



INDICE

1.	Generalità	4
1.1.	introduzione.....	4
2.	Indagini Georadar.....	5
2.1	cenni teorici sulle indagini georadar	5
2.2	metodologia e strumentazione utilizzata per l'indagine georadar	9
3.	Indagine sismica MASW.....	12
3.1	cenni sulla metodologia MASW	12
3.2	acquisizione dati	13
3.3	analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti	14
4.	Analisi HVSR.....	17
4.1	cenni sulla metodologia HVSR.....	17
4.2	acquisizione dati	17
4.3	analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti	18
4.4	descrizione dei dati	21
5.	Prove penetrometriche	22
5.1	prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT_DPSH).....	22
5.2	descrizione dei dati	23
6.	Profili sismostratigrafici.....	24
7.	Sondaggio geognostico.....	26
7.1	caratteristiche attrezzature utilizzata.....	26
7.2	metodologia perforazione.....	27
7.3	completamento fori.....	27



7.4 standard penetration test (SPT).....	28
7.5 Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc.....	29
8. Campionamento geotecnico.....	31
8.1 campioni rimaneggiati.....	31

ALLEGATI:

ALLEGATO N.1 – Indagini geofisiche

ALLEGATO N.2 – Diagrammi prove penetrometriche

ALLEGATO N.3 – Stratigrafie sondaggi geognostici, elaborati prove in foro e foto cassette catalogatrici

EUROGEOSRL

Via Sentirone n.3/5 – 20037 Paderno Dugnano (MI) –

P.IVA 02676190966

Tel. 02.91084691 - Fax 02.99108919

info@eurogeosrl.it - eurogeosrl@pec.eurogeosrl.it

<http://www.eurogeosrl.it>

1. Generalità

1.1. introduzione

La scrivente Eurogeo S.r.l. ha ricevuto incarico dalla società ASST (Azienda Socio Sanitaria Territoriale Rhodense) di eseguire, in via Settembrini, 1 nel comune di Rho (MI) – frazione Passirana, una campagna di indagini finalizzata alla definizione del modello geologico-geotecnico dell'area in relazione all'entità dell'intervento, della complessità del sistema geologico e dell'interazione terreno-struttura in attuazione della missione 6 – Salute del PNNR.

Per la caratterizzazione geologico-geotecnica del sottosuolo, nelle fasi delle lavorazioni, sono state svolte le seguenti indagini:

- n.1 indagine georadar
- n.1 indagine sismica con metodologia MASW
- n.1 indagine sismica passiva con metodo HVSr
- n.4 prove penetrometriche dinamiche standard SCPT-DPSH
- n.1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo



- Ubicazione delle indagini geognostiche realizzate, su immagine satellitare (fonte: Google Earth)-

Nei capitoli successivi sono sinteticamente descritte le lavorazioni eseguite nell'ambito della campagna di indagini effettuata.



2. Indagini Georadar

In data 19.12.2022 sono state svolte le indagini mediante georadar al fine di evitare interferenze con la rete di sottoservizi esistente nei punti di indagine geognostica. In totale sono stati indagati n.5 punti, contraddistinti da una superficie areale di circa 3,00x3,00m, su cui si sono in seguito svolte le indagini geognostiche contraddistinte da n.1 sondaggio a carotaggio continuo e n.4 prove penetrometriche dinamiche SCPT-DPSH.

Il posizionamento dei punti di sondaggio e delle prove penetrometriche è stato effettuato nelle posizioni indicate dalla committenza.

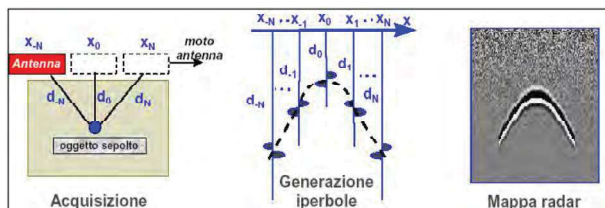
L'acquisizione è stata effettuata secondo griglie a spaziatura regolare con interasse tra le linee di 0,5x0,5m e dimensioni delle aree di indagini variabili in funzione dello spazio disponibile tra 3,00x1,00m; 3,00x2,00m e 3,00x3,00m.

L'area di indagine è stata indicata in sito mediante vernice spray di colore rosso al fine di facilitarne l'individuazione in caso di necessità.

2.1 cenni teorici sulle indagini georadar

L'indagine mediante GPR (Ground Penetrating Radar) è una metodologia non invasiva che consente di ottenere una "immagine" del sottosuolo e che si basa sulla risposta di un segnale elettromagnetico di carattere impulsivo ad alta frequenza che viene inviato da un'antenna trasmittente. La presenza di discontinuità di proprietà elettromagnetiche del materiale provoca, infatti, fenomeni di rifrazione, riflessione e diffrazione dell'energia elettromagnetica incidente sulla discontinuità stessa. In generale, si analizza la risposta dell'onda elettromagnetica che viene riflessa in corrispondenza delle discontinuità del mezzo e che ritorna in superficie, dove viene captata da un'antenna ricevente.

La rappresentazione dei dati acquisiti avviene normalmente su un diagramma tempi-ampiezze del segnale ricevuto dal georadar. Spostando l'antenna lungo una direzione prestabilita e accostando i diversi diagrammi tempi-ampiezze per i successivi segnali, si ottengono delle sezioni georadar (radargrammi), in cui le ampiezze di riflessione sono rappresentate in funzione del tempo di andata e ritorno e della posizione dell'antenna lungo il profilo di acquisizione.



- Principio delle indagini geofisiche -

Il metodo può essere utilizzato per numerose applicazioni, tra cui:

- individuazione di sottoservizi e strutture antropiche sepolte (cisterne interrato, fondazioni,
- ecc.);
- valutazioni geologiche;
- indagini archeologiche;
- valutazione dell'integrità strutturale di elementi architettonici.

La profondità di indagine non può essere stabilita a priori ma dipende in ogni caso dall'assorbimento dell'energia elettromagnetica da parte dei materiali in cui si propaga e quindi dalla natura dei mezzi attraversati, dallo stato fisico degli elementi che li compongono e da fattori ambientali e/o locali (temperatura, umidità, presenza di cavità, ecc.). Inoltre, l'obiettivo dell'indagine e la profondità di penetrazione sono vincolati alla lunghezza d'onda degli impulsi: se, ad esempio, una struttura sepolta ha piccole dimensioni, essa viene rilevata solo con segnali di breve durata la cui elevata attenuazione a livello energetico ne limita però la penetrazione. In conclusione, la frequenza delle onde elettromagnetiche è inversamente proporzionale alla profondità di indagine, con grado di risoluzione differente: antenne ad alta frequenza hanno una bassa penetrazione del segnale radar, ma con elevato grado di risoluzione. Viceversa, antenne a più bassa frequenza mostrano un'elevata penetrazione del segnale radar, ma con minor grado di risoluzione (si veda Tabella 1).

Frequenza dell'antenna [MHz]	Penetrazione teorica in un suolo medio ($V = 0.09$ m/ns) [m]	Risoluzione verticale [m]	Campi di impiego
1500	0.3	0.01	Rilevi su strutture in cls, murature, manti stradali
900	1	0.05	Rilevi su strutture in cls, murature, manti stradali
400-500	2-3	0.1	Ricerca archeologica e di sottoservizi, indagini su strade e rivestimenti di gallerie
200-300	5	0.2	Ricerca archeologica e di cavità su terreni e manufatti
100	8	0.5	Ricerca archeologica, di grossi bersagli profondi e di cavità, indagini stratigrafiche

Tabella 1 - Correlazione tra la frequenza di antenna utilizzata e la profondità massima teorica raggiungibile

La velocità di propagazione del segnale elettromagnetico è legata alla costante dielettrica relativa e alla permeabilità magnetica relativa del materiale. La presenza di acqua o umidità nei materiali in esame comporta un aumento della costante dielettrica relativa e quindi una diminuzione della velocità degli impulsi elettromagnetici. Esiste inoltre un fattore di perdita di segnale legato al grado di dispersività del mezzo, che può essere poco dispersivo o buon conduttore. Quando la frequenza dell'oscillazione del campo elettrico è sufficientemente elevata e la conducibilità del mezzo indagato è bassa, come nel caso di rocce e terreni, la corrente di spostamento prevale rispetto a quella di conduzione, la propagazione del segnale è di tipo ondulatorio e la dispersione può considerarsi nulla.

I valori della costante dielettrica e della velocità di propagazione di alcuni materiali sono riportati in Tabella 2.

Materiale	Velocità di propagazione v [m/ns]	Costante dielettrica ϵ_r
Aria	0.3	1
Acqua dolce	0.033	81
Acqua di mare	0.033	81
Argilla	0.047 - 0.134	5-40
Argillite (bagnata)	0.113	7
Arenaria (bagnata)	0.112	6
Asfalto	0.134 - 0.173	3-5
Calcare	0.1-0.113	7-9
Calcestruzzo	0.055 - 0.112	6-30
Dolomia	0.106 - 0.155	6.8-8
Ghiaccio	0.160	4
Granito	0.160 - 0.120	5-8
PVC	0.173	3
Quarzo	0.145	4.3
Sabbia asciutta	0.12-0.16	3-6
Sabbia satura	0.055-0.06	25-30
Silt	0.055 - 0.134	5-30
Suolo argilloso	0.173	3
Suolo "medio"	0.075	16

Tabella 2 - Velocità di propagazione e costante dielettrica di alcuni materiali (Reynolds, 1997)

I limiti di applicabilità del metodo sono legati a:

- condizioni di sito specifiche (ad esempio, presenza di pavimentazioni che non consentono la trasmissione del segnale elettromagnetico o, all'opposto, che comportano una forte riflessione superficiale - come in caso di presenza di reti metalliche - e quindi un'adeguata diminuzione della penetrazione del segnale);
- costanti dielettriche dell'obiettivo dell'indagine simili a quelle del materiale di contorno;
- presenza di materiali fini (argille e limi), che comportano un forte assorbimento dell'onda elettromagnetica;
- presenza di acqua e/o umidità nel terreno;
- presenza di fonti di emissione elettromagnetica nell'area circostante l'indagine (antennetelevisive, telefoniche o cavi elettrici di media e alta tensione).

L'elaborazione standard dei dati viene effettuata mediante software dedicati, tramite l'applicazione di filtri validi al migliorare la qualità del segnale acquisito e a mettere in evidenza le eventuali anomalie presenti.

Una sequenza di filtraggio tipica prevede i seguenti passaggi:



- sottrazione della media del segnale al fine di eliminare le basse frequenze presenti nell'acquisizione (*Subtract-mean*) e ottenere il recupero delle ampiezze;
- rimozione dell'ampiezza di riflessione media per eliminare quelle parti del segnale che si riferiscono all'arrivo delle onde dirette e alla riflessione della superficie su cui vengono trascinate le antenne (*Background Removal*);
- stima della velocità di propagazione del mezzo sulla base di iperboli di diffrazione dovute alla presenza di oggetti nel sottosuolo;
- rimozione dei primi ns delle tracce, relativi all'aria interposta tra l'antenna ed il suolo (*Move Start-time*);
- passaggio dalla scala dei tempi alla scala delle profondità.

2.2 metodologia e strumentazione utilizzata per l'indagine georadar

Per lo scopo dell'indagine è stato utilizzato il sistema di acquisizione "Opera Duo" con antenna da 250MHZ. I risultati dell'indagine georadar finalizzata al posizionamento dei punti di sondaggio, prove penetrometriche e prescavi sono stati elaborati mediante il software di acquisizione "Opera Duo".

Tutti i punti sono stati ulteriormente verificati per la presenza di cavi elettrici in tensione al momento del sopralluogo mediante cercaservizi "Radiodetection RD4000".

Di seguito la scheda tecnica dell'attrezzatura utilizzata:

SCHEDA TECNICA

> OTTIMA MANOVRABILITÀ

L'ampia e comoda impugnatura di guida agevola il trascinarsi direzionale del carrello e le ruote larghe consentono un controllo ottimale ed un'equilibrata distribuzione del peso.

> ROBUSTEZZA

Progettato e realizzato per resistere alle condizioni di esercizio più severe, il GPR Opera Duo è idoneo all'impiego su ogni tipo di suolo.

> SEMPLICITÀ DI UTILIZZO

Il GPR Opera Duo adotta un'interfaccia intuitiva: basta premere il tasto di avvio per ottenere le migliori prestazioni operative in qualsiasi condizione del suolo. Non occorre regolare o tarare manualmente alcun'altra impostazione.

> IMMEDIATA DISPONIBILITÀ DEI RISULTATI

Il software dedicato IDS consente di tracciare la posizione del radar e marcare i target in automatico. Tutti i dati acquisiti possono essere esportati al sistema CAD in modo da poter produrre un report direttamente sul sito.



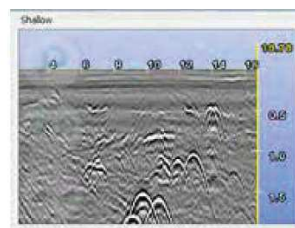
Fig.1 - Kit spray per marcature



Fig.2 - Carrello pieghevole per comodo trasporto



Esportazione della mappa on site
I in FORMATO IMMAGINE O CAD



Esempio di radargramma ottenuto
con antenna a doppia frequenza

Testata pivotante
per un miglior contatto
su terreni sconnessi
in modo da minimizzare
eventuale perdita di segnale

**Kit di marcatura spray
a controllo remoto**
con vernice per segnare
i punti di individuazione

Antenna a doppia frequenza
per localizzare
simultaneamente target
profondi e superficiali



Impugnatura di guida regolabile
per mantenere costantemente
una presa perfetta



**Kit per installazione
GPS su palo**

Nessun cavo esposto,
tutti i cavi sono protetti per la
massima tranquillità in cantiere



Impugnatura guida di grandi dimensioni
per migliore manovrabilità

> SPECIFICHE DEL SISTEMA

PESO TOTALE (esclusi PC e batteria)	24 kg (due ruote) 27 kg (quattro ruote)
LAPTOP RACCOMANDATO	Panasonic CF-H2
MAX VELOCITÀ DI ACQUISIZIONE	> 10 kph (6 mph)
CONSUMO	13.3 W
POSIZIONAMENTO	n° 2 encoder integrati interfaccia GPS stazione totale
VELOCITÀ DI SCANSIONE PER CANALE (@512 camp./scan.):	381 scansioni /sec.
INTERVALLO DI SCANSIONE:	42 scansioni/min
ALIMENTAZIONE	Batteria SLA 12Vcc 12 Ah

> SPECIFICHE ANTENNA

PROTEZIONE	IP65
IMPRONTA ANTENNA	40 x 50 cm
CANALI HARDWARE	2
FREQUENZE CENTRALI ANTENNE	250MHz e 700 MHz
ORIENTAMENTO ANTENNA	Perpendicolare, laterale
FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO	400 KHz

> SPECIFICHE SOFTWARE

SOFTWARE DI ACQUISIZIONE OPERA DUO

- Autocalibrazione per un avvio rapido
- Sistema metrico e Imperiale
- Molteplici opzioni filtro e macro filtri
- Visualizzazione e salvataggio dati di entrambe le antenne
- Possibilità di marcare target e tubazioni nel software e nel sunlo
- Disponibile in oltre 20 lingue
- Connessione per dispositivo di posizionamento NMEA
- Esportazione dati a sistema CAD
- Esportazione relazioni di lavoro
- Procedura avanzata di acquisizione reticolare

SEDE CASORIA (NA)

SEDE LAINATE (MI)

EUROGEOSRL

Via Sentirone n.3/5 – 20037 Paderno Dugnano (MI) –

P.IVA 02676190966

Tel. 02.91084691 - Fax 02.99108919

info@eurogeosrl.it - eurogeosrl@pec.eurogeosrl.it

http://www.eurogeosrl.it



3. Indagine sismica MASW

3.1 cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica *MASW* (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda (λ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta *velocità di fase*.

Le *MASW* attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'iterazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante le indagini in oggetto lungo entrambi gli stendimenti sismici sono state registrate, sia le onde di Love, che le componenti verticali delle onde di Rayleigh.

Il principio della tecnica MASW prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio V_s e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) infatti è correlabile alla V_s , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio. L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la *curva di dispersione*, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del *dataset* è ottenuta mediante il passaggio dal dominio *spazio-tempo* (sismogramma) al dominio *velocità di fase/frequenza* (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.



Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi *MASW*, risulta idonea alla definizione dei dati richiesti. Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh o di Love è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. La propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh o di Love si verifica senza problemi anche in caso di inversioni di velocità. Rispetto alla sismica a rifrazione, infatti, il metodo *MASW* non presenta problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi.
3. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito (categoria di suolo in base al Testo Unico).

3.2 acquisizione dati

L'ubicazione e la lunghezza dello stendimento sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro delle strutture progettuali. L'allineamento sismico ha previsto per l'acquisizione delle onde di Rayleigh una distanza tra i geofoni pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni e coniugati all'ultimo geofono con offset variabili (4-6-8-10-15 m) a diversa intensità di energizzazione. Per l'acquisizione delle onde di Love invece una distanza intergeofonica pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni con offset di 6 m dall'ultimo geofono.

L'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh è avvenuta mediante registrazione della propagazione del segnale sismico generato da una sorgente ad impatto verticale (martellata), tramite uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente verticale. L'acquisizione delle onde di Love è avvenuta mediante uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente orizzontale posti trasversalmente all'allungamento dello stendimento, generando un'onda sismica di taglio mediante martellata orizzontale su piastra posta verticalmente nel terreno. La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale e orizzontale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- un sistema di ricezione costituito alternativamente da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (*Geospace GS11D*) e da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Love) a movimento orizzontale (Senshe con livello a bolla), entrambi a frequenza di 4,5 Hz e puntali da 3", collegati mediante un cavo multielettrodo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di *trigger*, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

3.3 analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

La stima dell'andamento in profondità delle velocità V_s , mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase. Viene utilizzato lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Dopo aver scelto quindi il sismogramma più idoneo, quello solitamente con il miglior rapporto *segnale/rumore*, si esegue una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità* (**Fig. 5**). Particolare attenzione nell'interpretazione delle curve di dispersione è posta in considerazione del fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi*, che possono sovrapporsi all'interno dello spettro di velocità. Se tale sovrapposizione avviene, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione.

Al fine di individuare i *modi* corretti e correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire un'analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde Love. L'interpretazione dello spettro è consistita quindi nel confrontare le distribuzioni di energia tra i vari modi. Dato che

la distribuzione dell'energia nelle due componenti Love e Rayleigh è risultata a tratti molto differente, l'analisi congiunta è risultata indispensabile al riconoscimento del reale andamento dei modi, conducendo all'elaborazione di un modello maggiormente vincolato e preciso.

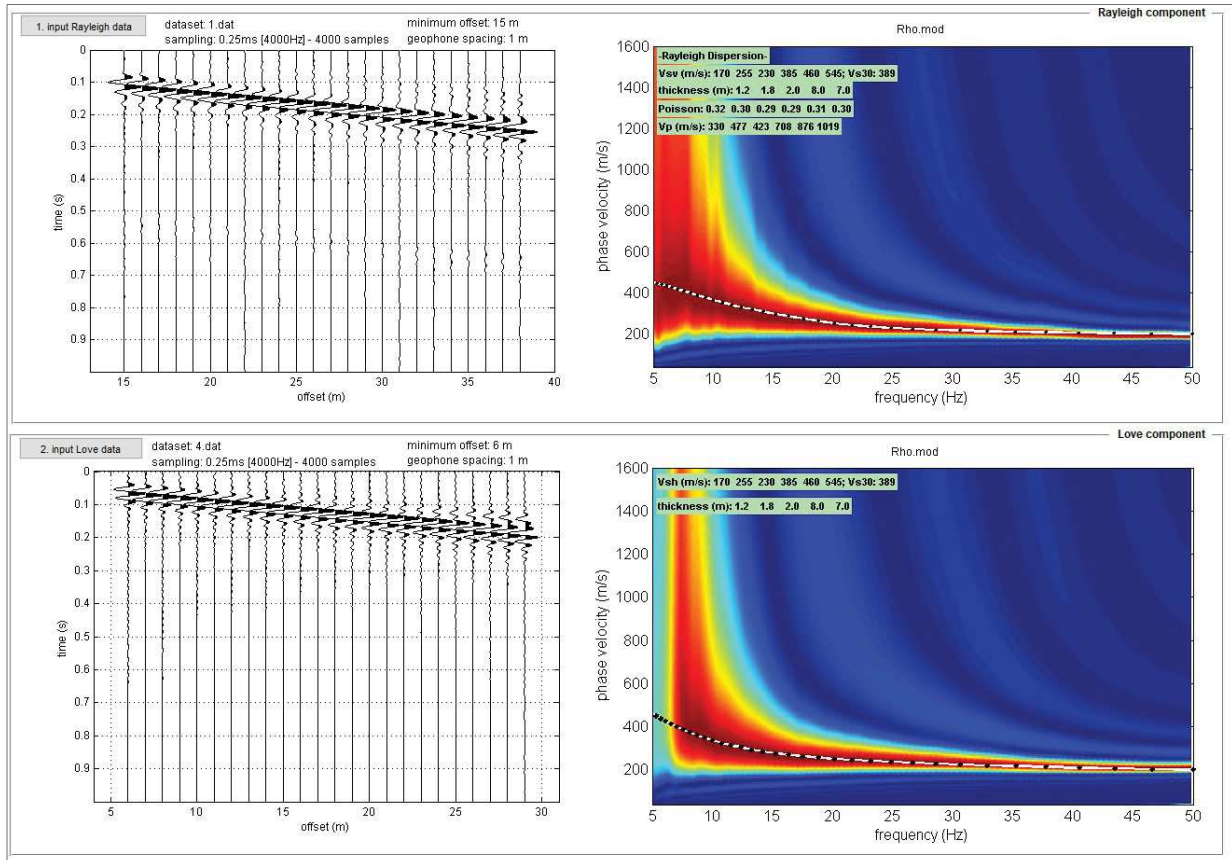
Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh+Love

Analizzati i sismogrammi e i rispettivi spettri di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs. Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e di Love è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna.

Gli spettri di velocità di fase sono stati interpretati identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (**Fig. 5**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri, al fine di ottenere un solo modello di velocità.

Si riassumono di seguito i dati relativi ai parametri di acquisizione utilizzati per i dataset prescelti per l'elaborazione:

ONDE DI RAYLEIGH	ONDE DI LOVE
Dati relativi allo shot 1 - File1.dat	Dati relativi allo shot 1 - File4.dat
offset minimo: 15 m	offset minimo: 6 m
distanza intergeofonica: 1,0 m	distanza intergeofonica: 1,0 m
Intervallo di campionamento: 0,25 ms	Intervallo di campionamento: 0,25 ms
Tempo di acquisizione: 1 s	Tempo di acquisizione: 1 s



Sismogrammi acquisiti (sx) e risultati dell'analisi congiunta Rayleigh+Love (dx):modellazione diretta mediante individuazione del modo fondamentale e di porzioni dei modi superiori, che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (in alto) e congiuntamente quello delle onde di Love (in basso).

4. Analisi HVSR

Allo scopo di migliorare la definizione del profilo verticale V_s nelle porzioni più profonde e di calcolare la possibile frequenza di risonanza di sito, si è scelto di eseguire, in corrispondenza di ognuno stendimento sismico MASW, una misurazione dei microtremori sismici ambientali per la definizione e l'analisi del rapporto spettrale H/V.

4.1 cenni sulla metodologia HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. La prova a stazione singola consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza f_r relativa alla configurazione stratigrafica del sito (con f_r circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

4.2 acquisizione dati

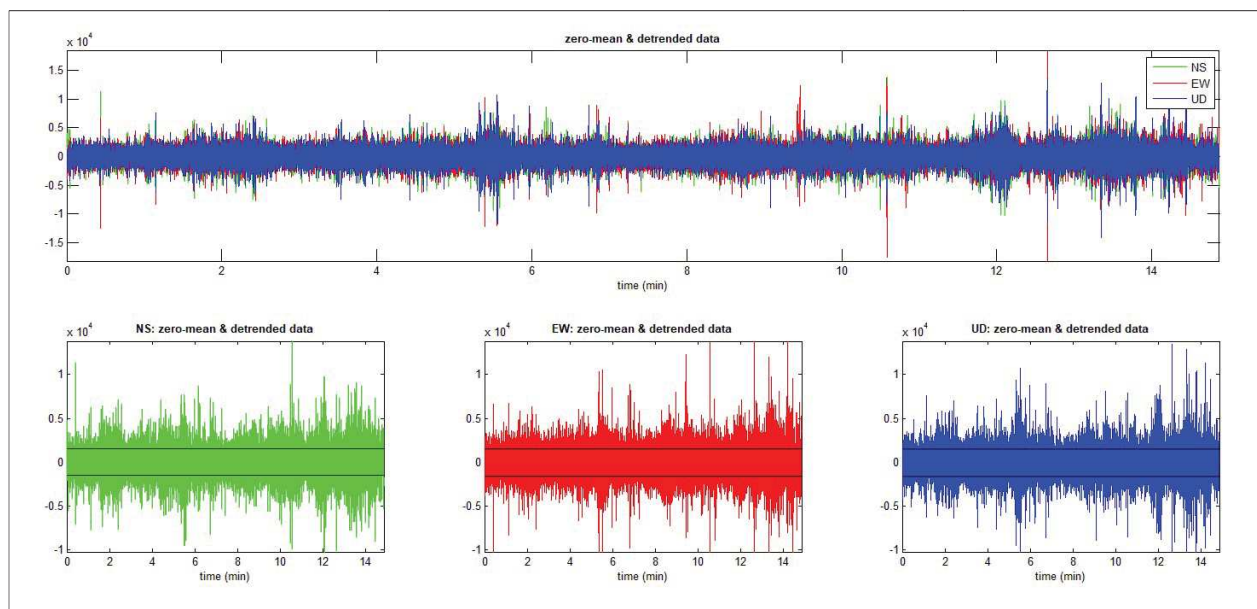
Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante stazione singola o tromometro, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 15 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

4.3 analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW* versione *Acd 7.1*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto.



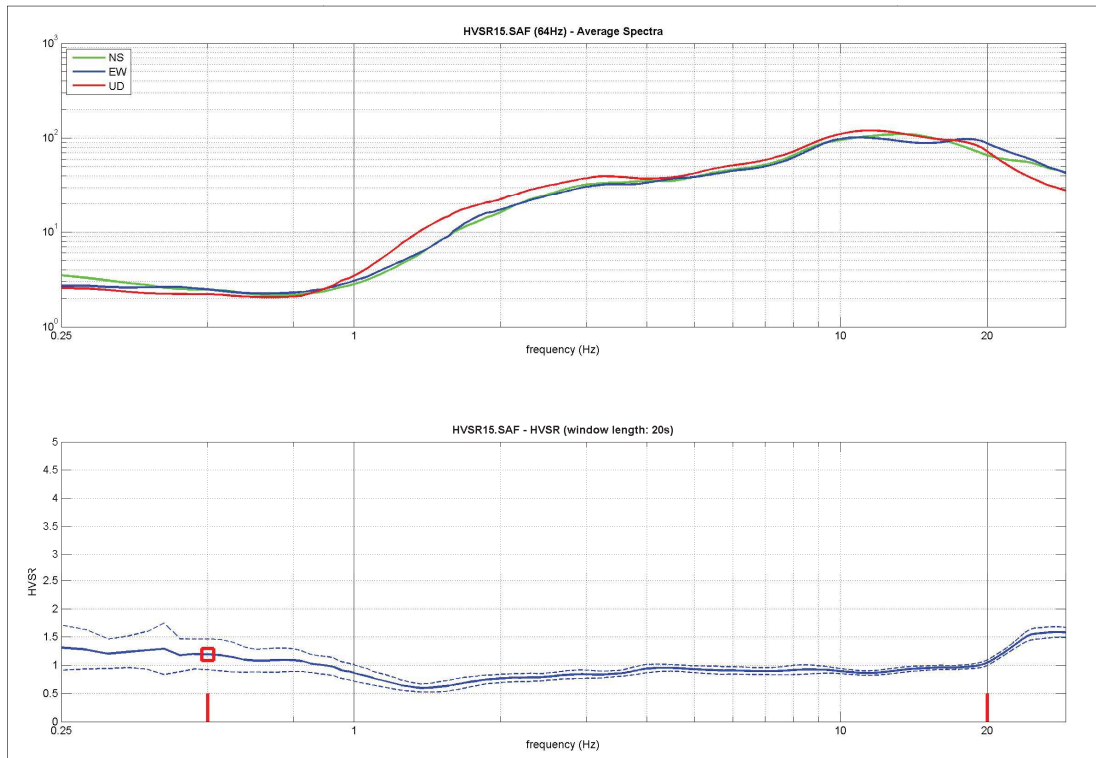
Visualizzazione dei dati dopo la rimozione degli eventi transienti.



La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i seguenti steps:

- 1) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi non conformi al rumore ambientale (transienti). Questa operazione produce una diminuzione della lunghezza del segnale analizzato (vedi figura precedente).
- 2) Definizione della lunghezza degli intervalli entro cui calcolare le curve HVSR (20 ms).
- 3) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto.
- 4) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier.
- 5) Somma delle due componenti orizzontali x e y.
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari.
- 7) Calcolo della curva HVSR media tra le n curve HVSR.

I risultati parziali ottenuti, durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSR.



Visualizzazione HVSR e spettro medio di ampiezza del sito indagato.

La curva HVSR calcolata, indica un picco principale a circa 0,5 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto *SESAME* (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

Criteria for a reliable H/V curve (Criteri per una curva affidabile)

- #1. $[f_0 > 10/Lw]: 0.500 > 0.5$ (OK)
 - #2. $[nc > 200]: 801 > 200$ (OK)
 - #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)
-

Criteria for a clear H/V peak (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]:$ (NO)
 - #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]:$ yes, at frequency 1.4Hz (OK)
-

#3. $[A_0 > 2]$: $1.2 < 2$ (NO)

#4. $[f_{peak}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)

#5. $[\sigma_{maf} < \epsilon(f_0)]$: $3.695 > 0.075$ (NO)

#6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.272 < 2$ (OK)

4.4 descrizione dei dati

Il picco a 0,5 Hz con ampiezza pari a 1,2 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; tuttavia, non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché essi fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 20,0 Hz (frequenze di interesse ingegneristico), è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 0,5 Hz. Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito.

Dall'andamento delle tre componenti del segnale acquisito, si specifica che il picco di risonanza del sito indagato, nonostante non siano verificati tutti i criteri *SESAME*, possa essere ritenuto comunque di origine stratigrafica ma correlabile ad un debole contrasto di impedenza sismica molto profondo e poco significativo per la ricostruzione sismostratigrafica affidabile del profilo di V_s . In generale, l'assenza di un picco di frequenza significativo è correlabile alla mancanza di forti contrasti di impedenza sismica a profondità di interesse sismostratigrafico all'interno della sequenza deposizionale indagata e/o all'aumento graduale, con la profondità, delle caratteristiche di addensamento dei terreni stessi.

Alla luce dei risultati ottenuti si è pertanto opportunamente scelto di non modellare la curva HVSR per trarre informazioni di tipo sismostratigrafico, quest'ultime desunte invece dall'analisi MASW di seguito riportata.

5. Prove penetrometriche

5.1 prove penetrometriche dinamiche standard (SCPT_DPSH)

La prova penetrometrica dinamica SCPT (*Standard Cone Penetration Test*) è una prova puntuale che consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio prolungabile ad una batteria di aste, e misurare il numero di colpi N_{SCPT} necessari per la penetrazione di 30 cm della punta, nel corso della prova. La diffusione di questo tipo di prova e la sua standardizzazione consentono, attraverso l'utilizzo di alcune correlazioni di bibliografia, di ottenere una soddisfacente caratterizzazione dei terreni indagati ed un'interpretazione dei fondamentali parametri geotecnici.

Nello specifico sono state eseguite **n°4 prove penetrometriche dinamiche standard**, mediante Penetrometro DINAMICO SUPERPESANTE DPSH (Dynamic Penetrometer Super Heavy) *Tipo Emilia* - mod. *Pagani TG 63/200*, con avanzamento delle aste e dei rivestimenti ogni 30 cm. Dal valore di N_{SCPT} (numero di colpi per 30 cm di infissione delle aste) può essere ricavato il corrispondente valore di $N_{S.P.T.}$ mediante la relazione: $N_{S.P.T.} = N_{DPSH}/C$.

Il coefficiente C, è un fattore dipendente dalla litologia dei terreni attraversati durante la prova e dall'attrezzatura utilizzata. Si suggeriscono le seguenti correlazioni proposte in letteratura:


C= 1,00 -> Ghiaie e ghiaie sabbiose

C= 0,80 -> Sabbie e ghiaie con fine plastico

C= 0,67 -> Sabbie con molto fine

C= 0,50 -> Limi argillosi

Per i terreni che costituiscono l'area oggetto d'indagine si consiglia di utilizzare C= 0,87.

Penetrometro dinamico-statico super pesante Tipo: Emilia – Modello: Pagani TG 63-200	
Massa battente (M)	73,0 kg
Altezza di caduta del maglio (H)	0,75 m
Avanzamento aste (δ)	30 cm
Apertura punta conica di infissione (α)	60°
Diametro punta conica di infissione (D)	50,5 mm
Base cono di infissione (A)	20 cm ²
Diametro batteria d'aste (d)	34 mm
Lavoro specifico compiuto per ciascuna battuta (L)	234 kJ/m ²

Caratteristiche della strumentazione utilizzata.

5.2 descrizione dei dati

Le prove penetrometriche sono state spinte ad una profondità massima di -20,1 m rispetto al p.c. (P3); esse risultano sufficientemente rappresentative dei terreni indagati e correlabili con il contesto geo-litologico che caratterizza l'area in cui ricade il sito d'indagine. Durante l'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche SCPT-DPSH non sono stati riscontrati l'insorgere di fenomeni di adesione-coesione tra le aste e pertanto si è ritenuto opportuno non utilizzare gli appositi rivestimenti.

Il rifiuto strumentale riscontrato in corrispondenza delle prove P1, P2 e P4 è imputabile all'elevato addensamento dei terreni indagati e/o alla presenza di grossi ciottoli entro l'unità deposizionale fluvioglaciale attraversata.

Si segnala che, durante l'avanzamento delle prove sono state riscontrate aste umide a partire da -12,6/-12,9 m dal p.c.; tuttavia non è stato possibile inserire all'interno del foro di prova tubi piezometrici in PVC del diametro di ½", per la misura di un eventuale livello di falda, poiché questi si sono richiusi durante le operazioni di estrazione delle aste a profondità superiori a quelle del livello statico della falda acquifera.

6. Profili sismostratigrafici

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati, si è tenuto conto delle evidenze del segnale acquisito, delle prove penetrometriche eseguite contestualmente alle prospezioni sismiche e delle stratigrafie di alcuni pozzi terebrati in aree limitrofe a quella di studio.

Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un **modello geofisico medio**, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW in onde di Rayleigh e di Love.

Si riportano anche, in maniera indicativa, le stime dei valori della densità e del modulo di Poisson eseguite contestualmente all'elaborazione e mediante correlazioni di letteratura. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla V_s e degli spessori degli strati, tali valori devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da V_p , ma solamente da V_s e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.

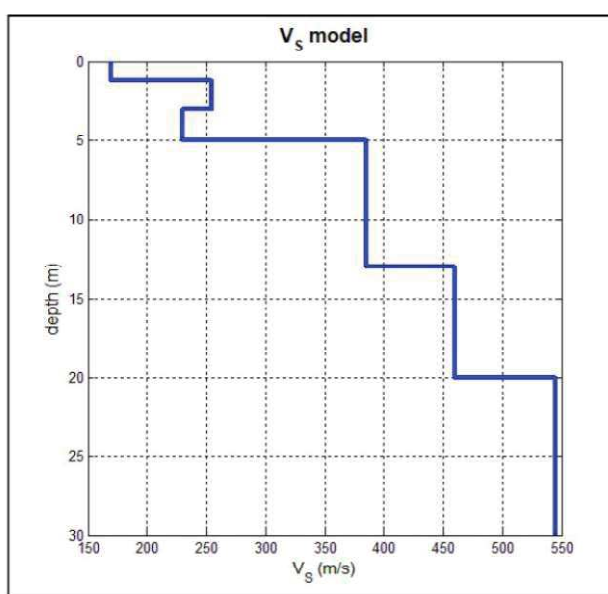
MODELLO GEOFISICO MEDIO - Via Settembrini - Rho (MI)						
Sismostrato	V_s (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	170	1,2	-1,2	1,79	0,32	52
2	255	1,8	-3,0	1,87	0,30	122
3	230	2,0	-5,0	1,85	0,29	98
4	385	8,0	-13,0	1,97	0,29	292
5	460	7,0	-20,0	2,02	0,31	428
6	545	10,0	-30,0	2,06	0,30	611

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da V_s e densità si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente corretti e utilizzati solo nei modi e nei casi appropriati.

D.M. 17/01/2018	Profondità del bedrock sismico	$V_{s,eq}$ (m/s)	Categoria di sottosuolo	Valore di $V_{s,eq}$ calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW (p.c.)	Oltre -30,0 m	389	B	$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II

Si sottolinea come la Categoria di Sottosuolo di Progetto, stimata in base a quanto previsto dal D.M. 17/01/2018, deve essere definita dal Geologo o dal progettista anche in funzione dei dati progettuali.

Si riporta inoltre il profilo sismostratigrafico ottenuto fino a -30,0 m dal p.c., mediante analisi congiunta MASW, utilizzato per il calcolo del parametro $V_{s,eq}$.



Profilo sismostratigrafico.

In base ai dati sismostratigrafici ottenuti, si rileva uno strato superficiale di spessore pari a 1,2 m e con velocità delle onde di taglio (onde S) pari a 170 m/s, caratteristica di terreni scarsamente addensati, presumibilmente rimaneggiati.

Da -1,2 a -5,0 m dal p.c., si riscontrano valori di velocità delle onde S, comprese tra 230 e 255 m/s, correlabili a depositi da scarsamente a moderatamente addensati, afferenti alle porzioni superficiali della sequenza deposizionale fluvioglaciale che caratterizza il territorio in cui ricade l'area in esame.

Deboli inversioni dei valori di velocità delle onde S , come quella riscontrata tra -3,0 e -5,0 m dal p.c. ($V_s=230$ m/s), possono presumibilmente essere dovute alla diminuzione dello stato di addensamento dei depositi appartenenti alla medesima sequenza deposizionale indagata e/o alla presenza di orizzonti più francamente limoso-sabbiosi.

Da -5,0 fino ad almeno -20,0 m dal p.c., si rilevano valori di V_s compresi tra 385 e 460 m/s, caratteristici di depositi da moderatamente addensati ad addensati, afferenti alla medesima sequenza deposizionale fluvioglaciale.

Oltre -20,0 m dal p.c., in funzione del valore di V_s rilevato pari a 545 m/s, è possibile ipotizzare la presenza di depositi da addensati a molto addensati afferenti alla medesima sequenza deposizionale indagata.

Il profilo sismostratigrafico ottenuto risulta correlabile con il quadro geologico dell'area oggetto di indagine e i valori di velocità delle onde S nei primi metri risultano compatibili con l'andamento delle prove penetrometriche eseguite nella medesima area di indagine.

7. Sondaggio geognostico

7.1 caratteristiche attrezzature utilizzata

L'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione delle opere è stata una trivella cingolata CMV 600 dotata di coppia torcente di 6300 Nm, testa di rotazione con 4 selezioni di velocità, spinta/tiro di 13000 Kg, gruppo morse di diametro 260mm, accessoriata con pompa per fanghi modello Nenzi TR 200.

Si tratta di una trivella a trasmissione idraulica, costituita da un motore a scoppio, un serbatoio di olio idraulico e varie pompe idrauliche azionate dal motore stesso. Questa porta l'olio in pressione e tramite tubi in gomma armata e distributori lo invia ai vari organi utilizzatori (testa di rotazione, argano, morse, svita aste, stabilizzatori, ecc.).

Gli utensili utilizzati per l'avanzamento delle perforazioni e per il prelievo di campioni indisturbati sono:

- Aste di perforazione con filettatura tronco conica APIR 2"3/8 $\varnothing_{EST}=76$ mm, L=1.50-3.00 m;
- Tubi di rivestimento $\varnothing_{EST}=152$ mm, L=1.50 m;
- Carotiere "semplice" con valvola in testa a sfera a calice $\varnothing_{EST}=101$ mm, L=1.50;



- Pompa triplex dotata di smorzatore di pulsazioni pneumatico, con pressione di iniezione massima pari a 40 bar e portata massima variabile tra 100 a 200 l/min;
- Corone in widia;

7.2 metodologia perforazione

La perforazione del sondaggio geognostico è stata eseguita a carotaggio continuo a secco; il fluido di circolazione, costituito da acqua, è stato utilizzato unicamente per le fasi di posa delle tubazioni di rivestimento provvisorio.

Il materiale prelevato durante le perforazioni è stato depositato, in modo continuo ed ordinato, in apposite cassette catalogatrici in PVC (capacità 5,00m), ognuna siglata temporaneamente con l'identificativo del sondaggio, l'intervallo di profondità, la profondità di prelievo dei campioni, la profondità di esecuzione delle prove geotecniche in situ, il committente e la data di perforazione.

Le cassette catalogatrici, una volta riempite, sono state fotografate e descritte da geologo abilitato.

Le stratigrafie dei sondaggi geognostici eseguiti e la relativa documentazione fotografica sono allegate (Allegato 3) alla presente, di cui costituiscono parte integrante.

7.3 completamento fori

Al termine delle operazioni di perforazione, il foro denominato S1-PZ è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto in PVC $\varnothing 2''$, cieco e fenestrato, di lunghezza pari a 30,00m da p.c..

Il tubo piezometrico è stato installato nel foro di sondaggio rivestito dalla tubazione di manovra di diametro 152mm. Nell'intercapedine tra la tubazione di manovra e la colonna di tubi in pvc è stato formato un filtro costituito da materiale granulare, da fondo foro fino a risalire di almeno 1,00m dall'estremità superiore del tratto fenestrato, estraendo progressivamente il rivestimento senza l'ausilio della rotazione. Il tratto soprastante al ghiaietto è stato impermeabilizzato con un livello di compactonite in pellets al di sopra del quale è stato inserito, per uno spessore di circa 0,50-1,00m, uno strato di sabbia fine. Infine, si è proceduto con una gettata, fino al raggiungimento del piano campagna, di una miscela ternaria composta da acqua-cemento-bentonite.

A protezione del terminale piezometrico è stato infine installato e cementato un pozzetto cilindrico fuori terra in pvc di diametro 140mm di colore rosso.

Al termine dell'installazione del piezometro, a qualche giorno di distanza, è stata eseguita una misurazione, mediante freatimetro con avvisatore acustico, al fine di individuare il livello di falda.

7.4 standard penetration test (SPT)

Le prove penetrometriche dinamiche tipo SPT sono state eseguite in foro in avanzamento alle profondità indicate dalla Committenza, secondo le modalità esecutive proposte dall'A.G.I. e in accordo con le modalità contenute nella norma ASTM 1586 e nella norma UNI EN ISO 22476-3:2012.

La prova consiste nell'infissione a percussione nel terreno, secondo una procedura standard, di un campionatore a fondo foro per tre tratti di lunghezza pari a 150 mm; durante la prova viene registrato il numero di colpi necessario all'attraversamento dei tre tratti di lunghezza pari a 150 mm (N_1 , N_2 e N_3).

L'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione della prova è la seguente:

- Dispositivo di battitura con maglio a sganciamento automatico del tipo Plicon-Nenzi (63.50 kg), con caduta libera da $H=75$ cm e testa di battuta in acciaio;
- Aste di collegamento fra testa di battuta e campionatore Raymond $L=3.00$ m, $\varnothing=50$ mm, giunte a nipplo m/m;
- Campionatore Raymond a punta chiusa e/o aperta;

Il numero di colpi N_{SPT} è la somma dei valori relativi agli ultimi due tratti di prova (30cm) e consente la definizione, con buon grado di precisione, dei principali parametri meccanici del terreno; i valori riferiti ai primi 15cm, generalmente non vengono considerati in quanto rappresentativi di un terreno disturbato dalla perforazione.

Quando il numero di colpi necessari al superamento del primo tratto da 15cm superi 50 o nel caso che il numero di colpi necessario al superamento del secondo e del terzo tratto da 15cm superi 100, la prova è considerata a rifiuto, e si annota la profondità di infissione del campionatore relativo a 50 colpi (nei primi 15cm) o a 100 colpi (nel secondo e terzo livello).

Per i terreni nel quale si è registrato il rifiuto della prova non esistono in letteratura correlazioni con l'angolo di attrito e/o con la coesione. Indicativamente è possibile individuare un valore di massima ponendo $N_{SPT} = 50$.



Nei sondaggi oggetto del presente documento, le prove S.P.T. sono state effettuate con campionatore Raymond a punta aperta o a punta chiusa a seconda delle caratteristiche granulometriche dei depositi interessati dalle indagini.

Preventivamente all'esecuzione di ogni prova è stata verificata la profondità effettivamente raggiunta dalla perforazione mediante scandaglio graduato; nel caso di problemi di instabilità delle pareti del foro, la tubazione di rivestimento è stata inserita in modo da mantenere la colonna metallica a circa 50cm al di sopra del tratto di prova, e tale da arrecare il minor disturbo al terreno naturale.

Nella stratigrafia sono indicate le profondità di esecuzione e i rispettivi valori ottenuti durante l'esecuzione delle prove S.P.T.

7.5 Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc

La prova di permeabilità consente di ricavare la conducibilità idraulica del terreno interessato dalla tasca di prova dalla misura del quantitativo di acqua nel tempo introdotto nel foro necessario al mantenimento di un livello idraulico costante all'interno della tubazione di rivestimento (prova a carico costante), o dalla misura dell'abbassamento nel tempo del livello idrico all'interno della colonna di rivestimento rispetto a un piano di riferimento (prova a carico variabile).

La tipologia di prova adottata dipende essenzialmente dalla capacità di drenaggio del deposito investigato; in linea generale si esegue una prova a carico costante quando il terreno investigato drena velocemente l'acqua introdotta, in caso contrario si esegue una prova a carico variabile.

Tutte le prove eseguite durante la campagna di indagini sono state effettuate a carico variabile per immissione di acqua nel foro, utilizzando una tasca cilindrica creata dall'utensile di perforazione o direttamente dalla tubazione di rivestimento, i valori di conducibilità idraulica ricavati sono relativi alla componente orizzontale (k_H), in quanto per ogni prova eseguita il rapporto fra lunghezza della tasca di prova e diametro del foro è superiore a 3.9.

La tasca di prova è stata eseguita mediante utensile di perforazione (carotiere $\varnothing=101-131$ mm semplice o rivestimento $\varnothing=127-152$ mm), utilizzando acqua pulita (senza l'aggiunta di polimeri) nelle manovre di rivestimento precedenti all'esecuzione della tasca stessa, al fine di non inficiare i risultati di prova. Una volta creata la tasca di prova, quest'ultima è stata riempita mediante



ghiaietto siliceo calibrato dopo aver verificato a mezzo di scandaglio l'effettiva profondità della tasca stessa.

Successivamente alla verifica del completo riempimento della tasca di prova, sono state annotate tutte le informazioni geometriche della prova (profondità della colonna di rivestimento, sporgenza del rivestimento dal piano campagna, diametro della tasca di prova, diametro dei rivestimenti).

Durante la prova vengono misurati mediante freatimetro con segnalatore acustico e luminoso, gli abbassamenti della colonna d'acqua introdotta nella colonna di rivestimento, secondo una scala di tempi logaritmica (30", 1', 2', 3' ecc.) per almeno un'ora o fino al termine degli abbassamenti.

I valori misurati nel corso della prova vengono riportati su un grafico abbassamento-tempo e su un grafico carico idraulico normalizzato (H/H_0 , dove H carico idraulico nel foro al tempo t , H_0 carico idraulico nel foro al tempo 0)-tempo in scala semi logaritmica.

Il coefficiente di conducibilità idraulica viene calcolato con il metodo del tempo di riequilibrio (Cassan, 1980), secondo la relazione:

$$k = \frac{A}{F \times T}$$

Dove:

- A : area trasversale della tubazione di rivestimento (m^2);
- F : fattore di forma dipendente dalla geometria della tasca di prova (m) (Hvorslev, 1951);
- T : tempo di riequilibrio, calcolato dal diagramma carico idraulico normalizzato-tempo (s); rappresenta il tempo corrispondente al valore di $H/H_0=0.37$, ricavato sulla retta che meglio interpola la curva sperimentale, riportata all'origine degli assi ($H/H_0=1$ e $t=0$).

Nei grafici correlati alle stratigrafie sono stati interpretati e riportati i valori di conducibilità idraulica calcolati per le varie prove eseguite e gli intervalli di prova.

8. Campionamento geotecnico

Durante la campagna di indagini sono stati prelevati, nel sondaggio geognostico, n.4 campioni rimaneggiati.

In seguito alla spedizione, i campioni saranno sottoposti alle prove di caratterizzazione fisica e meccanica di laboratorio richieste dalla committenza.

Nei paragrafi seguenti sono sinteticamente riportate le modalità di campionamento utilizzate e le tabelle di sintesi dei campioni prelevati.

Nella stratigrafia del sondaggio eseguito, sono sinteticamente indicati i nomi di tutti i campioni prelevati e le relative profondità di prelievo.

8.1 campioni rimaneggiati

I campioni rimaneggiati sono stati prelevati direttamente dalle cassette catalogatrici, previa ripresa fotografica delle stesse ed eliminazione delle parti alterate dalle lavorazioni, e custoditi all'interno di sacchetti di plastica opportunamente sigillati con nastro adesivo.

Tutti i campioni prelevati sono stati contraddistinti in maniera univoca indicando, mediante marcatura indelebile, il cantiere, il nome del sondaggio, il nome del campione, la profondità e la data di prelievo. Il quantitativo di terreno prelevato è variabile fra 0.5kg e 2.5kg, in funzione del diametro massimo caratteristico del terreno prelevato, e comunque tale da avere un campione rappresentativo della tipologia di terreno da cui proviene.

Nella stratigrafia del sondaggio sono indicate le profondità e le sigle dei campioni rimaneggiati (CR) prelevati nel corso della campagna di indagine.

In tabella l'elenco dei campioni geotecnici prelevati sul sondaggio geognostico eseguito:

<i>Sigla Sondaggio</i>	<i>Data prelievo</i>	<i>Denominazione campione</i>	<i>Profondità prelievo</i>
S1-PZ	21.12.2022	CR1	2,00-2,50m
	21.12.2022	CR2	7,00-7,50m
	22.12.2022	CR3	15,00-15,50m
	22.12.2022	CR4	25,00-25,50m



ALLEGATO 1
Indagini geofisiche



Stendimento sismico M.A.S.W.



Misura del microtremore sismico mediante tecnica H.V.S.R.



Acquisizione del segnale sismico mediante Sismografo Geometrics Mod. Geode 3-1000



Shot sismico verticale per la generazione delle onde di Rayleigh



ALLEGATO 2

Diagrammi prove penetrometriche



EUROGEO S.R.L. - INDAGINI GEOGNOSTICHE
Via Sentirone, 10 - 20037 Paderno Dugnano (MI)
Tel. 02.91084691 - Fax 02.99108919

info@eurogeosrl.it - eurogeosrl@pec.eurogeosrl.it
www.eurogeosrl.it



UNI EN ISO 9001:2015

PROVA PENETROMETRICA SCPT: P1

LOCALITÀ: Via Settembrini - Rho (MI)

Data di esecuzione: 23/12/2022

Committente: ASST Rhodense

Avanzamento punta:

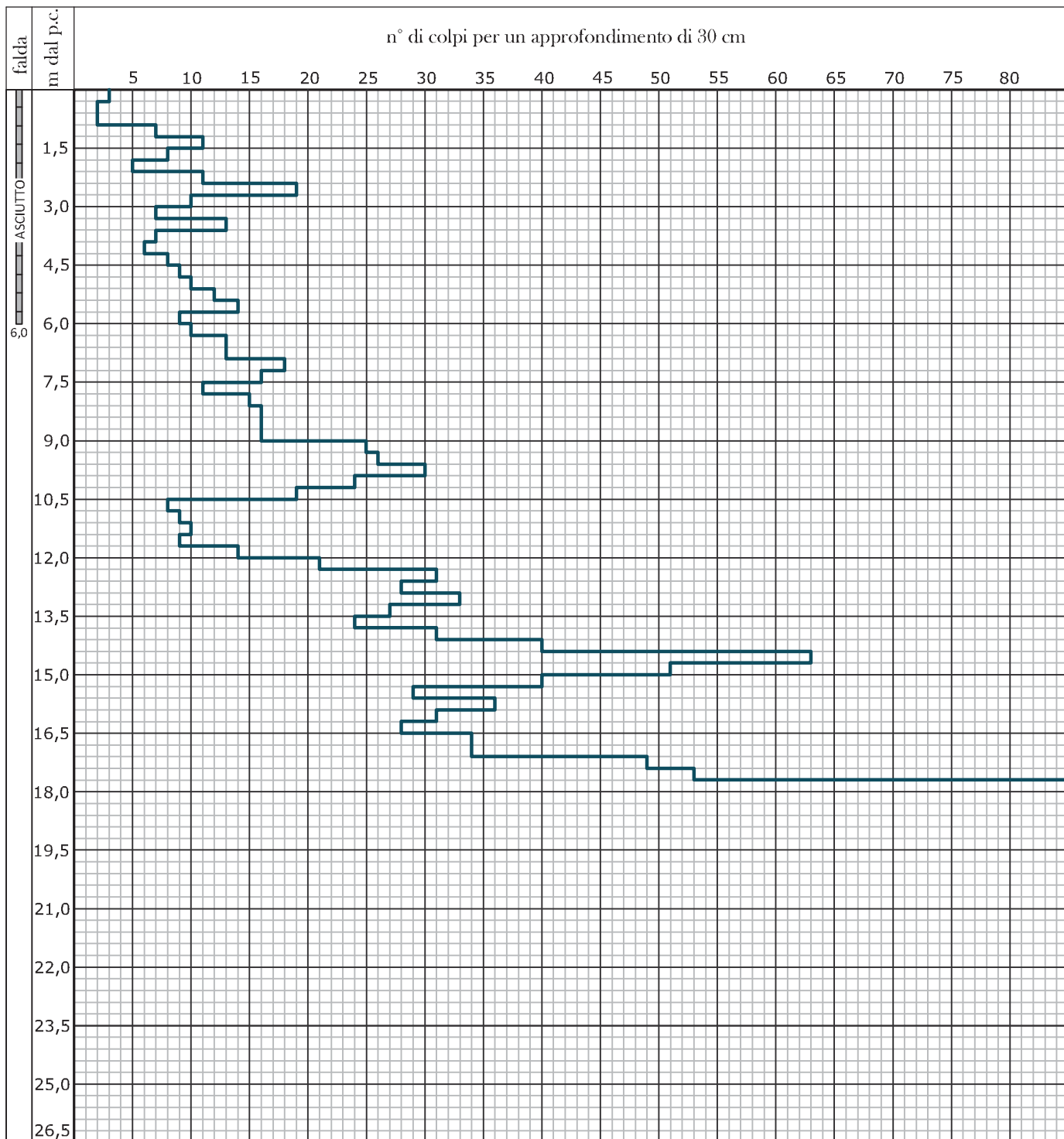
Avanzamento rivestimento:

Piezometro Φ 1/2"

tratto cieco

tratto fessurato

Note: aste asciutte.



Strumento utilizzato: Penetrometro PAGANI Mod.: TG63-200



EUROGEO S.R.L. - INDAGINI GEOGNOSTICHE
Via Sentirone, 10 - 20037 Paderno Dugnano (MI)
Tel. 02.91084691 - Fax 02.99108919

info@eurogeosrl.it - eurogeosrl@pec.eurogeosrl.it
www.eurogeosrl.it



UNI EN ISO 9001:2015

PROVA PENETROMETRICA SCPT: P2

LOCALITÀ: Via Settembrini - Rho (MI)

Data di esecuzione: 23/12/2022

Committente: ASST Rhodense

Avanzamento punta:

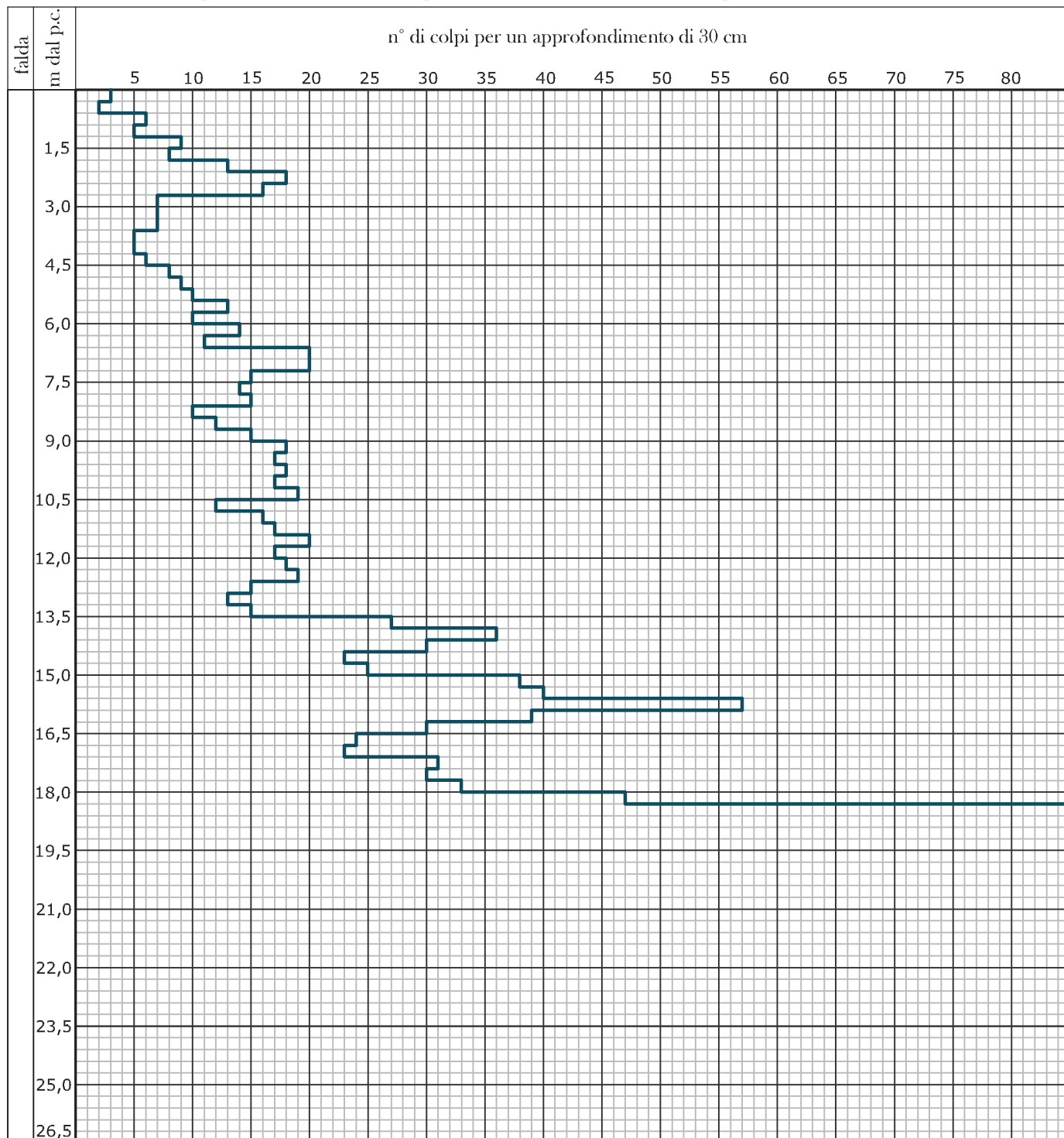
Piezometro Φ 1/2"

Avanzamento rivestimento:

tratto cieco

tratto fessurato

Note: aste umide a partire da -12,9 m dal p.c.; foro richiuso a -2,0 m dal p.c..



Strumento utilizzato: Penetrometro PAGANI Mod.: TG63-200



EUROGEO S.R.L. - INDAGINI GEOGNOSTICHE
Via Sentirone, 10 - 20037 Paderno Dugnano (MI)
Tel. 02.91084691 - Fax 02.99108919

info@eurogeosrl.it - eurogeosrl@pec.eurogeosrl.it
www.eurogeosrl.it



UNI EN ISO 9001:2015

PROVA PENETROMETRICA SCPT: P3

LOCALITÀ: Via Settembrini - Rho (MI)

Data di esecuzione: 23/12/2022

Committente: ASST Rhodense

Avanzamento punta:

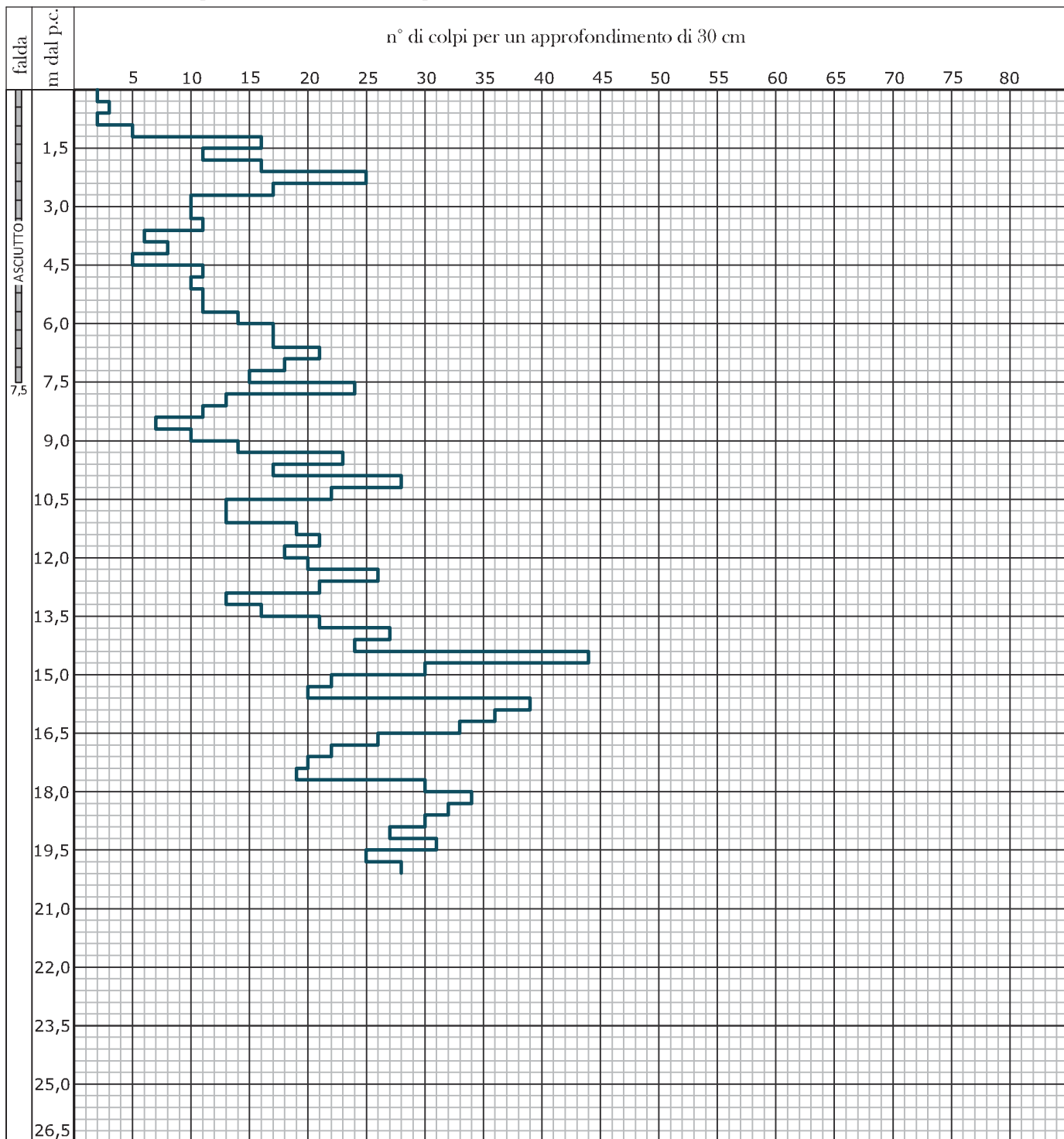
Avanzamento rivestimento:

Piezometro Φ 1/2"

tratto cieco

tratto fessurato

Note: aste umide a partire da -12,6 m dal p.c..



Strumento utilizzato: Penetrometro PAGANI Mod.: TG63-200



EUROGEO S.R.L. - INDAGINI GEOGNOSTICHE
Via Sentirone, 10 - 20037 Paderno Dugnano (MI)
Tel. 02.91084691 - Fax 02.99108919

info@eurogeosrl.it - eurogeosrl@pec.eurogeosrl.it
www.eurogeosrl.it



UNI EN ISO 9001:2015

PROVA PENETROMETRICA SCPT: P4

LOCALITÀ: Via Settembrini - Rho (MI)

Data di esecuzione: 23/12/2022

Committente: ASST Rhodense

Avanzamento punta:

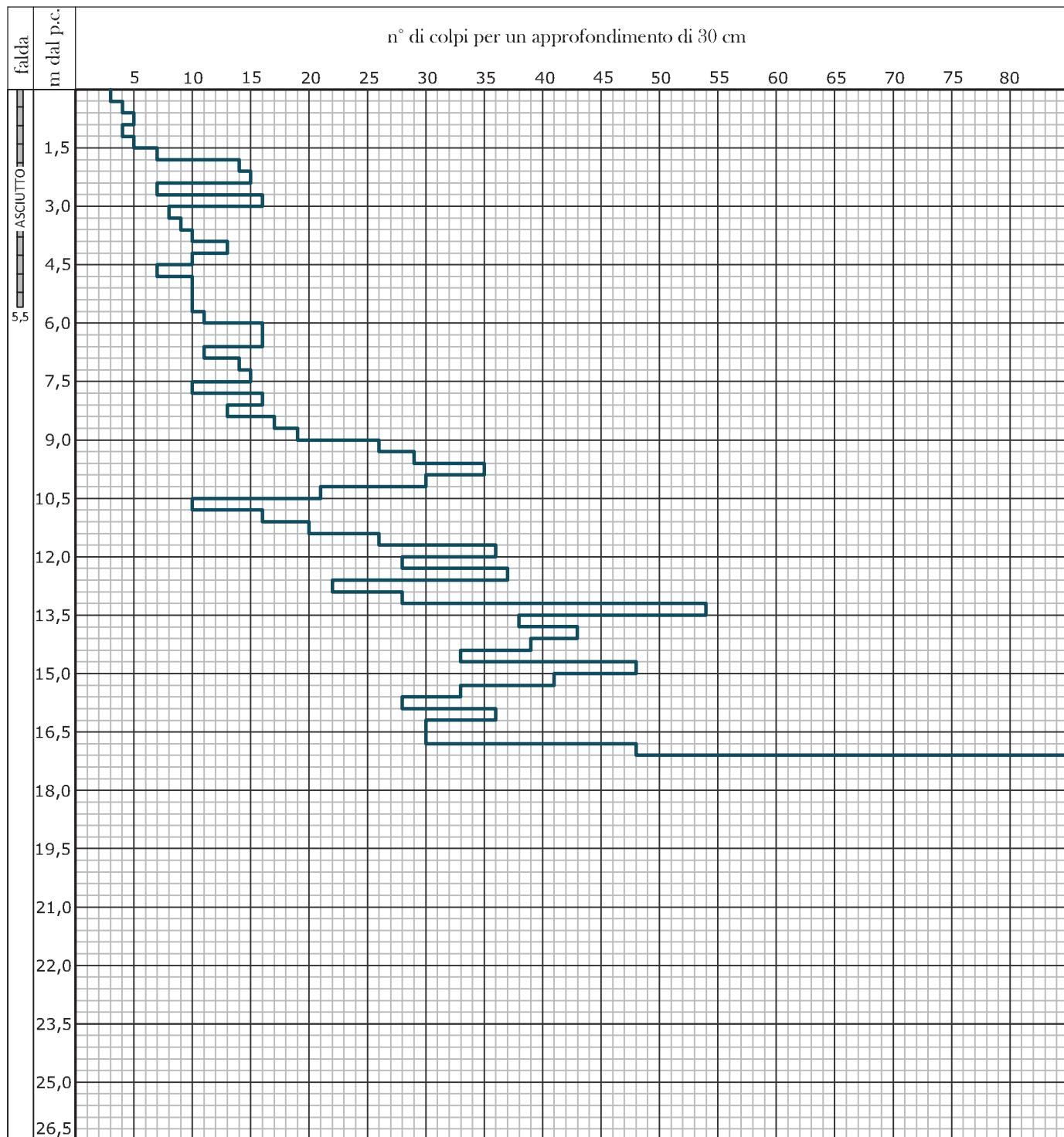
Avanzamento rivestimento:

Piezometro Φ 1/2"

tratto cieco

tratto fessurato

Note: aste asciutte.



Strumento utilizzato: Penetrometro PAGANI Mod.: TG63-200



EUROGEO S.r.l.
INDAGINI GEONOSTICHE & GEOTERMIA
 Via Sentirone, 10 – 20037 Paderno Dugnano (MI)
 Tel. 02.91084691 - Fax 02.99108919
 info@eurogeosrl.it eurogeosrl@pec.eurogeosrl.it
 www.eurogeosrl.it

Documento

Rif. Commessa:

**PROVA PENETROMETRICA
 DINAMICA STANDARD
 SCPT - DPSH**

Data: 23/12/2022

Geologo:

Località: Via Serttembrini - Rho (MI)

Committente: ASST RHODENSE

Prova: **P1**

Aste Umide: SI NO da m: _____

Piezometro: SI NO Acqua m: NO

Fessurato: 6,0 m _____ Cieco: _____

Quota Inizio Prova (m): _____

Note: _____

Prova: **P2**

Aste Umide: SI NO da m: -12,9 m

Piezometro: SI NO Acqua m: NO

Fessurato: _____ Cieco: _____

Quota Inizio Prova (m): _____

Note: Foro richiuso a -2,0 m dal p.c.

Prof. (m)	P	R	Prof. (m)	P	R	Prof. (m)	P	R
0,30	3		8,70	16		17,10	34	
0,60	2		9,00	16		17,40	49	
0,90	2		9,30	25		17,70	53	
1,20	7		9,60	26		18,00	R	
1,50	11		9,90	30		18,30		
1,80	8		10,20	24		18,60		
2,10	5		10,50	19		18,90		
2,40	11		10,80	8		19,20		
2,70	19		11,10	9		19,50		
3,00	10		11,40	10		19,80		
3,30	7		11,70	9		20,10		
3,60	13		12,00	14		20,40		
3,90	7		12,30	21		20,70		
4,20	6		12,60	31		21,00		
4,50	8		12,90	28		21,30		
4,80	9		13,20	33		21,60		
5,10	10		13,50	27		21,90		
5,40	12		13,80	24		22,20		
5,70	14		14,10	31		22,50		
6,00	9		14,40	40		22,80		
6,30	10		14,70	63		23,10		
6,60	13		15,00	51		23,40		
6,90	13		15,30	40		23,70		
7,20	18		15,60	29		24,00		
7,50	16		15,90	36		24,30		
7,80	11		16,20	31		24,60		
8,10	15		16,50	28		24,90		
8,40	16		16,80	34		25,20		

Prof. (m)	P	R	Prof. (m)	P	R	Prof. (m)	P	R
0,30	3		8,70	12		17,10	29	
0,60	2		9,00	15		17,40	31	
0,90	6		9,30	18		17,70	30	
1,20	5		9,60	17		18,00	33	
1,50	9		9,90	18		18,30	47	
1,80	8		10,20	17		18,60	R	
2,10	13		10,50	19		18,90		
2,40	18		10,80	12		19,20		
2,70	16		11,10	16		19,50		
3,00	7		11,40	17		19,80		
3,30	7		11,70	20		20,10		
3,60	7		12,00	17		20,40		
3,90	5		12,30	18		20,70		
4,20	5		12,60	19		21,00		
4,50	6		12,90	15		21,30		
4,80	8		13,20	13		21,60		
5,10	9		13,50	15		21,90		
5,40	10		13,80	27		22,20		
5,70	13		14,10	36		22,50		
6,00	10		14,40	30		22,80		
6,30	14		14,70	23		23,10		
6,60	11		15,00	25		23,40		
6,90	20		15,30	38		23,70		
7,20	20		15,60	40		24,00		
7,50	15		15,90	57		24,30		
7,80	14		16,20	34		24,60		
8,10	15		16,50	30		24,90		
8,40	10		16,80	24		25,20		



EUROGEO S.r.l.
INDAGINI GEONOSTICHE & GEOTERMIA
 Via Sentirone, 10 – 20037 Paderno Dugnano (MI)
 Tel. 02.91084691 - Fax 02.99108919
 info@eurogeosrl.it eurogeosrl@pec.eurogeosrl.it
 www.eurogeosrl.it

Documento

Rif. Commessa:

**PROVA PENETROMETRICA
 DINAMICA STANDARD
 SCPT - DPSH**

Data: 23/12/2022

Geologo:

Località: Via Settembrini - Rho (MI)

Committente: ASST RHODENSE

Prova: P3

Aste Umide: SI NO da m: -12,6 m

Piezometro: SI NO Acqua m: NO

Fessurato: 7,0 m Cieco: _____

Quota Inizio Prova (m): _____

Note:

Prof. (m)	P	R	Prof. (m)	P	R	Prof. (m)	P	R
0,30	2		8,70	7		17,10	22	
0,60	3		9,00	10		17,40	20	
0,90	2		9,30	14		17,70	19	
1,20	5		9,60	23		18,00	30	
1,50	16		9,90	17		18,30	34	
1,80	11		10,20	28		18,60	32	
2,10	16		10,50	22		18,90	30	
2,40	25		10,80	13		19,20	27	
2,70	17		11,10	13		19,50	31	
3,00	10		11,40	19		19,80	25	
3,30	10		11,70	21		20,10	28	
3,60	11		12,00	18		20,40		
3,90	6		12,30	20		20,70		
4,20	8		12,60	26		21,00		
4,50	5		12,90	21		21,30		
4,80	11		13,20	13		21,60		
5,10	10		13,50	16		21,90		
5,40	11		13,80	21		22,20		
5,70	11		14,10	27		22,50		
6,00	14		14,40	24		22,80		
6,30	17		14,70	44		23,10		
6,60	17		15,00	30		23,40		
6,90	21		15,30	22		23,70		
7,20	18		15,60	20		24,00		
7,50	15		15,90	39		24,30		
7,80	24		16,20	36		24,60		
8,10	13		16,50	33		24,90		
8,40	11		16,80	26		25,20		

Prova: P4

Aste Umide: SI NO da m: _____

Piezometro: SI NO Acqua m: NO

Fessurato: 5,5 m Cieco: _____

Quota Inizio Prova (m): _____

Note:

Prof. (m)	P	R	Prof. (m)	P	R	Prof. (m)	P	R
0,30	3		8,70	17		17,10	48	
0,60	4		9,00	19		17,40	R	
0,90	5		9,30	26		17,70		
1,20	4		9,60	29		18,00		
1,50	5		9,90	35		18,30		
1,80	7		10,20	30		18,60		
2,10	14		10,50	21		18,90		
2,40	15		10,80	10		19,20		
2,70	7		11,10	16		19,50		
3,00	16		11,40	20		19,80		
3,30	8		11,70	26		20,10		
3,60	7		12,00	36		20,40		
3,90	10		12,30	28		20,70		
4,20	13		12,60	37		21,00		
4,50	10		12,90	22		21,30		
4,80	7		13,20	28		21,60		
5,10	10		13,50	54		21,90		
5,40	10		13,80	38		22,20		
5,70	10		14,10	43		22,50		
6,00	11		14,40	39		22,80		
6,30	16		14,70	33		23,10		
6,60	16		15,00	48		23,40		
6,90	11		15,30	41		23,70		
7,20	14		15,60	33		24,00		
7,50	16		15,90	28		24,30		
7,80	10		16,20	36		24,60		
8,10	16		16,50	30		24,90		
8,40	13		16,80	30		25,20		



Prova penetrometrica SCPT-P1



Prova penetrometrica SCPT-P2



Prova penetrometrica SCPT-P3



Prova penetrometrica SCPT-P4



ALLEGATO 3

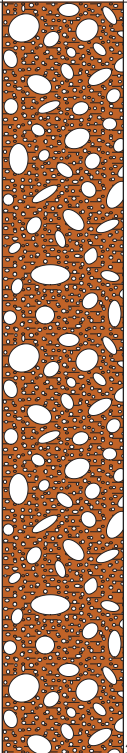
Stratigrafie sondaggi geognostici, elaborati prove in foro e foto cassette catalogatrici

Committente: ASST - RHODENSE	Sondaggio: S1-PZ
Riferimento: PASSIRANA - RHO (MI)	Data: 20-22.12.2022
Coordinate:	Quota:
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

SCALA 1:100

STRATIGRAFIA - S1-PZ

Pagina 2/2

ø mm	R v	A	Pz	Prel. % 0 --- 100	Campioni	Standard Penetration Test				prove in foro	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
						m	S.P.T.	N	Pt					
						21,0	19-23-26	49	A		21		Sabbia marrone-giallastra da medio-fine a medio-grossolana principalmente limosa con ghiaietto e ghiaia eterometrica. Locale presenza di livelli centimetrici di sabbia limosa debolmente argillosa inglobante ghiaia. Presenza di ghiaia anche molto alterata.	
					24,0	16-20-25	45	A		22				
										23				
										24				
					CR4) Rim 25,00 25,50					25				
										26				
						27,0	17-21-25	46	A		27			
										28				
										29				
131						30,0	11-24-18	42	A		30			

- perforazione eseguita in data 20-22.12.2022
- sondaggio eseguito a carotaggio continuo 152/131 mm fino alla quota di 30,00m da p.c.
- eseguito n°10 prove standard penetration test (SPT)
- prelevato n°4 campioni rimaneggiati (CR)
- eseguito n°2 prove di permeabilità Lefranc a carico variabile (LFV)
- ritombamento del foro mediante compactonite in pellets da 24,00-30,00m
- installato piezometro a tubo aperto in pvc diametro 2" alla profondità di 24,00m (0,00-6,00m cieco, 6,00-24,00m fessurato)
- installato pozzetto fuori terra diametro 140mm in lamiera a protezione del terminale piezometrico
- livello di falda misurato 12,90 m da b.p.

Committente: ASST - RHODENSE

Sondaggio: S1-PZ

Riferimento: PASSIRANA - RHO (MI)

Data: 20-22.12.2022

Fotografie - Pagina 1/4

Pagina 1



Posizionamento su sondaggio S1-PZ



Sond. S1-PZ cassa 1 da 0,00 m a 5,00 m

Committente: ASST - RHODENSE

Sondaggio: S1-PZ

Riferimento: PASSIRANA - RHO (MI)

Data: 20-22.12.2022

Fotografie - Pagina 2/4

Pagina 2



Sond. S1-PZ cassa 2 da 5,00 m a 10,00 m



Sond. S1-PZ cassa 3 da 10,00 m a 15,00 m

Committente: ASST - RHODENSE

Sondaggio: S1-PZ

Riferimento: PASSIRANA - RHO (MI)

Data: 20-22.12.2022

Fotografie - Pagina 3/4

Pagina 3



Sond. S1-PZ cassa 4 da 15,00 m a 20,00 m



Sond. S1-PZ cassa 5 da 20,00 m a 25,00 m

Committente: ASST - RHODENSE

Sondaggio: S1-PZ

Riferimento: PASSIRANA - RHO (MI)

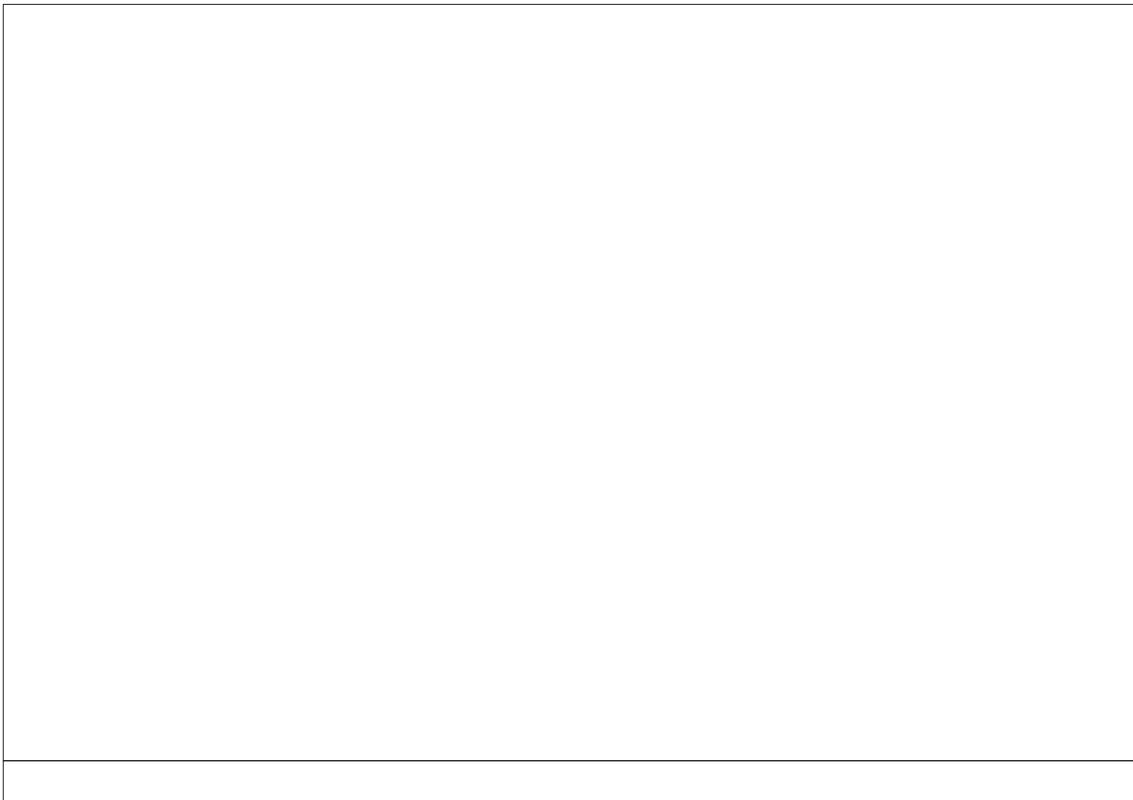
Data: 20-22.12.2022

Fotografie - Pagina 4/4

Pagina 4



Sond. S1-PZ cassa 6 da 25,00 m a 30,00 m



PROVA DI PERMEABILITA' 2 (LIVELLO VARIABILE)

PROFONDITA' FORO DA P.C.:	m	5,00
PROFONDITA' RIVESTIMENTO DA P.C.:	m	4,30
SPORGENZA TUBO RIVESTIMENTO DA P.C.:	m	0,20
LIVELLO BASE DI MISURA DA P.C.:	-m	5,00
LIVELLO DINAMICO DURANTE LA PROVA DA P.C.:	+m	0,20
DIAMETRO DEL TRATTO DI FORO IN PROVA:	mm	127
COEFFICIENTE DI FORMA "C":	cm	180,751

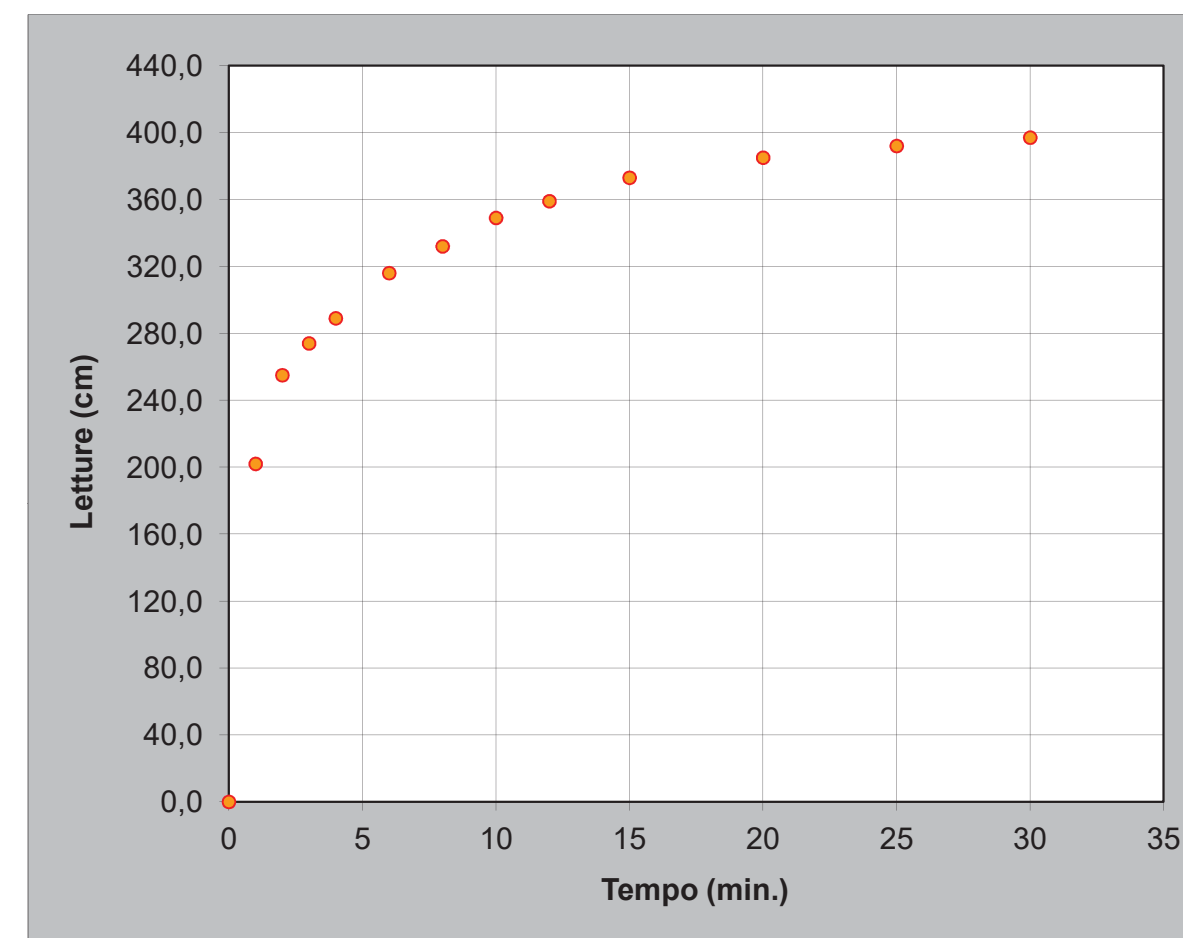
(funzione della 'tasca' di prova, in particolare del rapporto Diametro/Lunghezza)

TABELLA DEI VALORI DI CAMPAGNA ED ELABORAZIONI

Tempo (m)	Lecture (cm)	Differenze (cm)	K (cm/sec)
0	0,0	0	0
1	202,0	202	0,00453524
2	255,0	53	0,00118997
3	274,0	19	0,00042659
4	289,0	15	0,00033679
6	316,0	27	0,00072463
8	332,0	16	0,00017962
10	349,0	17	0,00019084
12	359,0	10	0,00011226
15	373,0	14	0,00010477
20	385,0	12	0,00005388
25	392,0	7	0,00003143
30	397,0	5	0,00002245

Lecture rispetto alla testa del rivestimento
Dati scartati

0,0006590397



Coefficiente di permeabilità relativo alla singola misurazione e calcolato mediante la formula
 $k = A \times DH / C \times Dt \times h$; A rappresenta l'area di base della tasca filtrante, DH differenza di carico idraulico, Dt l'intervallo di tempo corrispondente a DH, h il carico idraulico corrispondente al tempo medio.

VALORE DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' RICAVATO DALLA MEDIA ARITMETICA DEI VALORI RITENUTI ATTENDIBILI

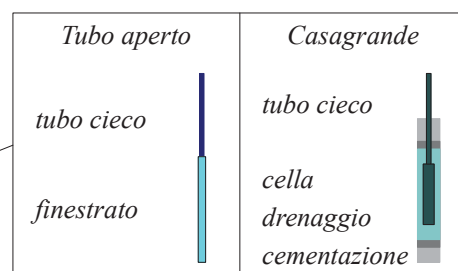
K (cm/s)= 6,59E-04

Committente:	Sondaggio:
Riferimento:	Data:
Coordinate:	Quota:
Perforazione:	

LEGENDA STRATIGRAFIA

Ø mm	R v	A	Pz	Prel. % 0 --- 100	Campioni	Standard Penetration Test				prove in foro	RQD % 0 --- 100	metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE
						m	S.P.T.	N	Pt						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

- 1) Diametro del foro / Tipo di carotiere
- 2) Rivestimento
- 3) Profondità dell'acqua
- 4) Piezometri
- 5) Percentuale di prelievo (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 6) Campioni (numero, tipo, profondità testa e scarpa)
- 7) Profondità di inizio della prova S.P.T.
- 8) Prova S.P.T.
- 9) Valore di N_{spt}
- 10) Tipo di punta (A = punta aperta; C = punta chiusa)
- 11) Prove in foro
- 12) Percentuale R.Q.D. (1-10, 11-20, ..., 91-100 %)
- 13) Scala metrica con limiti delle battute (>)
- 14) Simbolo litologico
- 15) Profondità della base dello strato (m)
- 16) Descrizione della litologia dello strato



She = Shelby
Den = Denison
Ost = Osterberg
Maz = Mazier
Crp = Craps
nk3 = NK3
Ind = Indisturbato
Dis = Disturbato
SDi = Semi disturbato
SPT = SPT
Amb = Ambientale

Lfr.C = Lefranc a carico costante
Lfr.V = Lefranc a carico variabile
Lug = Lugeon
Press = Prova pressiometrica
Dilat = Prova dilatometrica
Scis = Prova scissometrica
PLT = Point Load Test
Prov = Altra prova