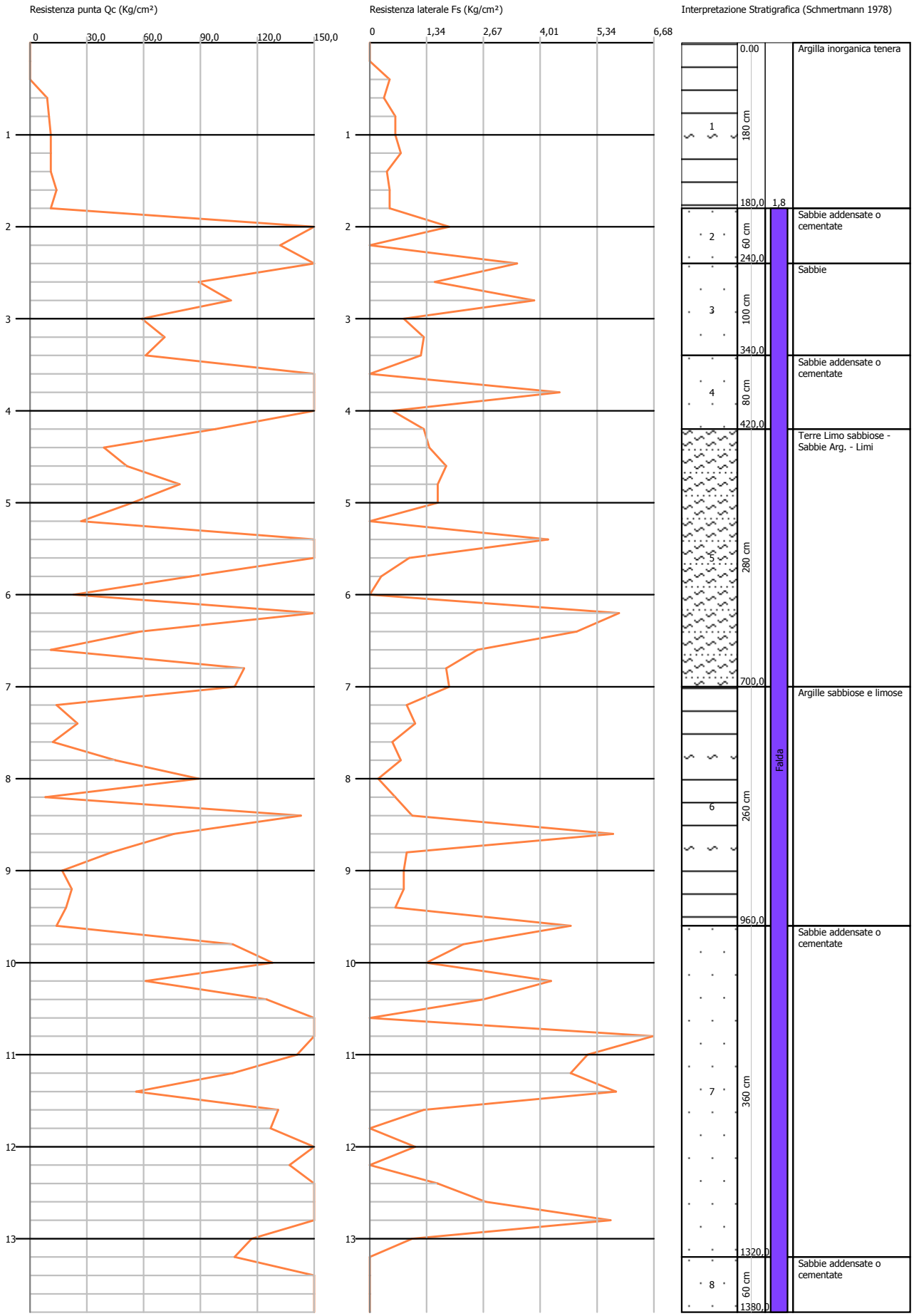
Data: 16/12/2020



Probe CPT - Cone Penetration CPT 2
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: Marche Multiservizi S.p.a.
Cantiere: realizzazione strutture all'interno del cantiere ex Amga
Località: Via Morosini - Pesaro

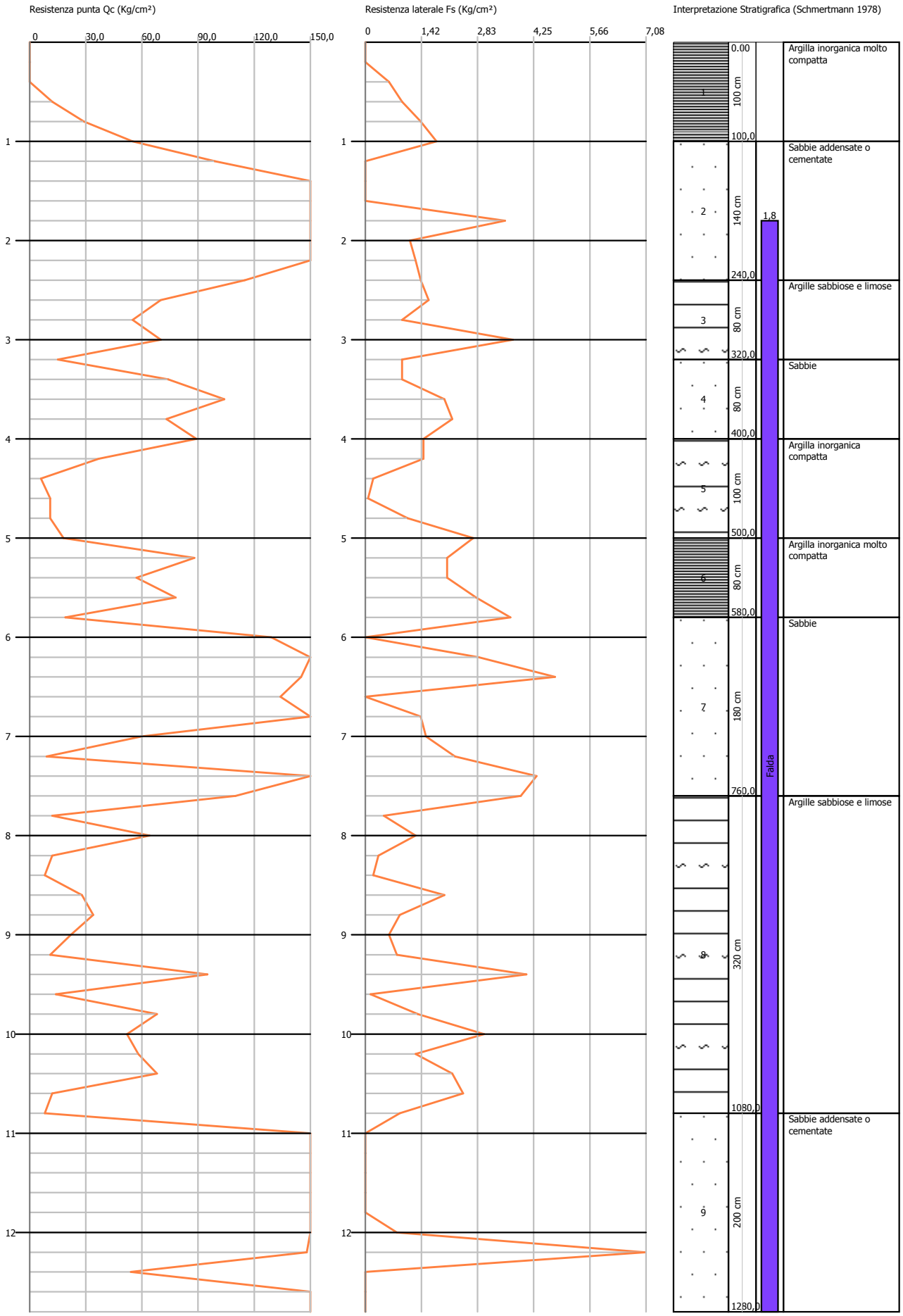
Data: 16/12/2020



Probe CPT - Cone Penetration CPT 3
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: Marche Multiservizi S.p.a.
Cantiere: realizzazione strutture all'interno del cantiere ex Amga
Località: Via Morosini - Pesaro

Data: 16/12/2020



Brunelli
Indagini Geofisiche

INDAGINI GEOFISICHE:
Analisi congiunta MASW in Onde di Love ed analisi dei microtremori con il metodo passivo a stazione singola HVSR

Committente:
Marche Multiservizi S.p.A.

Comune: Pesaro **Data: 04-01-2021**

Dr. Geol. Marco Brunelli

Sommario

1 - PREMESSA..... 3
2 - METODI GEOFISICI 4
2.1 Tecnica sismica passiva a stazione singola - metodo HVSR..... 4
2.2 Metodologia M.A.S.W. 7
3 - STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E SOFTWARE 8
4 – ACQUISIZIONI HVSR 9
5 – ACQUISIZIONI MASW 12
6 – ANALISI CONGIUNTA ONDE DI LOVE E HVSR 14
7 - CONCLUSIONI 16

1 - PREMESSA

Su incarico di Marche Multiservizi S.p.A. il Dott. Geol. Marco Brunelli in data 04-01-2020 ha eseguito le indagini geofisiche all'interno dell'area ex AMGA in via Francesco Morosini, comune di Pesaro; finalizzate ad effettuare una stima:

- delle frequenze di risonanza del terreno nel sito in esame mediante indagine HVSR.
- della Vs, eq del sito in esame tramite l'esecuzione di una indagine M.A.S.W. (Multi-channel Analysis of Surface Waves), in Onde di Rayleigh e in Onde di Love.

La presente relazione illustra le attività svolte e i risultati conseguiti.

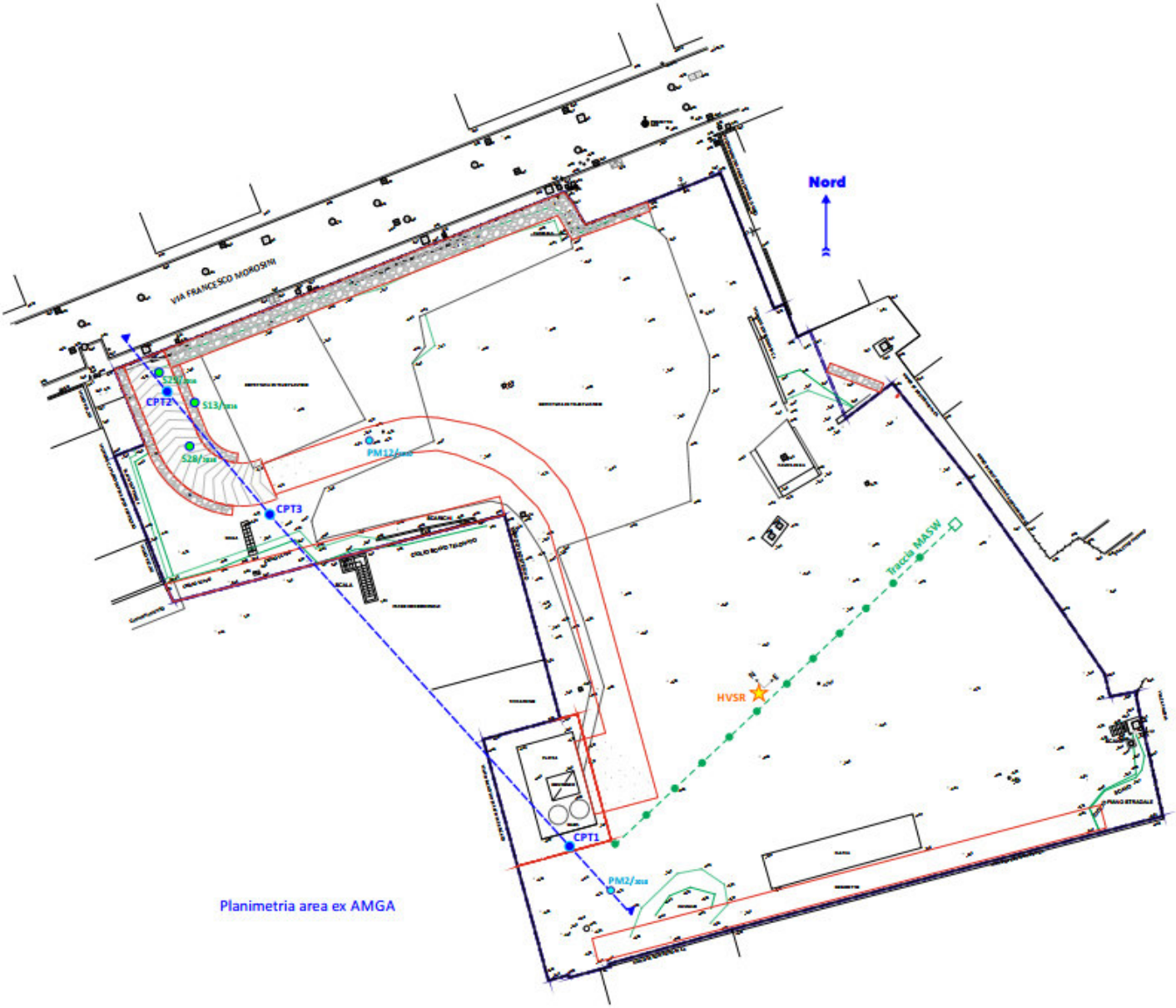


Figura 1. Planimetria con ubicazione delle indagini MASW e HVSR.

2 - METODI GEOFISICI

2.1 Tecnica sismica passiva a stazione singola - metodo HVSR

La prospezione sismica passiva a stazione singola, nota con il nome metodo H/V, è una tecnica non invasiva, che non necessita di perforazioni o lunghi stendimenti e viene comunemente usata come stimatore delle frequenze di risonanza del sito, ossia delle frequenze alla quali il moto del terreno viene amplificato. Si esegue con un sismometro tricomponente (N-S, E-W, e verticale) a banda larga e ad alta sensibilità. Tale strumento è utilizzato per registrare presso un punto di misura il rumore sismico ambientale (o microtremore) che è l'insieme dei movimenti del terreno caratterizzati da ampiezze non percepibili dall'uomo ($10^{-4} \div 10^{-2}$ mm), osservabili in ogni parte della superficie della Terra. Queste vibrazioni rappresentano il prodotto di una molteplicità di sorgenti naturali ed antropiche agenti in tempi, frequenze e punti diversi. Le onde marine e le perturbazioni atmosferiche contribuiscono al campo d'onda prevalentemente a frequenze inferiori a 1 Hz mentre vento, traffico veicolare e attività industriali contribuiscono prevalentemente a frequenze superiori a 1 Hz. Nella (Figura 2), viene mostrato l'origine del rumore sismico ambientale secondo Gutenberg (1931, 1936) ed Asten (1978, 1984).

	Gutenberg (1931, 1936)	Asten (1978, 1984)
Onde che colpiscono le coste	0.05-0.1 Hz	0.5-1.2 Hz
Monsoni/perturbazioni meteorologiche a grande scala	0.1-0-25 Hz	0.16-0.5 Hz
Cicloni sull'oceano	0.3-1 Hz	0.5-3 Hz
Condizioni metereologiche locali	1.4-5 Hz	
Tremore vulcanico	2-10 Hz	
Rumore urbano	1-100 Hz	1.4-30 Hz

Figura 2. Origine del rumore sismico ambientale secondo Gutenberg (1931, 1936), Asten (1978, 1984).

La tecnica H/V consiste nel calcolo del rapporto tra la media delle componenti spettrali orizzontali H e quella verticale V del segnale di rumore ambientale acquisito. Per questo motivo la prova assume la denominazione di metodo H/V o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). Questa operazione cancella gli effetti legati alle sorgenti ed enfatizza invece una funzione che è caratteristica del sito e per questo risulta stabile nel tempo. Di seguito si illustra in che modo le frequenze di risonanza sono legate ai contrasti di impedenza (velocità×densità) presenti nel sottosuolo.

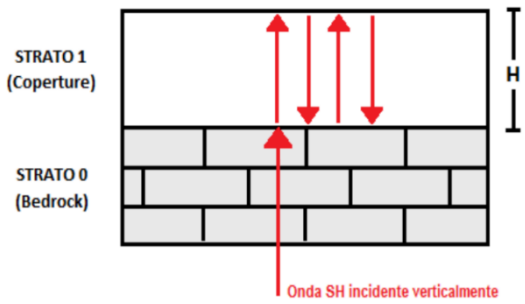


Figura 3. Intrappolamento per trasmissione e successive riflessioni di un onda sismica SH incidente verticalmente dal basso in uno strato di coperture di spessore (H) sovrastanti un bedrock rigido (Castellaro, 2010).

Dato un modello di sottosuolo costituito da uno strato di coperture sedimentarie di spessore H al di sopra di un substrato rigido (Figura 3) e un'onda SH incidente verticalmente dal basso verso l'alto, quest'ultima tenderà a rimanere intrappolata nello strato tenero per riflessioni multiple (alla superficie libera, nuovamente al bedrock e così via) e darà luogo a fenomeni di risonanza per lunghezze d'onda incidenti $\lambda = n\,4\,H$ (Castellaro, 2010). Le frequenze a cui si manifesta la risonanza di detta onda sono descritte dalla legge:

$$\boldsymbol{f} = \boldsymbol{n}\frac{\boldsymbol{Vs}}{\boldsymbol{4H}} \qquad \boldsymbol{n} = 1,3,5,\ldots$$

Equazione 1.

- f = frequenza di risonanza
- Vs = velocità media delle onde di taglio nella copertura sedimentaria (strato 1 nella Figura 3)
- H = spessore della copertura sedimentaria (strato 1 nella Figura 3)
- n = indica l'ordine del modo di vibrare

Questa legge vale nel caso di una struttura geologica semplice (in cui un singolo strato, a contatto con l'atmosfera, ricopre un semispazio omogeneo), nei sistemi multistrato è invece necessario ricorrere a modelli più complessi, basati sulla propagazione delle onde di superficie (Scherbaum et al. 2003; Ohrnberger et al. 2004; Parolai et al. 2006; Castellaro e Mulargia 2009a). L'equazione 1 rende intuibile l'applicazione stratigrafica della tecnica H/V: nota la frequenza di risonanza e vincolando Vs è possibile stimare la profondità dei riflettori sismici che generano i picchi osservati nella curva H/V sperimentale e viceversa. Non è quindi possibile ottenere un profilo di VS a partire da una curva H/V senza vincoli. In assenza di vincoli esistono infinite soluzioni possibili.

La relazione tra frequenza di risonanza e spessore della copertura che risuona, per diversi tipi di sottosuolo (ossia per diverse Vs delle coperture), è data in Figura 4. È evidente la correlazione inversa tra frequenza di risonanza e spessore, a parità di Vs delle coperture. Risulta inoltre evidente come a parità di velocità media dello strato tenero che risuona, maggiore è la profondità del riflettore, minore risulterà la frequenza propria dello strato.

L'ampiezza del picco H/V è influenzata anche dall'entità del contrasto di impedenza tra il bedrock e il materiale di copertura. È del tutto normale che in superficie i contrasti di impedenza risultino maggiori, come visibile nel pannello A di Figura 4, caso 3 (bedrock a 4 m di profondità), mentre man mano che si scende in profondità questi diminuiscano per via della compattazione gravitativa dei sedimenti e ciò si traduce in una minor ampiezza del picco stratigrafico.

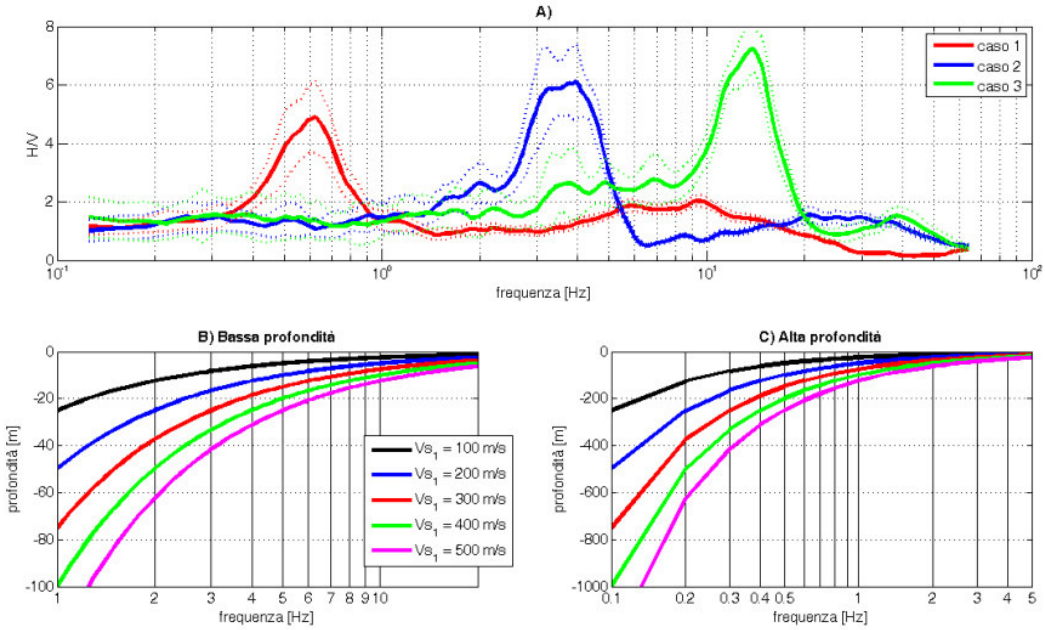


Figura 4. A) esempio di bedrock sismico a diverse profondità che genera risonanze a diverse frequenze. Caso 1: bedrock a 300m di profondità, caso 2: bedrock a 20m di profondità, caso 3: bedrock a 4m di profondità; B) relazione V-f0-H alle medio-alte frequenze; C) relazione V-f0-H alle medio-basse frequenze (Albarello e Castellaro, 2011).

Esiste una relazione non lineare tra l'ampiezza dei massimi della curva H/V e l'entità del contrasto di impedenza sismica alla base della copertura (Albarello, Castellaro, 2011) come visibile in Figura 5. Altri fattori che influenzano l'ampiezza dei massimi H/V sono il contributo delle diverse fasi sismiche (che non è possibile prevedere a priori), lo smorzamento, il rapporto di Poisson nelle coperture e la distribuzione delle sorgenti attorno al ricevitore (Lunedei e Albarello, 2010).

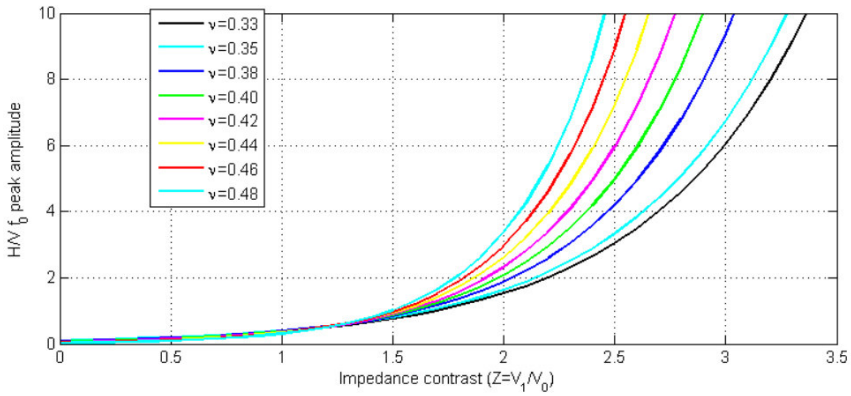


Figura 5. Relazione tra l'ampiezza del picco H/V e il contrasto di impedenza (inteso come rapporto di Vs tra due strati) in funzione del modulo di Poisson nel caso delle onde di Rayleigh (Castellaro e Mulargia, 2014).

2.2 Metodologia M.A.S.W.

La tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), basata sull'analisi della dispersione delle onde di superficie (Rayleigh-Love), è un metodo d'indagine geofisica che prevede l'energizzazione del terreno e la successiva registrazione delle onde generate attraverso un array lineare di geofoni. Questa tecnica si avvale del concetto di dispersione delle onde di superficie, secondo cui in un sottosuolo stratificato onde a frequenze diverse viaggiano nel mezzo con velocità diverse, mentre in un semispazio omogeneo la velocità di propagazione delle onde di superficie sarà sempre la medesima a tutte le frequenze. Sapendo inoltre che le frequenze di oscillazione più basse esplorano porzioni più profonde di terreno (Figura 6) si può, tramite opportune tecniche di analisi, dallo spettro di velocità di fase delle onde di superficie, ricostruire un possibile profilo di Vs, attraverso il quale estrapolare il valore della Vs eq in rispetto alle norme vigenti [NTC 2018].

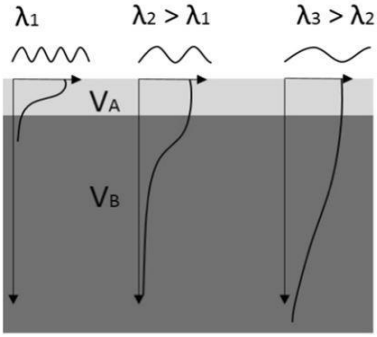


Figura 6. All'aumentare della lunghezza d'onda aumenta la profondità di esplorazione del sottosuolo (Sebastiano Foti *et ali,* 2017).

I limiti principali della tecnica riguardano l'assunzione di un modello del terreno a strati piani paralleli e la profondità massima di indagine. Quest'ultima risulta essere scarsa nel caso in cui a bassa profondità ci sia un forte contrasto d'impedenza in cui c'è un repentino aumento di rigidità. In questo caso l'energia prodotta da una sorgente convenzionale superficiale rimane quasi tutta confinata nel mezzo tenero e rimane poca energia disponibile per caratterizzare le velocità di propagazione delle onde sismiche nel mezzo rigido e sotto di esso (Bonnefoy et al., 2008). Altri aspetti delicati nel processo riguardano l'identificazione dei modi superiori e nel comprendere quando la curva smetta di essere interpretabile nel dominio delle basse frequenze con la conseguente determinazione della profondità massima raggiunta dall'indagine. È bene ricordare inoltre come la risoluzione di tale tecnica di indagine si riduca con la profondità o meglio ancora al diminuire della frequenza delle onde di superficie. I vantaggi di questa tecnica sono la possibilità di individuare le inversioni di velocità e l'elevata profondità di indagine in rapporto alla lunghezza dello stendimento.

Si ritiene importante richiamare il significato di non univocità dell'interpretazione dei dati, che riguarda in diversa misura tutte le tecniche geofisiche. L'elaborazione di un dato acquisito infatti può condurre alla determinazione di diversi modelli congruenti con il dato di partenza con conseguente indeterminazione del risultato di conseguenza, al fine di limitare tale aspetto dei metodi geofisici, è sempre opportuno effettuare analisi congiunte esaminando differenti ''oggetti''. Le conoscenze stratigrafiche del sito da indagini dirette (sondaggi, prove penetrometriche), sono un utile dato di partenza per un miglior risultato finale.

3 - STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E SOFTWARE

Il sistema di acquisizione utilizzato per l'esecuzione dell'indagine MASW è il seguente:

- **geofoni**: orizzontali con frequenza propria di risonanza a 4.5 Hz con connettori di tipo *split spring*.
- **cavo sismico**: a 12 tracce, di 75m di lunghezza complessiva, con connettori NK2721C e attacchi singoli
- **unità di conversione A/D**: Sismografo PASI GEA 24 (24 canali, 24 bits)
- **software di acquisizione**: PASI Gea24

Come sorgente si è fatto uso di una massa battente da 6.4 kg con piastra di battuta in alluminio e traversina.

Il sistema di acquisizione utilizzato per l'esecuzione dell'indagine HVSR oltre al sismografo PASI GEA 24 è costituito da una:

- **terna geofonica triassiale**: modello 3DLG-2 PASI con le seguenti specifiche tecniche

SPECIFICHE TECNICHE 3DLG - 2	
Freq. Nat. di risonanza	2Hz ± 10%
Sensibilità	2 V/cm • S^{-1} ± 5%
Resistenza interna	5.8 kΩ ± 5%
Damping	0.7 ± 10%
Distorsione armonica	≤ 0.2%
Impedenza d'ingresso	≥ 10 MΩ
Temperatura operativa	Da -25°C a +55°C
Bloccaggio sensori	Con connettore di blocco

Figura 7. Strumentazione utilizzata per l'indagine geofisica

Per l'analisi congiunta dei dati sismici è stato utilizzato il software winMASW Academy 2018 della ELIOSOFT.

4 – ACQUISIZIONI HVSR

Nel sito in esame è stata eseguita una misurazione HVSR da 20 minuti (per l'ubicazione vedi **Figura 1**), commisurata alla frequenza minima di interesse della stessa. Lo strumento è stato accoppiato direttamente al terreno superficiale avendo cura di renderlo il più solidale possibile allo stesso. Tempi di misura lunghi garantiscono inoltre una maggiore ridondanza del segnale e quindi una maggiore robustezza dei risultati in senso statistico, soprattutto a bassa frequenza. Di seguito si riportano i dati ottenuti dalla misura.

Inizio-fine registrazione:	15:34 - 15:54
Durata della registrazione:	20 minuti
Frequenza di campionamento:	250 Hz
Lunghezza finestre di analisi:	20 s
Tipo di lisciamento	Triangular window
Lisciamento	15%
Tracciato analizzato	90%
Cielo	Sereno
Vento	Brezza leggera
Precipitazioni	Assenti

Figura 8. Terna triassiale in posto per la misurazione.

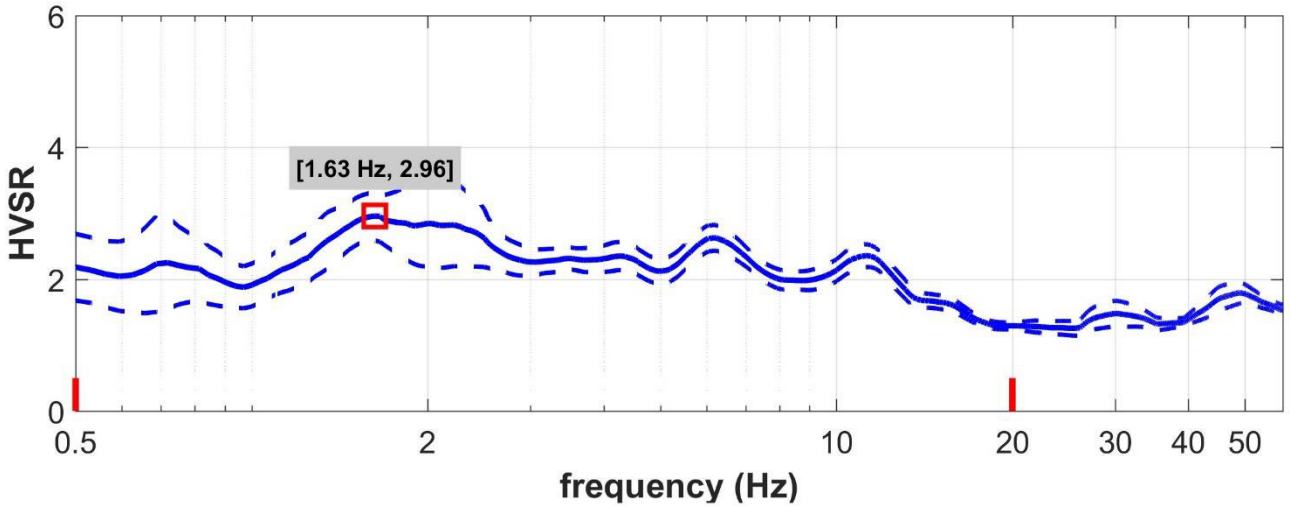


Figura 9. Rapporto spettrale orizzontale su verticale (H/V).

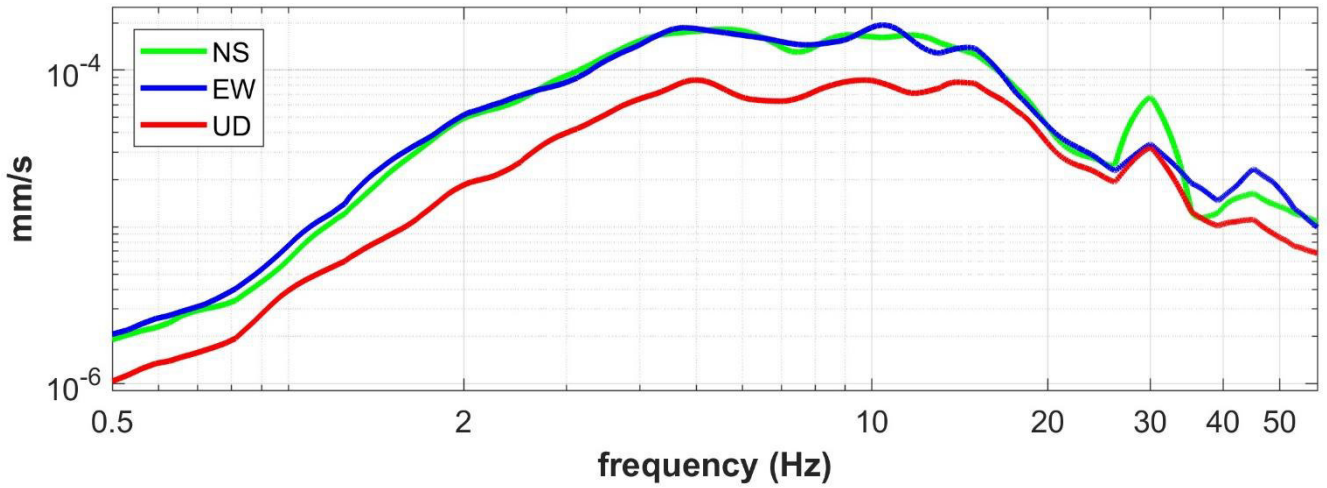


Figura 10. Spettri delle singole componenti

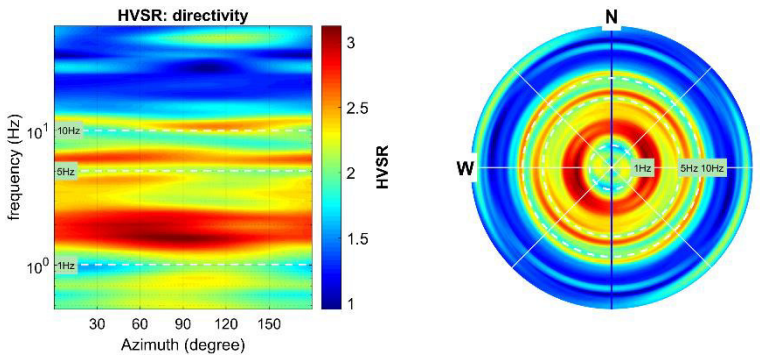


Figura 11. Direzionalità del rapporto HVSR.

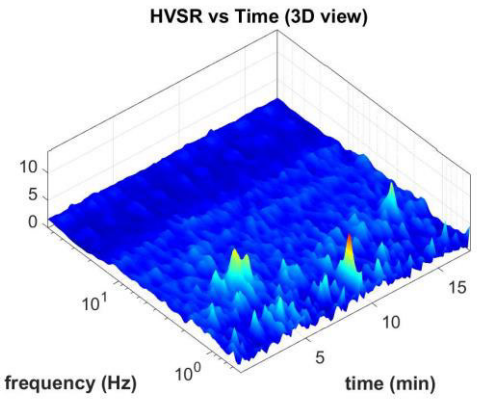


Figura 12. Persistenza del rapporto H/V nel tempo (visualizzazione 3D).

CRITERI SESAME HVSR per il picco H/V a 1.6Hz

Picco H/V a 1.6 ± 0.5 Hz (nell'intervallo 1 - 10 Hz) con valore dell'ampiezza del rapporto H/V pari a 3 ± 0.2

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.626 > 0.5	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3414 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	---	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	Si (considerando la deviazione standard), alla frequenza di 0.4Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	Si (considerando la deviazione standard)	OK	
$A_0 > 2$	3.0 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	---	NO	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.566 > 0.163	NO	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.686 < 1.78	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{logH/V}(f)$	deviazione standard della funzione log $A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [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
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Nel 2005 il progetto SESAME stabilì una serie di criteri per la valutazione della significatività statistica dei picchi H/V. I primi 3 criteri della tabella SESAME (2005) dicono se la registrazione è stata condotta per un tempo sufficientemente lungo rispetto alla frequenza del picco considerata. E' opportuno che questi 3 criteri siano tutti soddisfatti. I secondi 6 criteri della tabella SESAME (2005) dicono se il picco è significativo da un punto di vista statistico e se presenta una forma ben definita. Questa parte del test SESAME va interpretata con attenzione, perché solo un contatto netto tra litotipi diversi dal punto di vista meccanico genera picchi netti. Al contrario le transizioni graduali (per es., roccia fratturata su roccia sana, passaggi da limo-argilloso a sabbia-limosa e simili) generano più spesso amplificazione in una banda larga di frequenze. In questo caso eventuali non superamenti dei criteri SESAME non significano che non ci siano risonanze importanti, ma solo che non ci sono picchi singoli ben definiti.

5 – ACQUISIZIONI MASW

Nel sito in esame sono stati acquisiti i sismogrammi relativi a due stendimenti di dodici geofoni orizzontali e verticali, con frequenza propria di 4.5Hz, per l'acquisizione rispettivamente delle onde di Love e della componente verticale delle onde di Rayleigh. Per entrambi gli array i geofoni sono stati posizionati ad una distanza costante di 4m, per una lunghezza complessiva dello stendimento di 44m, e sono stati eseguiti per ogni stendimento 10 *stack* (numero di colpi) ad una distanza dal primo geofono di 5m per soddisfare l'assunzione di fronte d'onda piano necessaria per la definizione di uno spettro di fase corretto. Ogni acquisizione ha avuto una durata di 2 secondi ed è stata utilizzata una frequenza di campionamento di 2000Hz. L'energizzazione è avvenuta mediante l'utilizzo di una massa battente da 6.8kg. Di seguito viene mostrata una tabella di sintesi.

N°	Nome	Onda Acquisita	Distanza intergeofonica	Offset Battuta (m)	Lunghezza acquisizione (s)	Stacking n° colpi
1	zvf_5mo_4_dx	Rayleigh	4	5	2	10
2	thf_5mo_4_dx	Love	4	5	2	10

Figura 13. Nell'immagine di sx energizzazione verticale per acquisizione Onde di Rayleigh; nell'immagine di dx stendimento M.A.S.W.

Nella figura seguente si riportano i sismogrammi acquisiti con il risultante Spettro di Velocità relativi alle Onde di Rayleigh e alle Onde di Love del sito in esame; tali dati, in quanto non ancora elaborati, rappresentano il dato oggettivo acquisito in campagna.

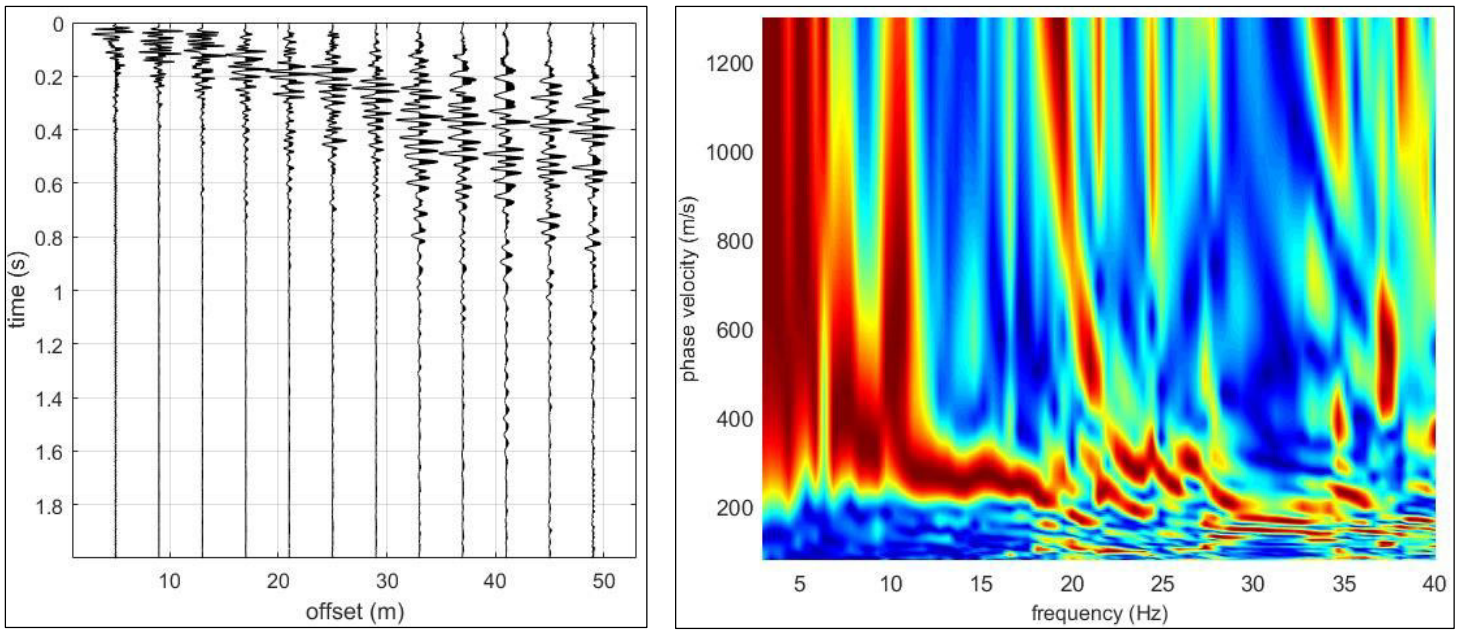


Figura 14. Dataset normalizzato e spettro - Onde di Rayleigh.

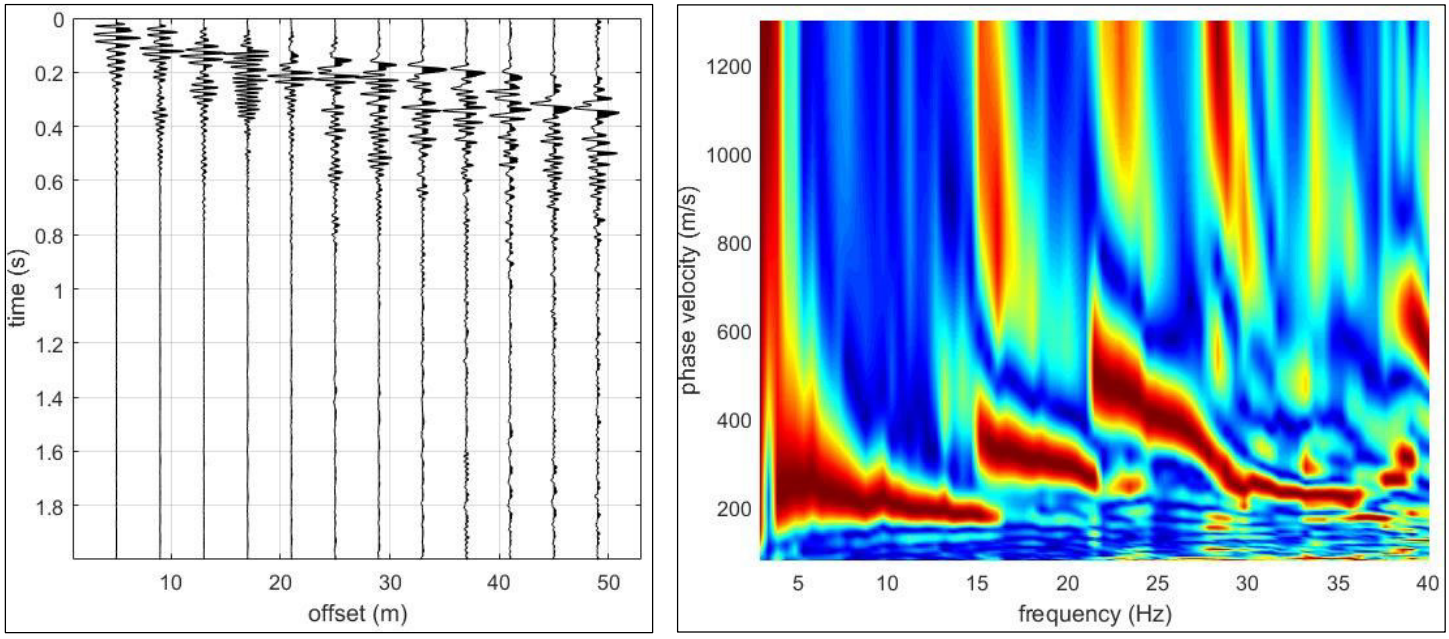


Figura 15. Dataset normalizzato e spettro - Onde di Love.

6 – ANALISI CONGIUNTA ONDE DI LOVE E HVSR

Si riportano di seguito i risultati dell'elaborazione effettuata consistente negli Spettri di Velocità di fase in onde di Love (Figura. 16), ottenuti dai dataset acquisiti in campagna, con sovrapposte le curve modali (nell'immagine di sinistra) e lo spettro sintetico (nell'immagine di destra) relativi al modello di Vs estrapolato dal sito in esame.

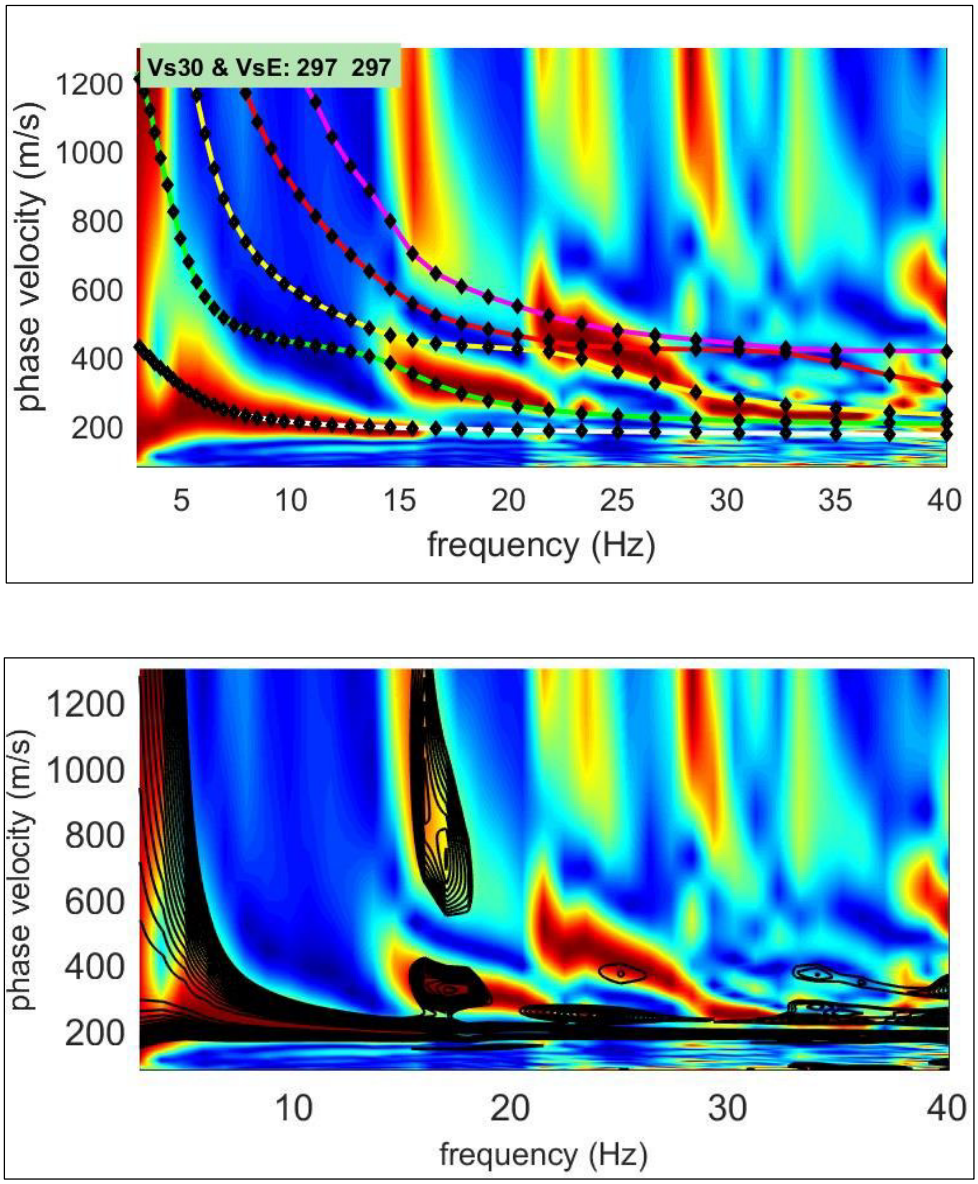


Figura 16. Spettro ottenuto dai dati di campagna (colori di sottofondo) con sovrapposte le curve modali nell'immagine in alto e lo spettro sintetico (linee di contour nere) nell'immagine in basso relativi al modello di Vs estrapolato – Onde di Love.

È stato scelto di non elaborare congiuntamente la M.A.S.W. in Onde di Rayleigh in quanto lo spettro di velocità di fase ottenuto dal dataset acquisito in campagna non permetteva di distinguere univocamente il modo fondamentale dai modi superiori, diversamente dalla M.A.S.W. in Onde di Love.

La Figura 17 mostra il fitting fra la curva HVSR osservata in campagna (sperimentale, in verde) e la curva HVSR sintetica (in viola) risultato del medesimo modello di Vs.

Le Figure 18 e 19 mostrano il modello sismostratigrafico, ottenuto dalla modellazione congiunta di 2 oggetti di analisi per ridurne l'incertezza, ritenuto plausibile per il sito oggetto di studio anche sulla base delle conoscenze geologiche e stratigrafiche dell'area.

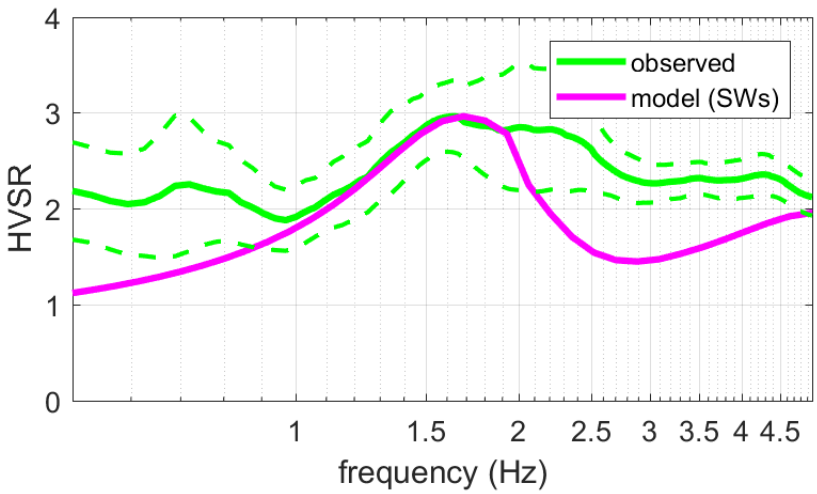


Figura 17. Fitting curva HVSR.

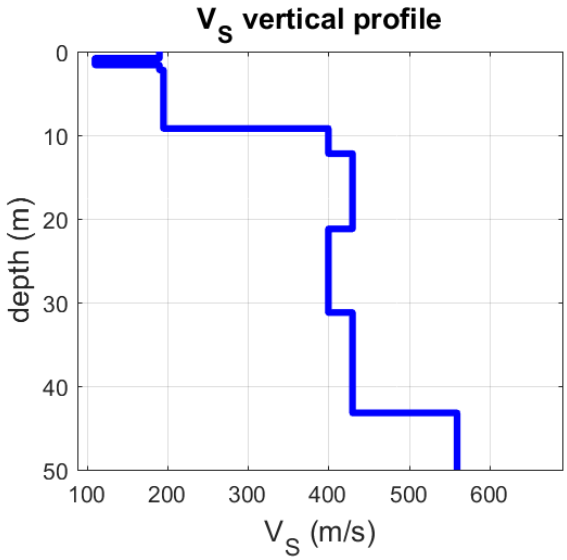


Figura 18. Profilo verticale di Vs ipotizzato.

layer	Spessore [m]	Vs [m/s]	Profondità alla base dello strato [m]
1	0.8	190	0.8
2	0.8	110	1.6
3	0.6	190	2.2
4	7	195	9.2
5	3	400	12.2
6	9	430	21.2
7	10	400	31.2
8	12	430	43.2
9	20	560	63.2
10	35	800	98.2
11	35	1100	133
12	0	1250	0

Figura 19. Modello sismostratigrafico ritenuto plausibile per il sito oggetto di studio.

7 - CONCLUSIONI

Con le presenti indagini è stato possibile determinare un modello di Vs plausibile del sito di indagine (Figura 19), ottenuto dall'inversione congiunta di 3 oggetti di analisi (MASW in onde di Love + HVSR), che ha permesso di stimare una **Vs, eq riferita al p.c. pari a 297 m/s** in accordo con le NTC 2018.

Per quanto riguarda la misurazione HVSR, **la curva presenta un evidente picco di risonanza stratigrafica alla frequenza di circa 1.6 ± 0.5 Hz e di ampiezza 3 nel rapporto HVSR,** associato al contrasto di impedenza di taglio a circa 43m di profondità. **Sono presenti in ultimo due picchi di risonanza stratigrafici di minore ampiezza alle frequenze di circa 6 ± 0.5 Hz e 11 ± 0.5 Hz.** Questi ultimi due picchi stratigrafici risultano visibili dallo spettro della componente verticale che a tali frequenze presenta un minimo. Tali valori delle frequenze di sito dovranno essere tenuti attentamente in considerazione in quanto ricadenti all'interno delle frequenze di comune interesse ingegneristico.

Alle frequenze di 30 e 45 Hz sono visibili nel rapporto H/V (Figura 9) due picchi artefattuali, di natura antropica, ben visibili anche dagli spettri delle singole componenti (Figura 10).

Ancona, 20/01/2021 **Dr. Geol. Marco Brunelli**

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE DOTT. GEOL. MARCO BRUNELLI per conto di MARCHE MULTISERVIZI SPA
CANTIERE EX AMGA PESARO (PU) VIA MOROSINI

RAPPORTO DI PROVA	21004001
data di emissione	18/01/21

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE
denominazione CPT2 C1 1,1/1,4m
data di ricevimento 11/01/21
data d'apertura 13/01/21
tipo di terreno CL (ASTM D2487 - ASTM D2488)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

DESCRIZIONE VISIVA

ASTM D2488

CAMPIONE			PP [MPa]	SC [MPa]	PROVE e/o DETERMINAZIONI	DESCRIZIONE
				0,05		GRANULOMETRIA:
			0,11		contenuto in acqua	argilla e limo
					massa volumica	COLORE:
			0,12		limiti di consistenza	marrone con venature grigio-azzurre
	10 cm				taglio diretto	UMIDITA':
			0,10	0,05		saturo
						PLASTICITA':
	20 cm					media
						RESISTENZA A SECCO:
						alta
						DILATANZA:
	30 cm					nessuna
						TENACITA':
						media
						CONSISTENZA (PP):
	40 cm					consistente
						STRUTTURA:
						omogenea
						REAZIONE HCl:
	50 cm					forte
						ODORE:
						nessuno
						ALTRO:
	60 cm					tracce di materia organica
	70 cm					

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

il laboratorio non si assume responsabilità sulla provenienza e sulla denominazione dei campioni consegnati - è vietata la riproduzione anche parziale del presente documento

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979
Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)
Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01
Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001
associato ALIG
www.laborazi.it

COMMITTENTE DOTT. GEOL. MARCO BRUNELLI per conto di MARCHE MULTISERVIZI SPA
CANTIERE EX AMGA PESARO (PU) VIA MOROSINI

RAPPORTO DI PROVA	21004002
data di emissione	18/01/21

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE
denominazione CPT2 C1 1,1/1,4m
data di ricevimento 11/01/21
data d'apertura 13/01/21
tipo di terreno CL (ASTM D2487 - ASTM D2488)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE

UNI CEN ISO/TS 17892-1 - UNI CEN ISO/TS 17892-2 - UNI CEN ISO/TS 17892-3 - ASTM D7263

w	%	29,9
ρ	Mg/m^3	1,95
ρ_d	Mg/m^3	1,50
ρ_s	Mg/m^3	
e	-	
n	%	
S_R	-	

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

il laboratorio non si assume responsabilità sulla provenienza e sulla denominazione dei campioni consegnati - è vietata la riproduzione anche parziale del presente documento

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979
Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)
Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01
Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001
associato ALIG
www.laborazi.it

COMMITTENTE DOTT. GEOL. MARCO BRUNELLI per conto di MARCHE MULTISERVIZI SPA
CANTIERE EX AMGA PESARO (PU) VIA MOROSINI

RAPPORTO DI PROVA	21004003
data di emissione	18/01/21

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE
denominazione CPT2 C1 1,1/1,4m
data di ricevimento 11/01/21
data d'apertura 13/01/21
tipo di terreno CL (ASTM D2487 - ASTM D2488)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA

ASTM D4318 - ASTM D4943

w_L	%	47,8
w_P	%	22,1
I_P	%	25,7
w_S	%	
R_S	-	

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

il laboratorio non si assume responsabilità sulla provenienza e sulla denominazione dei campioni consegnati - è vietata la riproduzione anche parziale del presente documento

COMMITTENTE DOTT. GEOL. MARCO BRUNELLI per conto di MARCHE MULTISERVIZI SPA
CANTIERE EX AMGA PESARO (PU) VIA MOROSINI

RAPPORTO DI PROVA	21004004
data di emissione	18/01/21

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE
denominazione CPT2 C1 1,1/1,4m
data di ricevimento 11/01/21
data d'apertura 13/01/21
tipo di terreno CL (ASTM D2487 - ASTM D2488)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D3080

test	n	1	2	3
A	mm^2	2000	2000	2000
H_0	mm	20	20	20
w_0	%	30,0	30,0	29,8
ρ_0	Mg/m^3	1,95	1,95	1,94
ρ_{d0}	Mg/m^3	1,50	1,50	1,49
ρ_s	Mg/m^3			
e_0	-			
S_{R0}	-			
σ_v	kPa	50	100	200
ΔH_c	mm	0,18	0,39	0,84
d_r	mm/min	0,004	0,004	0,004
τ_P	kPa	27,5	52,4	103,6
τ_{ULT}	kPa	25,8	51,2	102,6

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

il laboratorio non si assume responsabilità sulla provenienza e sulla denominazione dei campioni consegnati - è vietata la riproduzione anche parziale del presente documento

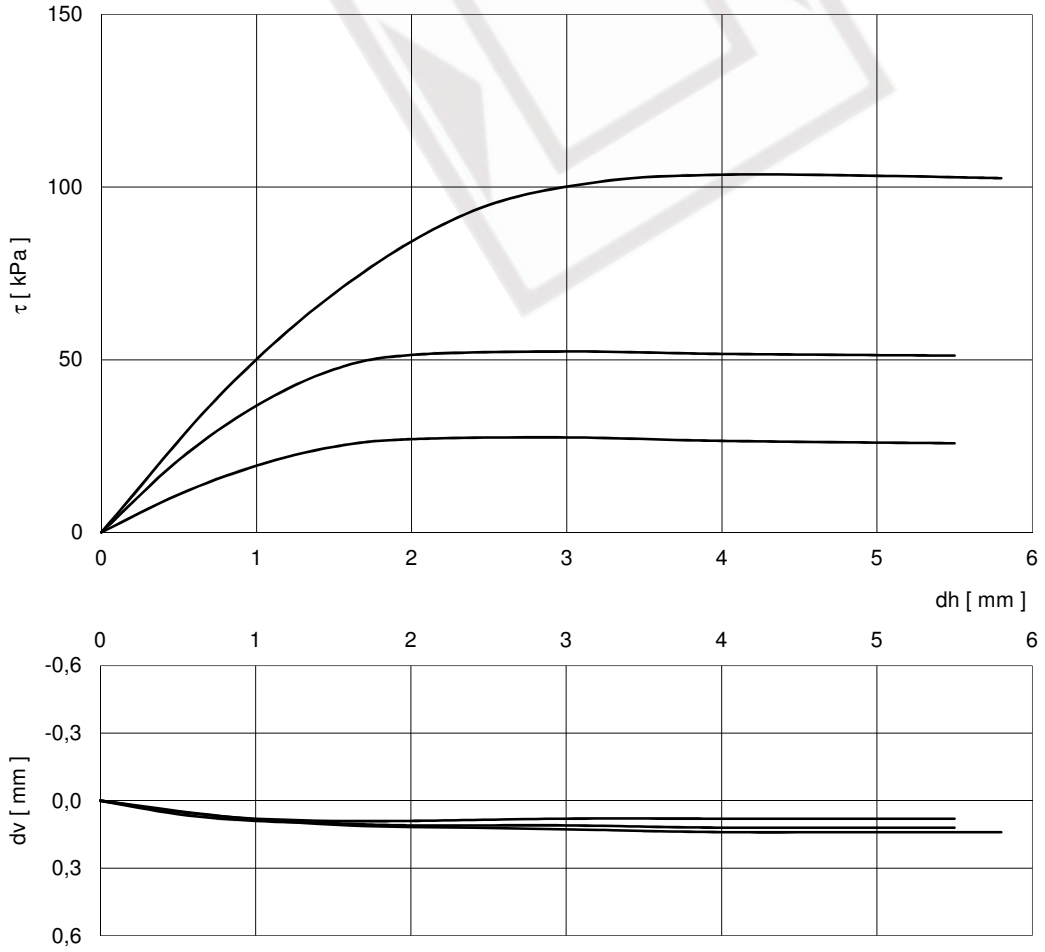
COMMITTENTE DOTT. GEOL. MARCO BRUNELLI per conto di MARCHE MULTISERVIZI SPA
CANTIERE EX AMGA PESARO (PU) VIA MOROSINI

RAPPORTO DI PROVA	21004004
data di emissione	18/01/21

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE
denominazione CPT2 C1 1,1/1,4m
data di ricevimento 11/01/21
data d'apertura 13/01/21
tipo di terreno CL (ASTM D2487 - ASTM D2488)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D3080



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

il laboratorio non si assume responsabilità sulla provenienza e sulla denominazione dei campioni consegnati - è vietata la riproduzione anche parziale del presente documento

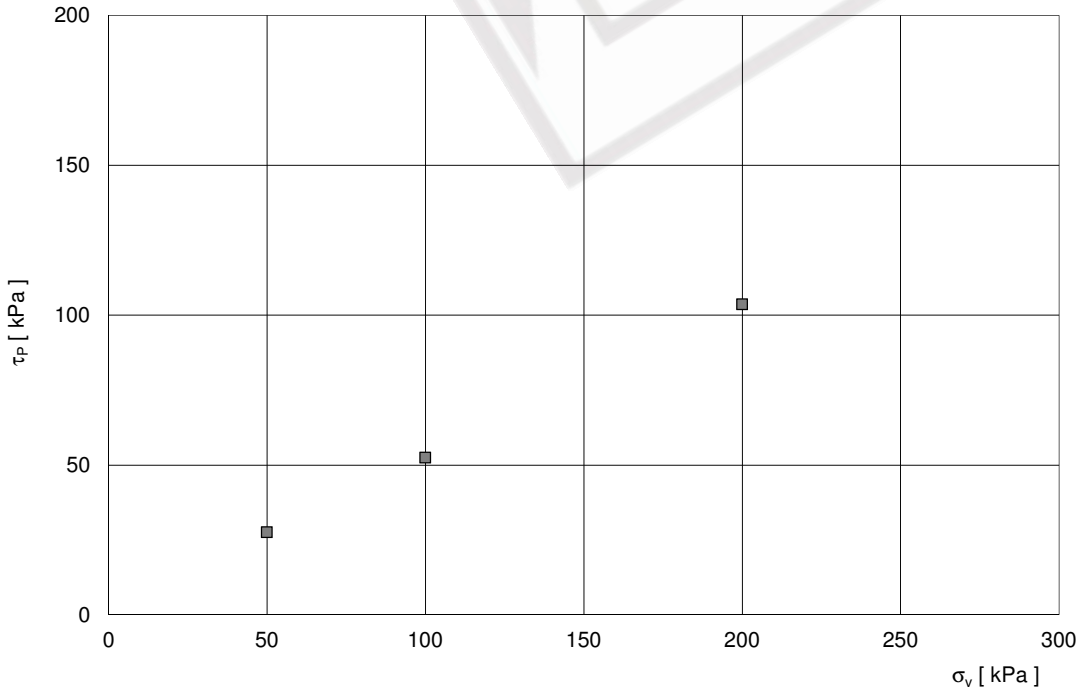
COMMITTENTE DOTT. GEOL. MARCO BRUNELLI per conto di MARCHE MULTISERVIZI SPA
CANTIERE EX AMGA PESARO (PU) VIA MOROSINI

RAPPORTO DI PROVA	21004004
data di emissione	18/01/21

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE
denominazione CPT2 C1 1,1/1,4m
data di ricevimento 11/01/21
data d'apertura 13/01/21
tipo di terreno CL (ASTM D2487 - ASTM D2488)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

ASTM D3080



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

il laboratorio non si assume responsabilità sulla provenienza e sulla denominazione dei campioni consegnati - è vietata la riproduzione anche parziale del presente documento