

Imp. n° 21763

MET.: ALL. BIOMETANO SOC.AGR.BMZ
DN 100 (4") – 75 bar

NEL COMUNE DI VILLA BARTOLOMEA (VR)

RELAZIONE SULLE INDAGINI

0	Mag. '25	Emissione per Autorizzazione Unica 327	Gramigna	Gualtieri	Barci
Indice	Data	Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
Cliente:		Progettista:	Comm. Prog.:	4307/19	
				Comm. Snam:	NQ/R24344
				Tavola:	RE-GEO-002

INDICE

1. PREMESSA	3
2. UBICAZIONE INDAGINI	4
3. INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW	6
3.1 ACQUISIZIONE.....	7
3.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	8
3.3 ELABORAZIONE	9
3.4 RISULTATI	10
4. INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSr).....	13
4.1 ACQUISIZIONE.....	14
4.2 GENERALITÀ ED ESECUZIONE PROVE HVSr	14
4.3 ANALISI DEI DATI SPERIMENTALI DI PROVE HVSr CON L'UTILIZZO DEL SOFTWARE WINMASW 3C	16
4.4 CRITERI DI SESAME: ATTENDIBILITÀ ED AFFIDABILITÀ DELLE PROVE H/V	17
4.5 INTERPRETAZIONE PROVA HVSr	18
5. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE	19
5.1 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (DPM) NR.1	20
6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	22

Annesso: Report sulle prove penetrometriche

1. PREMESSA

La presente relazione sulle indagini accompagna la relazione geologica e sulla pericolosità sismica per il progetto relativo all'intervento di realizzazione di un nuovo metanodotto denominato “*Allacciamento Biometano Soc. Agr. BMZ DN 100 (4'') - 75 bar*”, che si innesterà al metanodotto esistente denominato “*Castagnaro-Bergantino DN 750 (30'') - 70 bar*” mediante Tapping-Machine. La realizzazione del gasdotto, nel comune di Villa Bartolomea (VR), si rende necessaria al fine di immettere all'interno della rete di trasporto di Snam Rete Gas, il gas naturale di produzione derivante dalle attività agricole/zootecniche.

L'impianto in progetto, costituito dal complesso di tubazioni e dispositivi di sicurezza, permetterà la raccolta e l'immissione in rete del combustibile ottenuto dalla purificazione del biogas di matrice vegetale/reflua ovvero derivante dalle attività agricole/zootecniche.

Su incarico e per conto di Snam Rete Gas S.p.a. è stata condotta una campagna di indagini geofisiche e geotecniche costituite da N°1 Indagine sismica di tipo MASW, N°1 Indagine sismica di tipo HVSR e da N°1 prova penetrometrica dinamica media.

La campagna d'indagine, condotta nel rispetto dello stato dell'arte e delle linee guida dettate dalla letteratura scientifica, è conforme alle seguenti specifiche tecniche generali:

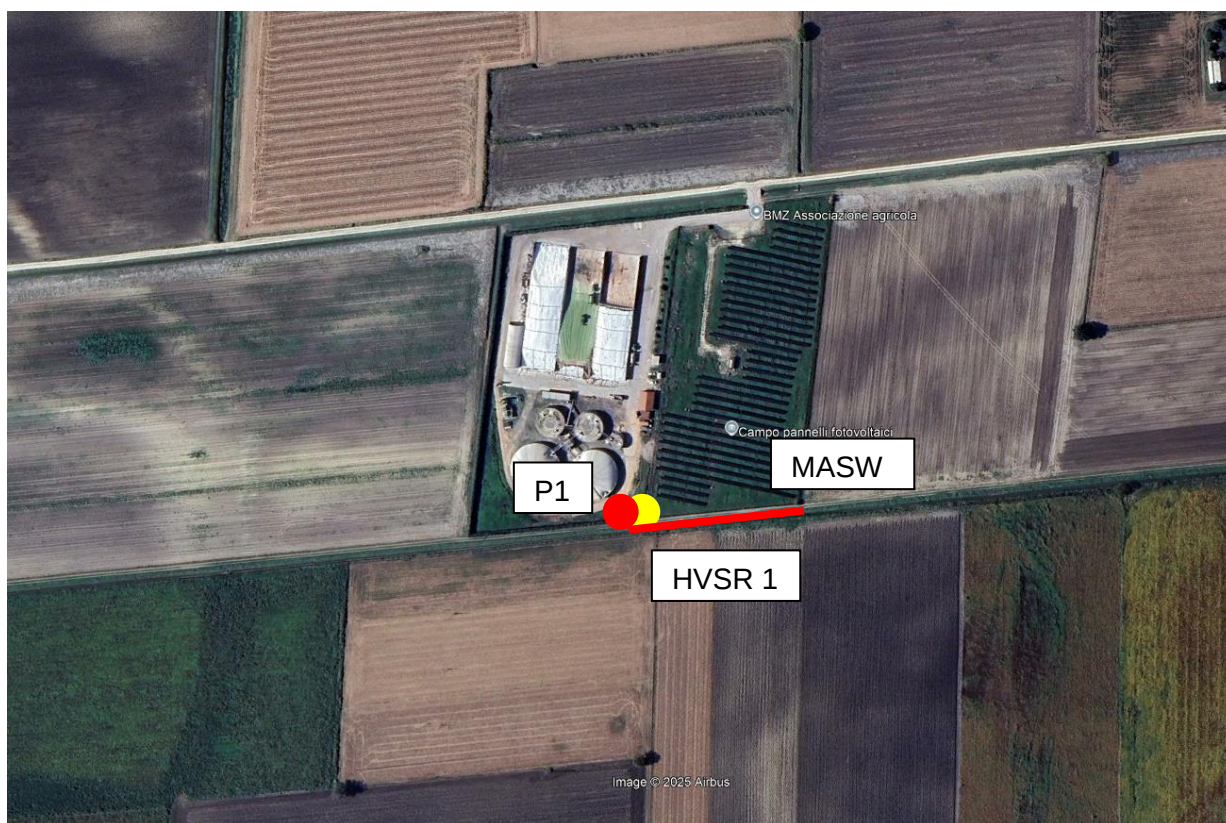
- Legge 02/02/74 n. 64 “Provvedimenti per le costruzioni in zone sismiche”.
- Norme AGI (1977), Associazione Geotecnica Italiana “Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche”.
- Norme AGI (2005), Associazione Geotecnica Italiana “Aspetti Geotecnici della Progettazione in Zona Sismica”.
- D.M. 11/03/88 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.
- D.M. 16/01/96 “Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”.
- O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 (Pubblicato in G.U. 08/05/2003 n. 108) - “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”.
- D.M. 14 settembre 2005 (Pubblicato in G.U. 23/09/2005 n. 222) – Norme Tecniche per le Costruzioni.
- D.M. 14 gennaio 2008 (Pubblicato in G.U. 04/02/2008 n. 29 Suppl. Ordinario n. 30) – Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008).
- D.M. 17 gennaio 2018 – (Pubblicato in G.U. 20/02/2018 n. 42) Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2018).

2. UBICAZIONE INDAGINI

Il metanodotto in progetto sarà ubicato nel territorio comunale di Villa Bartolomea (VR) in un'area agricola, a sud-ovest del centro abitato.

Dal punto di vista cartografico l'area è individuabile nel foglio 167090 "Badia Polesine" della Carta Tecnica della Regione Veneto, scala 1:10.000, mentre i fondi interessati sono censiti catastalmente nel foglio 54, mappali 359, 358, 29 e 349, foglio 50 mappali 35, 387, 153, 152, 151 e 32, foglio 49 mappale 90 e foglio 42 mappali 16, 8, 67 e 66 del Comune di Villa Bartolomea (VR).

Le indagini sono state concentrate direttamente sul sito di intervento nell'area di realizzazione dell'opera in c.a. (Edificio B5). Nella figura seguente si riporta l'ubicazione delle indagini effettuate.



Ubicazione indagini su base aerofotogrammetrica

Le indagini sono state pianificate ed eseguite secondo il seguente programma:

N°	Indagine	Lunghezza (m)	Distanza intergeofonica (m)	N° scoppi (Shot)	Tipologia di acquisizione	Data di esecuzione
1	MASW	120	5	-	Onde di superficie	20/11/2024
2	HVSr	-	-	-	Microtremori	20/11/2024
3	P1	-	-	-	-	20/11/2024

Di seguito la documentazione fotografica

STENDIMENTO
SISMICO
MASW



INDAGINE
HVSr



DPM 1



Documentazione fotografica dello stendimento sismico MASW, della prova HVSR e della prova penetrometrica dinamica nel sito di intervento

3. INDAGINE SISMICA DI TIPO MASW

Queste indagini, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (V_s). La classificazione dei terreni viene svolta sulla base del valore della V_s Equivalente (Ex $V_s 30$ - valore medio della V_s nei primi 30 metri di profondità), calcolata in modo perfettamente analogo alla $V_s 30$, ma invece di estendere la media pesata fino ai rigorosi 30 m di profondità, adesso viene portata fino ad una profondità H (che può essere pari a 30 m, ma anche ad un valore minore). A decretare il valore di questa profondità H è il raggiungimento del “substrato sismico”, caratterizzato da velocità superiori agli 800 m/s.

Più in generale il metodo MASW (Multi-Channel Analysis of Surface Waves) ha come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismo-stratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde “S” sia per la ricostruzione tomografica del profilo del sottosuolo, che per la definizione in situ della V_s Equivalente.

Il metodo MASW prevede, per ogni verticale d'indagine, la costruzione di una curva di dispersione per le onde di superficie, attraverso l'elaborazione di un'immagine derivata dall'analisi della propagazione delle onde di Rayleigh.

La tecnica di prospezione MASW utilizza quindi un'immagine rappresentativa delle frequenze delle onde superficiali, espressa in funzione della velocità di fase delle stesse. Nell'immagine di dispersione (Over Tone image) viene inoltre enfatizzata cromaticamente l'ampiezza delle vibrazioni evidenziando così le aree corrispondenti al miglior rapporto segnale/disturbo.

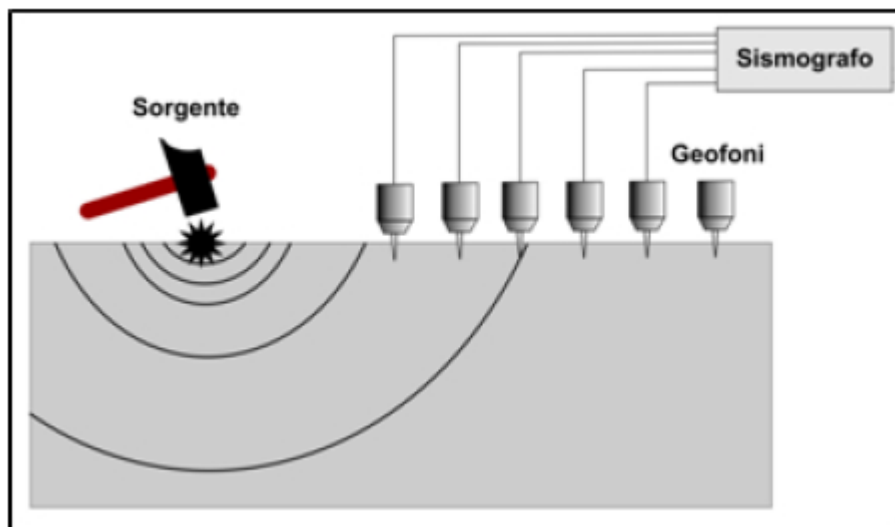
Una volta individuata la sequenza di frequenze e velocità di fase corrispondenti alla più probabile distribuzione della dispersione nel sottosuolo esaminato (analisi della curva di dispersione), si procede alla ricostruzione della stratigrafia rappresentativa della distribuzione delle velocità delle onde S tramite l'utilizzo di un algoritmo d'inversione.

La tecnica di prospezione MASW può essere così schematizzata:

1. Acquisizione delle onde superficiali ponendo una distanza intergeofonica costante;
2. Costruzione delle curve di dispersione per ogni verticale (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
3. Inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs;
4. Costruzione del profilo di velocità delle onde S;

3.1 ACQUISIZIONE

Le indagini MASW vengono eseguite disponendo sul terreno un numero soddisfacente di sensori (24 geofoni), posti ad intervallo costante (nel caso in esame 5 m), collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare. Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (punto di scoppio): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (trigger). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con frequenza di campionamento dell'ordine di millisecondi e intervallo di campionamento pari ad almeno 1 secondo. Nel caso in esame, per la base sismica sono stati effettuati N. 1 punti di energizzazione (shot) lungo il lato estremo dello stendimento sismico, più precisamente ad offset di 5 metri rispetto al primo geofono.



Schematizzazione stendimento sismico di tipo Masw.

3.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Lo strumento utilizzato per l'indagine in oggetto è un PASI GEA-24, un compatto sismografo a 24 canali (serializzabile fino a 48 can.) con scheda di acquisizione 24 bit e interfaccia USB per PC esterno. Le caratteristiche principali sono mostrate in figura 4.2.1 (https://www.pasisrl.it/ftp/prd/pdf/Gea_24-IT.pdf). Tale strumento è associato ad un sistema di ricezione composto da 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz e ad un sistema di triggering costituito da un geofono starter o un apparato piezoelettrico collegato alla massa battente. Nelle acquisizioni in esame il circuito elettrico viene chiuso mediante un geofono starter (posizionato in aderenza alla piastra di battuta e collegato allo strumento in modo da garantire uno scarto di errore sul "Tempo Zero" non superiore a 1msec), che nell'istante in cui il sistema energizzante (mazza di 8 kg e/o energizzatore sismico ISOTTA) colpisce la base di battuta, consente ad un condensatore di scaricare la carica precedentemente immagazzinata e la produzione di un impulso della durata di qualche secondo che viene inviato al sensore collegato al sistema di acquisizione dati.

SPECIFICHE TECNICHE GEA 24	
Numero di canali	24 can.+trigger (can. AUX) - 2 unità serializzabili per un tot. di 48 can.
Conversione Dati	Convertitore Analogico/Digitale Sigma-Delta 24 bit reali (compatibile con geofoni analogici a qualsiasi frequenza di risonanza)
Intervallo Campionamento	Acquisizioni "a pacchetto": - fino a 125 microsec (8000sps) con 24 can. - fino a 31.25 microsec (32000sps) con 6 can. Acquisizione continua: - fino a 4000 microsec (250sps) con 24 can. - fino a 500 microsec (2000sps) con 3 can.
Lunghezza Acquisizione	27500 campioni @ 24 can. (+aux) 174500 campioni @ 3 can. (+aux) Numero di campioni illimitato per acquisizioni continue
Guadagno Preamp.	0/52 dB, selezionabile via software
Stacking	Numero di stacking illimitato
Impedenza di ingresso	2MΩ // 22nF
Range Dinamico	144dB (sistema); >117dB (istantaneo, misurato @1ksps)
Distorsione	0.007% @16kHz
Largh.Banda -3dB Largh.Banda +/- 0.1dB	6.8kHz@32ksps - 0.21 kHz@1ksps 3.5 kHz@32ksps - 0.11 kHz@1ksps
Filtri	Passa Basso:125-200-500-1000Hz Passa Alto: 10-20-30-40-50-70-100-150-200-300-400Hz
Filtri "Notch"	50-60Hz + armoniche
Trigger	Contatto normalmente chiuso, normalmente aperto (es. per uso con esplosivo), segnale analogico (geofono starter, starter piezoelettrico), trigger TTL. Sensibilità del trigger regolabile via software
Visualizzazione Tracce	Wiggle-trace (formato oscilloscopio) / area variabile
Noise-monitor	Tutti i canali + trigger
Canale AUX (ausiliario)	1x (per il trigger o qualsiasi altro segnale in ingresso)
Interfaccia comunicazione	1x USB 2.0 per PC esterno (di fornitura Cliente)
Formato Dati	SEG2, SAF (altri formati su richiesta)
Alimentazione	5VDC da USB, 0.25A
Temp.operativa/stoccaggio	-30°C to +80°C
Umidità	80% umidità relativa, non condensante
Dimensioni	24cm x19.5cm x11cm
Peso	2 Kg

Scheda riassuntiva delle specifiche tecniche del Pasi GEA – 24

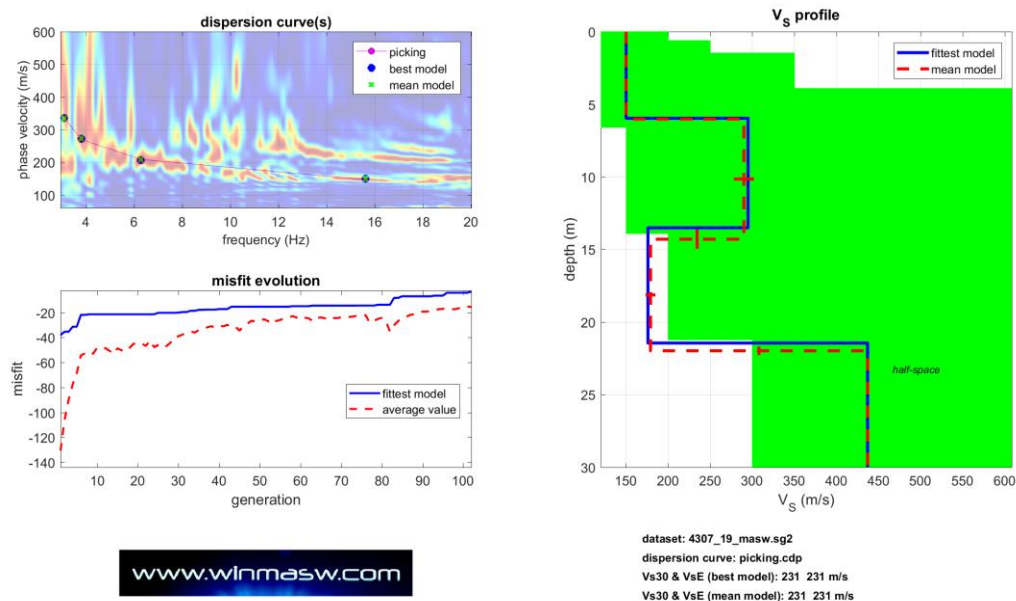
3.3 ELABORAZIONE

I dati acquisiti sono stati elaborati (determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime) per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V_s). Il dataset appare dominato dal modo fondamentale delle onde di Rayleigh, con alcuni segnali a frequenze superiori a 25 Hz pertinenti al modo fondamentale.

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software winMASW 3C (www.eliosoft.it).

Di seguito si riporta l'acquisizione e il relativo spettro di velocità calcolato per la MASW eseguita.

MASW



In alto a sinistra lo spettro di velocità di fase in funzione della frequenza delle onde superficiali di Rayleigh (immagine di dispersione – over tone image), a destra il modello di velocità delle onde di taglio (Vs) ottenuto dalle curve di dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh (modello automatico).

3.4 RISULTATI

Dall'analisi dei dati sismici relativi alla prova MASW, si è ottenuto un riscontro abbastanza coerente con l'assetto geologico che caratterizza l'area in studio.

In ottemperanza alle NTC 2018 “Aggiornamento delle nuove Norme Tecniche per la Costruzioni di cui al D.M. 17 Gennaio 2018” la classificazione del sito è stata ottenuta sulla base del valore delle velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, cioè la media pesata delle velocità delle onde S negli strati nei primi metri di profondità dal piano di posa della fondazione, secondo la relazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{strato=1}^N \frac{h(strato)}{V_s(strato)}}$$

Dove N è il numero di strati individuabili nei primi metri di suolo, ciascuno caratterizzato dallo spessore h (strato) e dalla velocità delle onde S V_s (strato). Per H si intende la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde

di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si può fare riferimento a un approccio che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Secondo le NTC 2018 si identificano le seguenti categorie di Sottosuolo:

- **Categoria 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.

- **Categoria 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.

- **Categoria 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.

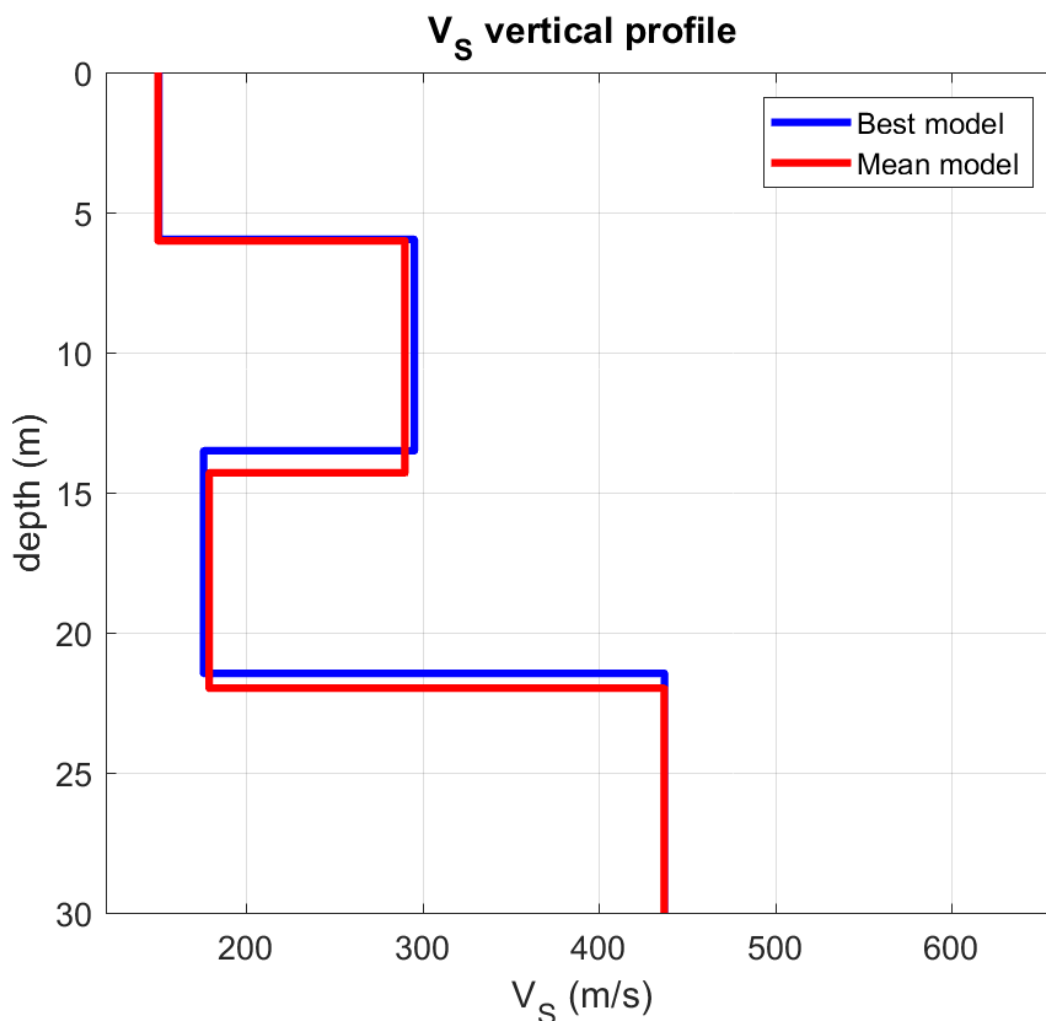
- **Categoria D**

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 m/s e 180 m/s.

- **Categoria 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 30m.

Dall'interpretazione dei profili verticali di velocità delle onde di taglio, si sono ottenuti dei valori di velocità delle onde S caratteristici dei depositi presenti; si nota un progressivo aumento della velocità di propagazione delle onde di taglio fino ad una profondità di circa 17 metri oltre la quale si ha un salto di velocità fino alle massime profondità indagate senza il raggiungimento del substrato sismico.



Spessore (m)	Velocità onde di taglio (m/s)
6.00	150
7.50	295
7.90	176
semispazio	437

Il calcolo della V_s eq. è stato eseguito mediante l'utilities "Vs30 at foundation" del Software WinMasw. In base ai valori della V_s , eq. calcolata sulle caratteristiche del modello di sottosuolo (Profondità complessiva 30 m), ricavato dall'inversione dei dati sismici di campagna, non è stato individuato il bedrock sismico (velocità delle onde s maggiori di 800 m/sec.). In tale contesto è stata utilizzata una profondità fondale pari a 0 m dal p.c., ottenendo dei valori del parametro $V_{s_{eq}}$ pari a 231 m/s, valori che ai sensi delle NTC2018 classificano i terreni di fondazione nella categoria di sottosuolo di **tipo C**, ossia *"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"*.

4. INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSR)

Le indagini geognostiche indirette hanno come obiettivo la misura della variazione di determinate caratteristiche e permettono di risalire successivamente alla definizione del terreno e ricostruire il profilo stratigrafico. In particolare, la posizione di un eventuale basamento roccioso o substrato resistente. Nel caso specifico è stato usato il metodo Geosismico con cui si sono stimate le onde sismiche di compressione (P) e le frequenze di risonanza con il metodo di sismica passiva.

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo Vs30 attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta *Long Period*, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre “*long*”, che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a *tapering* e/o lisciamiento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di *windowing*.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore

assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo Vs30.

4.1 ACQUISIZIONE

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un geofono 3D per l'esecuzione di sismica passiva (PASI STG-2Hz). Le caratteristiche principali sono le seguenti:

- Freq. nat. di risonanza $2 \text{ Hz} \pm 10\%$
- Sensibilità $2 \text{ V/cm} \cdot \text{S}^{-1} \pm 5\%$
- Resistenza interna $5.8 \text{ k}\Omega \pm 5\%$
- Damping $0.7 \pm 10\%$
- Distorsione armonica $\leq 0.2\%$
- Impedenza d'ingresso $\geq 10 \text{ M}\Omega$
- Temperatura operativa da -25°C a $+55^{\circ}\text{C}$
- Dimensioni Diam. 128 mm h. 175mm
- Peso 2.3 Kg

Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Tali geofoni sono in grado di percepire i microtrempi che sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, in quanto, in misura molto maggiore sono formati da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

L'indagine è stata suddivisa in due fasi distinte in un primo posizionamento e verifica di funzionalità dello strumento e una seconda di acquisizione con un tempo di registrazione di circa 25 minuti. Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

4.2 GENERALITÀ ED ESECUZIONE PROVE HVSR

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSR) basati sulla simulazione del campo di onde di

superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981).

Operativamente si costruisce un modello teorico HVSR avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Ottenuti gli spettri di risposta si procede con l'inversione che richiede l'analisi delle singole componenti (XYZ) e l'analisi del rapporto HV. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, sfrutta la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti HV misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D.

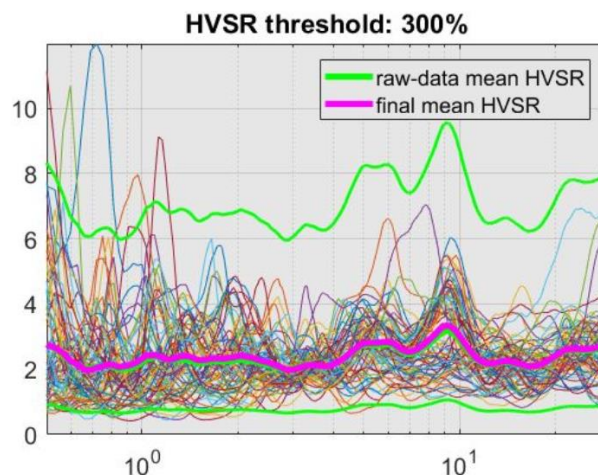
Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs. Sapendo che in generale esiste una relazione semplice fra frequenza fondamentale, spessore della parte più soffice del terreno (ovvero la parte di materiali sovrastante il bedrock) e la velocità media (Vs) delle onde sismiche nel sottosuolo, attraverso le misure HVSR è possibile risalire allo spessore degli strati in esame.

Tuttavia essendo questa tipologia d'indagine per lo più preliminare, non sempre si dispone del parametro "Vs media" da inserire nella relazione. In questi casi è comunque possibile effettuare delle considerazioni di tipo qualitativo, comunque molto utili nella programmazione delle successive indagini. Infine, è possibile verificare possibili interferenze tra le frequenze risonanti del suolo e degli edifici sovrastanti.

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software winMASW 3C (www.eliosoft.it).

Nel caso specifico si è cercato di correlare i valori di picco dello spettro di risposta HVSR con le frequenze fondamentali di risonanza del sito. Naturalmente, la complessità stratigrafica del sottosuolo produce curve H/V sperimentali con svariati picchi, per le quali non è possibile applicare un modello semplice. Tuttavia, attraverso il confronto delle curve sperimentali con curve H/V sintetiche, è possibile derivare profili di velocità delle onde di taglio S nel sottosuolo, in presenza di adeguati vincoli, ottenuti da prove geognostiche dirette o da altre indagini geofisiche.

Si elaborano in maniera grafica le curve H/V (Figura seguente), i cui massimi sono legati alle frequenze di risonanza del terreno. La frequenza alla quale si ha il picco è prossima alla frequenza di risonanza del deposito di terreno.



Esempio di applicazione del metodo H/V. In figura la curva H/V media (in magenta) e curve di confidenza (in verde).

Le procedure di esecuzione e le fasi di interpretazione delle prove HVSR vengono dettagliatamente descritte in un documento estratto dal SESAME European Project (*European Site Effect Assessment using Ambient Excitations project*).

4.3 ANALISI DEI DATI SPERIMENTALI DI PROVE HVSR CON L'UTILIZZO DEL SOFTWARE WINMASW 3C

In generale, il software winMasw 3C è utilizzato per l'elaborazione di prove MASW e prove HVSR. In questa trattazione, il programma è stato applicato nell'interpretazione di prove HVSR effettuate per il sito in oggetto.

Si importano nel programma i dati acquisiti, distinti nelle tre componenti North, East e Vertical e si avvia un'analisi spettrale con l'individuazione nei segnali stessi di sottofinestre di campionamento nel rispetto del criterio di stazionarietà.

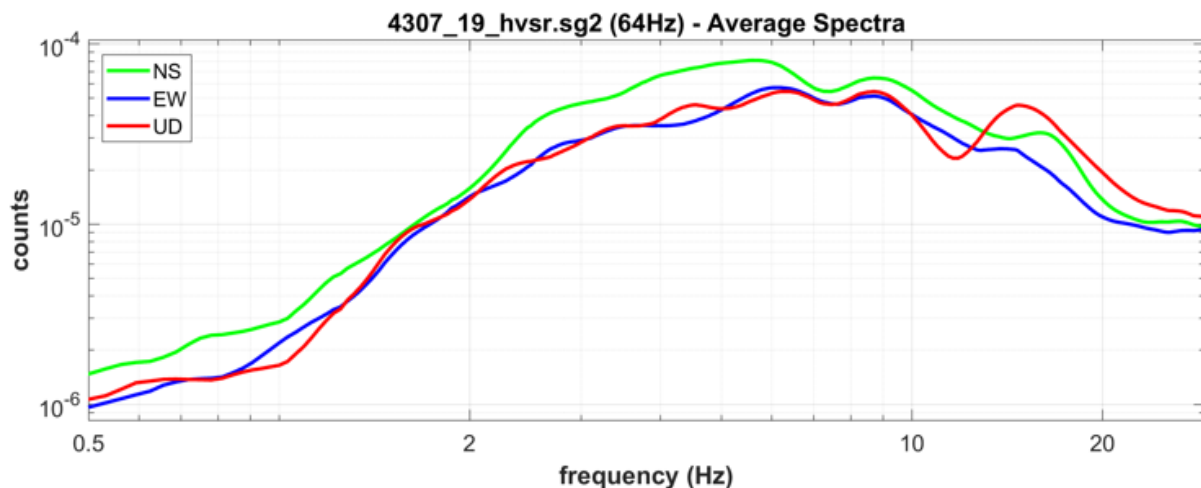


Grafico degli spettri

Il processamento dei dati sperimentali avviene impostando i seguenti parametri:

- *Scelta delle lunghezze delle finestre temporali*

Si definisce la durata delle finestre temporali di tipo at least (durata temporale variabile tra un valore minimo ed un valore massimo), in modo tale da individuare finestre quasi stazionarie e di dimensione variabile.

- *Algoritmo anti-trigger*

Applicato sia sul segnale grezzo che filtrato e consente di eliminare i transienti energetici dai segnali.

- *Scelta del filtro*

Si seleziona un filtro high pass a 2 Hz, che rimuove tutte le componenti dei segnali con frequenza inferiore alla soglia definita.

- *Scelta delle frequenze di campionamento di interesse*

Data la frequenza di campionamento pari a 125 Hz per le prove in esame, per il teorema di Nyquist, la frequenza massima visualizzabile è pari alla metà della frequenza di campionamento: 62.5 Hz

Il limite inferiore di frequenza invece è scelto sulla base della sensibilità degli strumenti utilizzati: 2 Hz.

L'elaborazione restituisce gli spettri H/V, in cui si visualizzano:

- curva H/V media (linea nera continua);
- curve di confidenza (linee nere tratteggiate), ottenute moltiplicando e dividendo il rapporto H/V medio con la deviazione standard dei valori delle singole curve H/V;
- curve H/V colorate, corrispondenti a ogni finestra stazionaria;
- banda grigia, che evidenzia la frequenza fondamentale f_0 della curva H/V media.

4.4 CRITERI DI SESAME: ATTENDIBILITÀ ED AFFIDABILITÀ DELLE PROVE H/V

Come precedentemente esposto, le linee guida di esecuzione ed interpretazione delle indagini HVSR sono enunciate nel documento ufficiale SESAME H/V User Guidelines.

Sulla base delle raccomandazioni empiriche presenti, si effettua un'analisi statistica della qualità dei dati sperimentali delle prove HVSR. Nel caso in cui i criteri non siano rispettati, questo non soddisfacimento non esclude necessariamente l'utilizzo dei dati sperimentali delle prove. In questo caso, i criteri diventano utili nella valutazione dell'efficacia delle indagini stesse in termini geofisici.

Nella figura seguente si illustrano i criteri da applicare, distinti rispettivamente in:

- Criteri di affidabilità della curva H/V: affidabilità della curva nella sua totalità e correttezza nella scelta delle finestre temporali;
- Criteri di chiarezza del picco H/V: da valutare rispetto le frequenze circostanti la f_0 e sia in termini di stabilità nei rapporti H/V delle relative finestre.

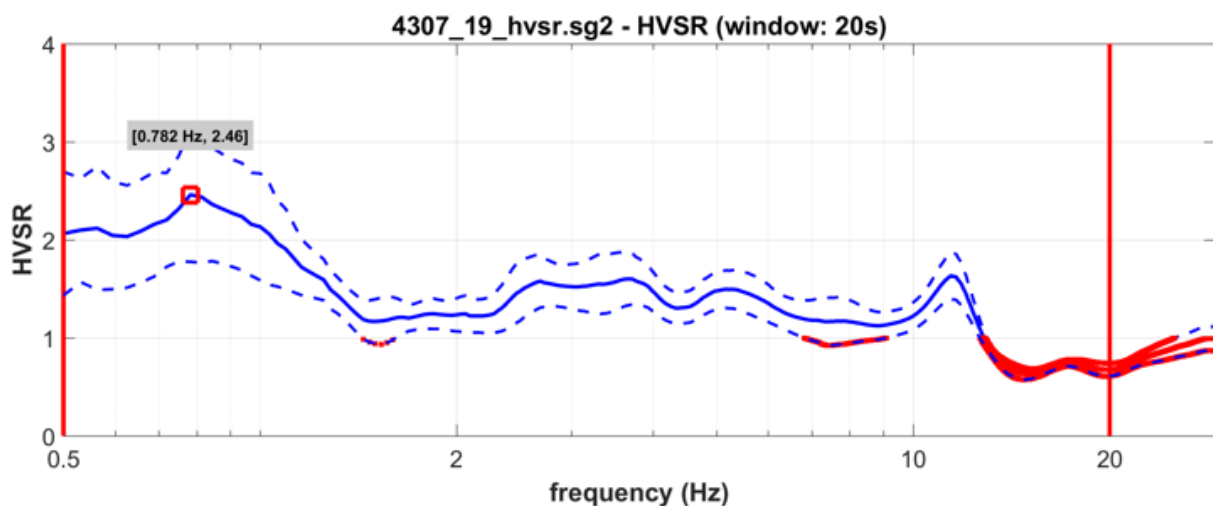
Criteria for a reliable H/V curve i) $f_0 > 10 / l_w$ and ii) $n_c(f_0) > 200$ and iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	l_w = window length n_w = number of windows selected for the average H/V curve $n_c = l_w \cdot n_w$. f_0 = number of significant cycles f = current frequency f_{sensor} = sensor cut-off frequency f_0 = H/V peak frequency σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$) $\varepsilon(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_f \leq \varepsilon(f_0)$ A_0 = H/V peak amplitude at frequency f_0 $A_{H/V}(f)$ = H/V curve amplitude at frequency f f^- = frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ f^+ = frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ $\sigma_A(f)$ = "standard deviation" of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided $\sigma_{\log H/V}(f)$ = standard deviation of the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer h = depth to bedrock $h_{\min}$ = lower-bound estimate of h
Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled) i) $\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ ii) $\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ iii) $A_0 > 2$ iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	

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

Criteria di SESAME – Estratto dal documento SESAME H/V User Guidelines.

4.5 INTERPRETAZIONE PROVA HVSR

Per l'indagine sismica passiva HVSR, i dati acquisiti ed importati in winMASW 3C non mostrano un picco nel grafico (H/V, f), nella range di frequenze considerate.



Curva H/V. Prova HVSR

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5H$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5H$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

Il dato sperimentale della prova HVSR non soddisfa completamente i criteri di SESAME in termini di chiarezza del picco H/V.

Il fatto che non ci sia un picco H/V (>2) nel range di frequenze considerate, collima con l'assetto geologico dell'area in quanto si ha una spessa successione di depositi alluvionali che non genera forti contrasti di impedenza acustica, che a loro volta possono generare un picco nel rapporto H/V.

5. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi) misurando il numero di colpi N necessari. Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura);

- avanzamento (penetrazione);
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

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

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

Nel caso specifico è stato utilizzato un penetrometro tipo MEDIO (DPM) secondo la classificazione ISSMFE (1988) relativa ai penetrometri dinamici.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico *Dynamic Probing* della GeoStru Software. Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini (1983) - Meyerhof (1956) - Desai (1968) - Borowczyk-Frankowsky (1981).

5.1 PROVA PENETROMETRICA DINAMICA (DPM) NR.1

Strumento utilizzato... GeoDeepDrill DM30

Prova eseguita in data 20/11/2024

Profondità prova 7.00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Di seguito i parametri geotecnici derivanti dalla prova penetrometrica eseguita, ottenuta a seguito di correlazioni del parametro NSPT opportunamente scelte in base alla natura litologica dei terreni:

Descrizione	Profondità (m)	Peso di volume (t/m ³)	Peso di volume saturo (t/m ³)	Modulo di Young (kg/cm ²)	Modulo edometrico (kg/cm ²)	Coesione efficace (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo di attrito (°)	Classificazione AGI
Copertura	0.00 - 1.00	1.75	1.80	54.00	56.87	0.01	0.34	21	MODERAT. CONSISTENTE
Argilla sabbiosa	1.00 - 3.70	1.70	1.75	29.00	31.37	0.01	0.18	21	POCO CONSISTENTE
Argilla sabbiosa	3.70 - 6.00	1.75	1.80	117.10	121.23	0.03	0.79	23	CONSISTENTE
Argilla sabbiosa	6.00 - 7.00	1.80	1.85	145.40	150.09	0.04	0.98	24	CONSISTENTE

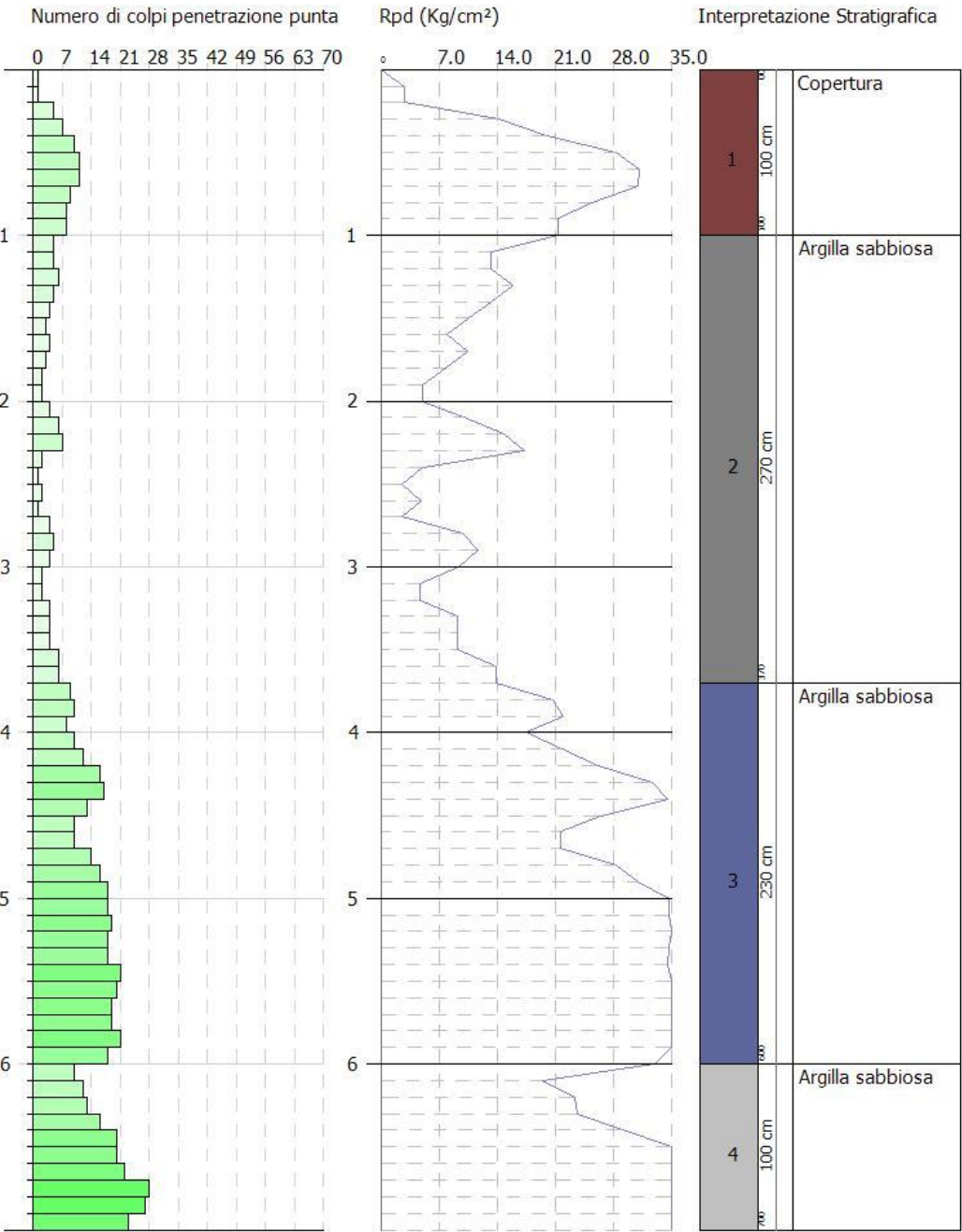
GEOSTRU
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS
COMPANY
.....

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPM 1
Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)

Committente: SNAM RETE GAS
Descrizione:
Localita':

20/11/2024

Scala 1:35



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

Stratigrafia prova penetrometrica Nr.1

6. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Da una preliminare ricerca bibliografica sull'inquadramento geologico generale dell'area in esame, da rilievi speditivi pre-acquisizione sismica e da indagini di tipo indiretto si è riuscito a ricostruire un assetto stratigrafico generale. Ciò ha contribuito a far elaborare ed interpretare in maniera univoca le indagini acquisite in situ.

Il log stratigrafico estrapolato dalle prove penetrometriche mette in evidenza, dal p.c. fino alla profondità di 7 m, la presenza di depositi il cui grado di consistenza risulta essere medio e varia in base alla percentuale di frazione fine presente. Si registra un aumento di colpi con la profondità tranne che per l'intervallo compreso tra 1.00 e 3.00 m circa, che si traduce in una variabilità delle caratteristiche meccaniche dei depositi indagati. In generale i depositi sono comunque discretamente buoni dal punto di vista meccanico.

L'indagine sismica di tipo MASW ha consentito di determinare il profilo sismostratigrafico del sottosuolo, da cui è stata estrapolata la categoria di sottosuolo, che è di tipo C.

Dall'indagine HVSR, coerentemente con l'assetto geologico dell'area non è stato rilevato un picco H/V nel range di frequenze considerate, a conferma della presenza di depositi alluvionali che non generano contrasti di impedenza acustica, che a loro volta potrebbero generare picchi del rapporto H/V.

ANNESSO

Report sulle prove penetrometriche

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

(DYNAMIC PROBING)

DPL-DPM-DPH-DPSH

1.1.1.1 Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

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

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

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

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

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

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

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

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

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

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

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

penetrometri in uso in Italia

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

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento d = 10 cm, punta conica (a=60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento d = 10 cm, punta conica (a= 60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento d=30 cm, punta conica (a = 60°), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento d=20-30 cm, punta conica conica (a = 60°-90°) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm², rivestimento / fango bentonitico: talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

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

$$NSPT = \beta_t \cdot N$$

Dove:

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

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

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

in cui

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

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

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

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

Calcolo di $(N_1)_{60}$

$(N_1)_{60}$ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = CN \cdot N_{60} \quad \text{con } CN = \sqrt{(Pa'/\sigma_{v0})} \quad CN < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

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

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

Metodologia di Elaborazione

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

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

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

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

In particolare, consente di ottenere informazioni su:

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

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

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

Media

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

Media minima

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

Massimo

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

Minimo

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

Scarto quadratico medio

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

Media deviata

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

Media (+ s)

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

Media (– s)

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

Distribuzione normale R.C.

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

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

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

Distribuzione normale R.N.C.

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

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

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

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

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

Correzione N_{spt} in presenza di falda

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

N_{spt} è il valore medio nello strato

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

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof (1956) - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m per terreni sopra falda e < 8 m per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq)
- Meyerhof (1956) - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers (1961) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m per terreni in falda) $s > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38° .
- Malcev (1964) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann (1977) - Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %.
- Shioi-Fukuni (1982) - ROAD BRIDGE SPECIFICATION, Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONAL RAILWAY, Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose.
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 m per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof (1965) - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 m e con (%) di limo > 5% a profondità < 3 m.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

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

Modulo Di Young (E_y)

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

Modulo Edometrico

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

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

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

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

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck (1948-1967)

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

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

Velocità onde di taglio V_s (m/s)

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

Modulo di deformazione di taglio (G)

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

Modulo di reazione (Ko)

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

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)

- Robertson (1983) - Qc

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli - correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA (1983).
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). C_u (min-max).
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (C_u - N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c = 20$ e $Q_c/N_{spt} = 2$.
- Schmertmann (1975), C_u (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher (1965), (Argilla di Chicago). Coesione non drenata C_u (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.

- Shioi-Fukuni (1982), valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson (1983) - Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (M_o)

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

Modulo Di Young (E_Y)

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

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

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

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA ...DPM 1

Strumento utilizzato... DPM (DL030 10) (Medium)
Prova eseguita in data 20/11/2024
Profondita' prova 7.00 mt
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondita' (m)	Nr. Colpi	Nr. Colpi Rivestimento	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0.10	1	0	0.857	2.86	3.34	∞	∞
0.20	1	0	0.855	2.85	3.34	∞	∞
0.30	5	0	0.853	14.24	16.70	∞	∞
0.40	7	0	0.851	19.89	23.38	∞	∞
0.50	10	0	0.849	28.35	33.40	∞	∞
0.60	11	0	0.847	31.11	36.73	∞	∞
0.70	11	0	0.845	31.05	36.73	∞	∞
0.80	9	0	0.843	25.35	30.06	∞	∞
0.90	8	0	0.842	21.33	25.35	∞	∞
1.00	8	0	0.840	21.29	25.35	∞	∞
1.10	5	0	0.838	13.28	15.85	∞	∞
1.20	5	0	0.836	13.25	15.85	∞	∞
1.30	6	0	0.835	15.87	19.01	∞	∞
1.40	5	0	0.833	13.20	15.85	∞	∞
1.50	4	0	0.831	10.54	12.68	∞	∞
1.60	3	0	0.830	7.89	9.51	∞	∞
1.70	4	0	0.828	10.49	12.68	∞	∞
1.80	3	0	0.826	7.86	9.51	∞	∞
1.90	2	0	0.825	4.97	6.03	∞	∞
2.00	2	0	0.823	4.96	6.03	∞	∞
2.10	4	0	0.822	9.91	12.06	∞	∞
2.20	6	0	0.820	14.84	18.09	∞	∞
2.30	7	0	0.819	17.28	21.11	∞	∞
2.40	2	0	0.817	4.93	6.03	∞	∞
2.50	1	0	0.816	2.46	3.02	∞	∞
2.60	2	0	0.814	4.91	6.03	∞	∞
2.70	1	0	0.813	2.45	3.02	∞	∞
2.80	4	0	0.811	9.79	12.06	∞	∞
2.90	5	0	0.810	11.65	14.38	∞	∞
3.00	4	0	0.809	9.30	11.50	∞	∞
3.10	2	0	0.807	4.64	5.75	∞	∞
3.20	2	0	0.806	4.64	5.75	∞	∞
3.30	4	0	0.805	9.26	11.50	∞	∞
3.40	4	0	0.803	9.24	11.50	∞	∞
3.50	4	0	0.802	9.23	11.50	∞	∞
3.60	6	0	0.801	13.82	17.25	∞	∞
3.70	6	0	0.800	13.80	17.25	∞	∞
3.80	9	0	0.798	20.66	25.88	∞	∞
3.90	10	0	0.797	21.91	27.48	∞	∞
4.00	8	0	0.796	17.50	21.98	∞	∞
4.10	10	0	0.795	21.84	27.48	∞	∞
4.20	12	0	0.794	26.17	32.98	∞	∞
4.30	16	0	0.743	32.65	43.97	∞	∞

4.40	17	0	0.741	34.64	46.72	∞	∞
4.50	13	0	0.740	26.45	35.73	∞	∞
4.60	10	0	0.789	21.69	27.48	∞	∞
4.70	10	0	0.788	21.66	27.48	∞	∞
4.80	14	0	0.737	28.36	38.47	∞	∞
4.90	16	0	0.736	30.99	42.11	∞	∞
5.00	18	0	0.735	34.82	47.37	∞	∞
5.10	18	0	0.734	34.77	47.37	∞	∞
5.20	19	0	0.733	36.65	50.00	∞	∞
5.30	18	0	0.732	34.67	47.37	∞	∞
5.40	18	0	0.731	34.63	47.37	∞	∞
5.50	21	0	0.680	37.58	55.26	∞	∞
5.60	20	0	0.729	38.38	52.63	∞	∞
5.70	19	0	0.728	36.41	50.00	∞	∞
5.80	19	0	0.727	36.36	50.00	∞	∞
5.90	21	0	0.676	35.86	53.02	∞	∞
6.00	18	0	0.725	32.97	45.44	∞	∞
6.10	10	0	0.775	19.55	25.25	∞	∞
6.20	12	0	0.774	23.44	30.29	∞	∞
6.30	13	0	0.723	23.72	32.82	∞	∞
6.40	16	0	0.722	29.16	40.39	∞	∞
6.50	20	0	0.721	36.41	50.49	∞	∞
6.60	20	0	0.720	36.37	50.49	∞	∞
6.70	22	0	0.670	37.19	55.54	∞	∞
6.80	28	0	0.669	47.27	70.69	∞	∞
6.90	27	0	0.668	43.75	65.50	∞	∞
7.00	23	0	0.667	37.22	55.80	∞	∞

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unita' di volume (t/m ³)	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
1	7.1	23.44	Incoerente - coesivo	0	1.78	1.88	0.09	0.76	5.4	Copertura
3.7	3.81	11.51	Incoerente - coesivo	0	1.63	1.86	0.4	0.76	2.9	Argilla sabbiosa
6	15.39	41.03	Incoerente - coesivo	0	2.01	2.21	0.85	0.76	11.71	Argilla sabbiosa
7	19.1	47.73	Incoerente - coesivo	0	2.06	2.27	1.18	0.76	14.54	Argilla sabbiosa

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPM 1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Terza ghi-Peck	Sanglerat	Terza ghi-Peck (1948)	U.S.D .M.S. M	Schmertmann 1975	SUN DA (1983) Benassi e Vanelli	Fletcher (1965) Argilla di Chicago	Houston (1960)	Shioi - Fukui 1982	Bege mann	De Beer
[1] - Copertura	5.4	1.00	0.34	0.68	0.25 - 0.50	0.22	0.53	0.70	0.49	0.84	0.27	0.84	0.68
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	0.18	0.36	0.15 - 0.25	0.12	0.28	0.35	0.26	0.65	0.15	0.09	0.36
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	0.79	1.46	0.50 - 1.00	0.47	1.15	1.23	1.03	1.34	0.59	1.23	1.46
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	0.98	1.82	0.50 - 1.00	0.57	1.43	1.43	1.26	1.58	0.73	1.57	1.82

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - Copertura	5.4	1.00	Robertson (1983)	10.80
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	Robertson (1983)	5.80
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	Robertson (1983)	23.42
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	Robertson (1983)	29.08

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Stroud e Butler (1975)	Vesic (1970)	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	Buisman-Sanglerat
[1] - Copertura	5.4	1.00	24.78	81.00	56.87	67.50
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	13.31	43.50	31.37	36.25

[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	53.73	--	121.23	117.10
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	66.71	--	150.09	145.40

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Schultze	Apollonia
[1] - Copertura	5.4	1.00	41.70	54.00
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	12.95	29.00
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	114.27	117.10
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	146.81	145.40

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
[1] - Copertura	5.4	1.00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume (t/m ³)
[1] - Copertura	5.4	1.00	Meyerhof	1.78
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	Meyerhof	1.63
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	Meyerhof	2.01
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	Meyerhof	2.06

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unita' di volume saturo (t/m ³)
[1] - Copertura	5.4	1.00	Meyerhof	1.88
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	Meyerhof	1.86
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	Meyerhof	2.21
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	Meyerhof	2.27

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Copertura	5.4	1.00		0
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70		0
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00		0
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00		0

TERRENI INCOERENTI

Densita' relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Copertura	5.4	1.00	26.58	54.94	72.23	21.89
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	10.66	34.13	36.24	15.02
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	29.65	57.73	57.91	36.64
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	30.15	58.35	58.88	42.17

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corret to per prese nza falda	Peck- Hans on- Thorn burn- Meye rhof 1956	Meye rhof (1956)	Sowe rs (1961)	Malc ev (1964)	Meye rhof (1965)	Schm ertma nn (1977) Sabb ie	Mitch ell & Katti (1981)	Shioi- Fuku ni 1982 (ROA D BRID GE SPEC IFIC ATIO N)	Japan ese Natio nal Railw ay	De Mello	Owas aki & Iwasa ki
[1] - Coper tura	5.4	1.00	5.4	28.54	21.54	29.51	32.98	31.84	0	<30	24	28.62	25.06	25.39
[2] - Argill a sabb iosa	2.9	3.70	2.9	27.83	20.83	28.81	28.73	30.77	0	<30	21.6	27.87	21.52	22.62
[3] - Argill a	11.71	6.00	11.71	30.35	23.35	31.28	29.34	34.31	36.08	<30	28.25	30.51	25.1	30.3

sabbiosa														
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	14.54	31.15	24.15	32.07	28.97	35.31	36.17	30-32	29.77	31.36	24.65	32.05

Modulo di Young (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appolonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - Copertura	5.4	1.00	5.4	---	43.20	---	---	---
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	2.9	---	23.20	---	---	---
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	11.71	244.26	93.68	138.88	267.83	133.55
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	14.54	272.18	116.32	172.27	289.05	147.70

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - Copertura	5.4	1.00	5.4	---	38.56	38.34	62.08
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	2.9	---	33.42	20.59	50.93
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	11.71	70.26	51.52	83.14	90.23
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	14.54	87.24	57.33	103.23	102.85

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Copertura	5.4	1.00	5.4	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	2.9	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	11.71	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
[4] - Argilla	14.54	7.00	14.54	Classificazione	MODERATAMENTE ADDENSATO

sabbiosa				A.G.I	ENTE ADDENSATO
----------	--	--	--	-------	-------------------

Peso unita' di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' di Volume (t/m ³)
[1] - Copertura	5.4	1.00	5.4	Terzaghi-Peck 1948	1.42
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	2.9	Terzaghi-Peck 1948	1.38
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	11.71	Terzaghi-Peck 1948	1.50
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	14.54	Terzaghi-Peck 1948	1.53

Peso unita' di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unita' Volume Saturo (t/m ³)
[1] - Copertura	5.4	1.00	5.4	Terzaghi-Peck 1948	1.88
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	2.9	Terzaghi-Peck 1948	1.86
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	11.71	Terzaghi-Peck 1948	1.93
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	14.54	Terzaghi-Peck 1948	1.95

Modulo di Poisson

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - Copertura	5.4	1.00	5.4	(A.G.I.)	0.34
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	2.9	(A.G.I.)	0.35
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	11.71	(A.G.I.)	0.33
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	14.54	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - Copertura	5.4	1.00	5.4	317.22	350.27
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	2.9	176.83	239.57
[3] - Argilla	11.71	6.00	11.71	656.68	562.08

sabbiosa					
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	14.54	804.87	641.56

Velocita' onde di taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocita' onde di taglio (m/s)
[1] - Copertura	5.4	1.00	5.4	Ohta & Goto (1978) Limi	80.12
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	2.9	Ohta & Goto (1978) Limi	96.99
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	11.71	Ohta & Goto (1978) Limi	142.01
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	14.54	Ohta & Goto (1978) Limi	156

Liquefazione

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - Copertura	5.4	1.00	5.4	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	2.9	Seed e Idriss (1971)	--
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	11.71	Seed e Idriss (1971)	--
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	14.54	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	K0
[1] - Copertura	5.4	1.00	5.4		---
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	2.9		---
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	11.71		---
[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	14.54		---

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
[1] - Copertura	5.4	1.00	5.4		---
[2] - Argilla sabbiosa	2.9	3.70	2.9		---
[3] - Argilla sabbiosa	11.71	6.00	11.71		---

[4] - Argilla sabbiosa	14.54	7.00	14.54		---
---------------------------	-------	------	-------	--	-----