

dr. umberto pivetta
geologo

Azienda certificata **ISO 9001:2015**
RINA n.5923/01/S IQNet n.IT-19510
Sede legale: Piazza Roma, 19, 32045 S. Stefano di Cadore (BL)
Sede secondaria: Viale Felissert, 20/D, 31020 Villorba (TV)
DBA PRO. tel 0422.318811 fax 0435.429027 tel 0422.318811 fax 0422.518888

REGIONE EMILIA ROMAGNA

COMUNE DI FERRARA

PROVINCIA DI FERRARA

Ampliamento dell' impianto di distribuzione carburanti c/o
l'area di servizio sita in Via Modena, 112

Ditta : **DBA Progetti**

RELAZIONE GEOLOGICA-GEOTECNICA

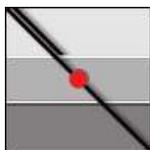
D. del M. delle Infrastrutture 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle " Norme tecniche per le costruzioni".

Data: 20 Marzo 2020

Il relatore

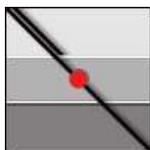


(Geologo Dott. Umberto Pivetta)



Sommario

1 - INTRODUZIONE	2
2 - INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA	3
2.1- UBICAZIONE E CARATTERI GEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI PRINCIPALI	4
3 – INDAGINI IN SITO	7
3.1- PREMESSE.....	7
3.2- PROVE PENETROMETRICHE.....	8
3.2.1 – <i>Penetrometro "Dinamico Medio" DPM – Descrizione del metodo</i>	<i>8</i>
3.2.2 – <i>Risultati dell'indagine - Modello geologico</i>	<i>8</i>
3.2.3 - <i>Modello geotecnico (DM 17 gennaio 2018).....</i>	<i>8</i>
3.2.4 - <i>Liquefazione dei terreni.....</i>	<i>10</i>
3.3 - INDAGINE SISMICA – HVSR (“TROMINO”)	11
3.3.1 - <i>Cenni teorici.....</i>	<i>11</i>
3.3.2 - <i>Interpretazione della misura eseguita</i>	<i>12</i>
3.4 – INDAGINE SISMICA - M.A.S.W.	14
3.4.1 - <i>Premesse.....</i>	<i>14</i>
3.4.2 - <i>Strumentazione e metodologia.....</i>	<i>15</i>
3.4.3 - <i>Interpretazione della misura eseguita</i>	<i>15</i>
3.4.4 - <i>Modello sismico locale.....</i>	<i>16</i>
3.4.5 - <i>Parametri di pericolosità sismica.....</i>	<i>16</i>
4 – RELAZIONE IDROGEOLOGICA RELATIVA ALLO SMALTIMENTO AUTONOMO ACQUE METEORICHE	18



1 - INTRODUZIONE

Su incarico della **DBA Progetti** è stata eseguita un'indagine geologica ed idrogeologica per l'ampliamento dell' impianto di distribuzione carburanti c/o l'area di servizio sita in Via Modena, 112 – FERRARA, con realizzazione di una nuova pensilina e nuovo fabbricato.

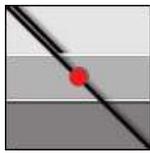
Scopo dell'indagine è anche la verifica della possibilità di smaltimento delle acque meteoriche mediante pozzi perdenti o subirrigazione.

A tal fine é stata effettuata un'indagine sperimentale in sito, che ha richiesto l'esecuzione di:

- **n° 2 Prove Penetrometriche Dinamiche Medie (DPM)** per la ricostruzione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica dei terreni, spinte sino a – 5 m dal p.c.
- **Caratterizzazione sismica del sottosuolo** tramite:
 - prospezione geofisica MASW, stima della velocità di propagazione delle onde sismiche fino a 30 m dal p.c. (Vs30) per l'assegnazione della categoria del suolo di fondazione
 - Indagine geofisica "passiva" a stazione singola – HVSr ("Tromino").
- **Prova di permeabilità in sito**

Con la LEGGE 24 giugno 2009, n. 77, "*Conversione in legge, con modificazioni, del decreto-legge 28 aprile 2009, n. 39, recante interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi sismici nella regione Abruzzo nel mese di aprile 2009 e ulteriori interventi urgenti di protezione civile.* (09G0088) (Suppl. Ordinario n. 99)" - Gazzetta Ufficiale N. 147 del 27 Giugno 2009, entra definitivamente in vigore il **Decreto del Ministero delle Infrastrutture 14 gennaio 2008** (supplemento ordinario n. 30 Gazzetta ufficiale n. 29 del 4 febbraio 2007) recante "**Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni**" che introducendo il concetto di Stato Limite, ovvero la condizione superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata, prevede, per la definizione del grado di sicurezza, un approccio di tipo semiprobabilistico, o di primo livello, adottando i cosiddetti Coefficienti parziali di sicurezza (CP).

Il 22 marzo 2018 é entrato in vigore, a 30 giorni dalla sua pubblicazione nella Gazzetta ufficiale del 20 Febbraio 2018, il **Decreto del Ministero delle Infrastrutture 17 gennaio 2018** - Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", ovvero le NTC 2018.



dr. umberto pivetta
geologo



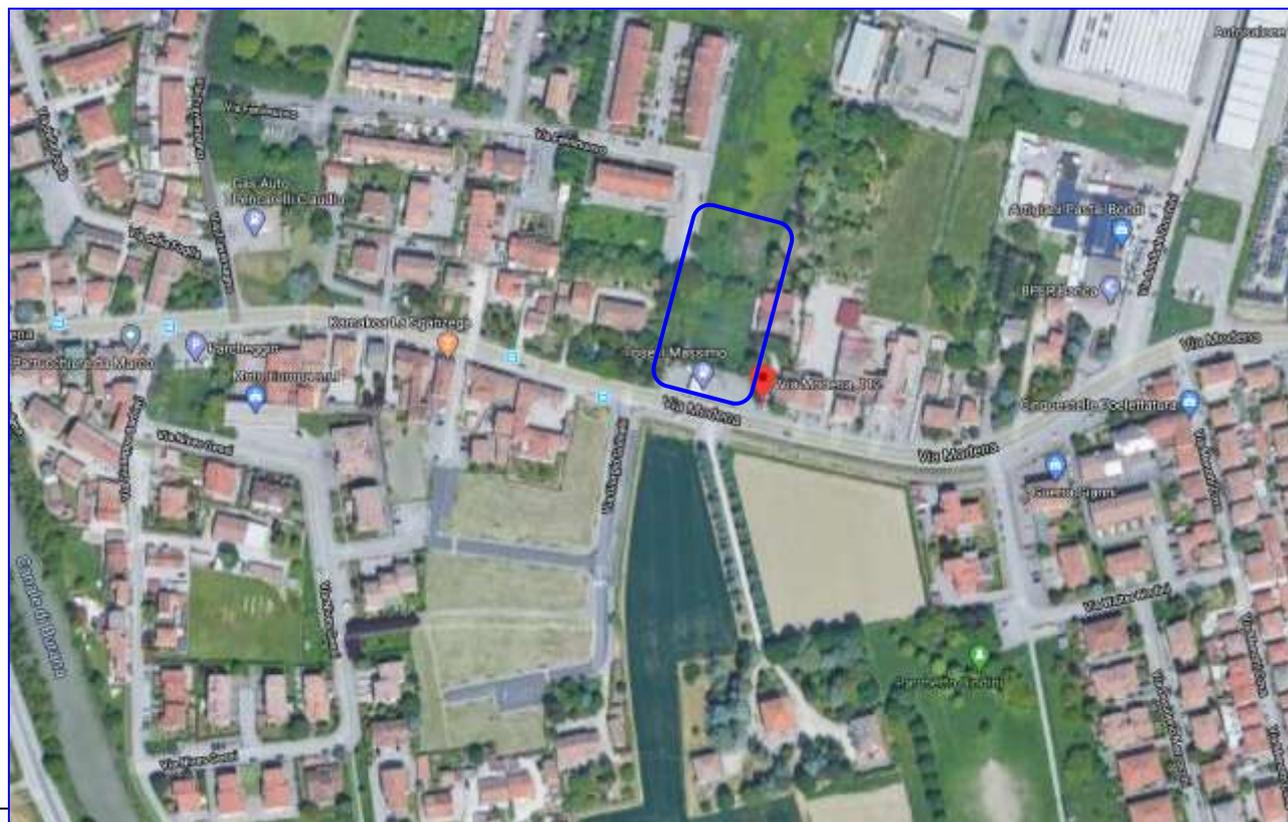
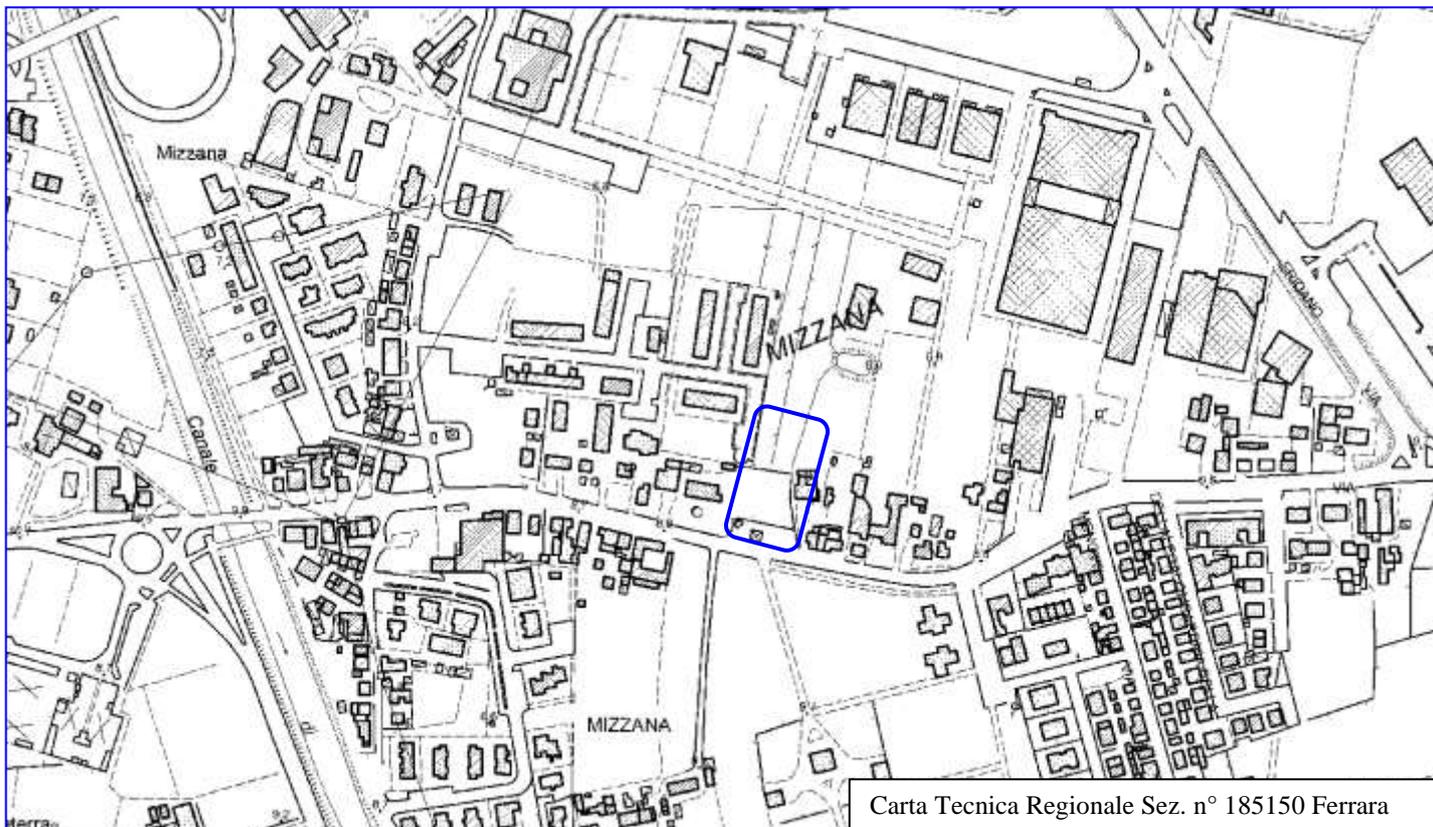
Azienda certificata **ISO 9001:2015**

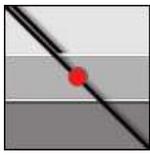
RINA n.5923/01/S IQNet n.IT-19510

Sede legale:
Piazza Roma, 19
32045 S. Stefano di Cadore (BL)
tel 0422.318811 fax 0435.429027

Sede secondaria:
Viale Felissent, 20/D
31020 Villorba (TV)
tel 0422.318811 fax 0422.318888

2 - INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

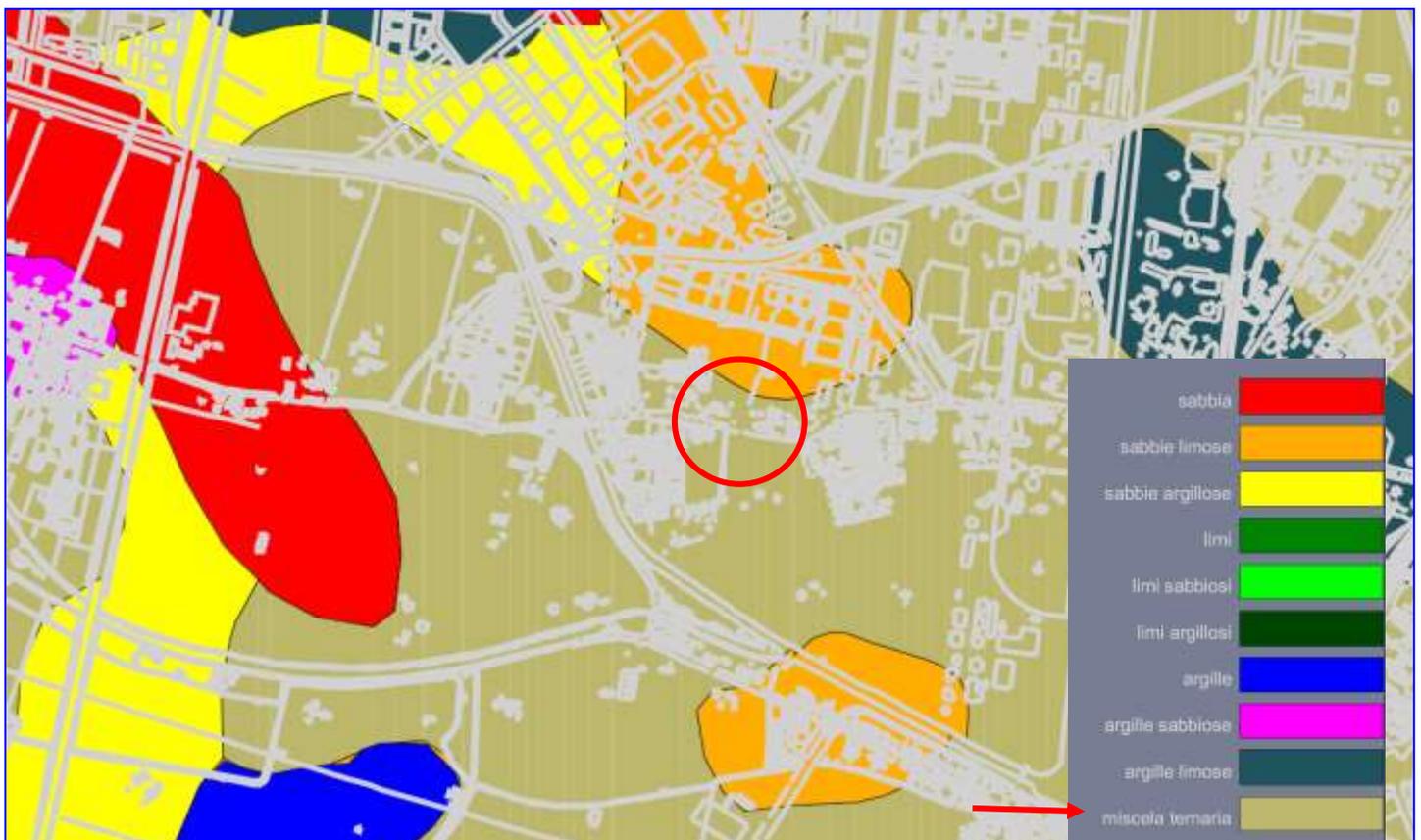




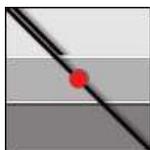
2.1- Ubicazione e caratteri geologici e geomorfologici principali

L'area di servizio in oggetto è situata nella porzione nord-occidentale del centro abitato di Ferrara , ad una quota topografica media di 8 m s.l.m.

La superficie della porzione nord del territorio comunale è interamente formata da sedimenti alluvionali del fiume Po, facenti parte della porzione più recente dell'Olocene. Questi sedimenti sono attribuibili, secondo i criteri della cartografia geologica della Regione Emilia Romagna e del Servizio Geologico Nazionale, al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES), parte alta del Sintema Emiliano Romagnolo (AE) e all'unità di rango gerarchico inferiore definita Unità di Modena (AES8a), che costituisce il tetto stratigrafico del Substema di Ravenna: si tratta di depositi di bassa pianura alluvionale e deltizia, qui rappresentati, come indicato nella CARTA LITOLOGICA del Quadro Conoscitivo del Piano Strutturale Comunale – PSC, e dalla CARTA GEOLITOLOGICA DEL Quadro Conoscitivo Regolamento Edilizio di Ferrara, da una miscela di sabbie-limi ed argille, con locali depositi torbosi.

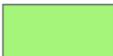
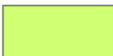
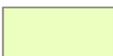


Piano Strutturale Comunale di FERRARA -Carta Litologica

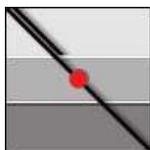


Quadro Conoscitivo Regolamento Edilizio di Ferrara -Carta Geolitologica

Bassa piana alluvionale e deltizia del Po

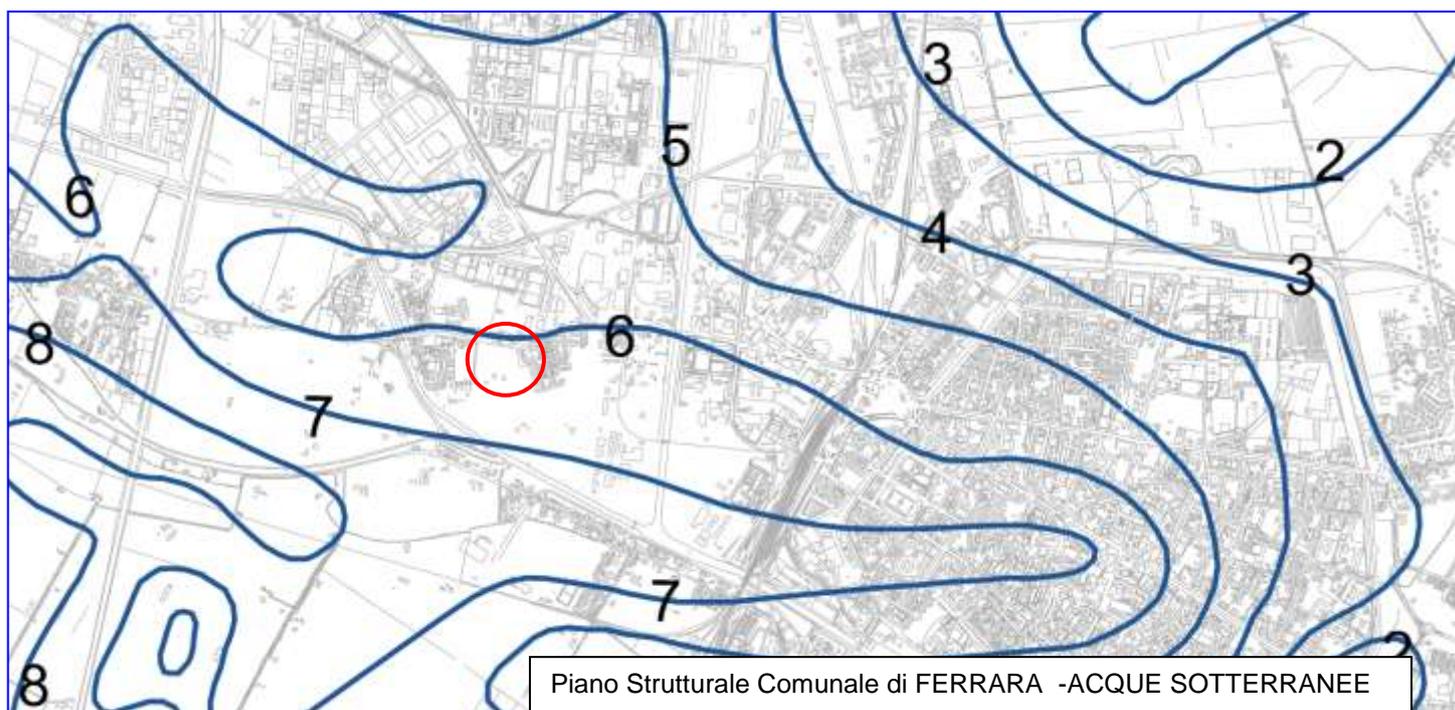
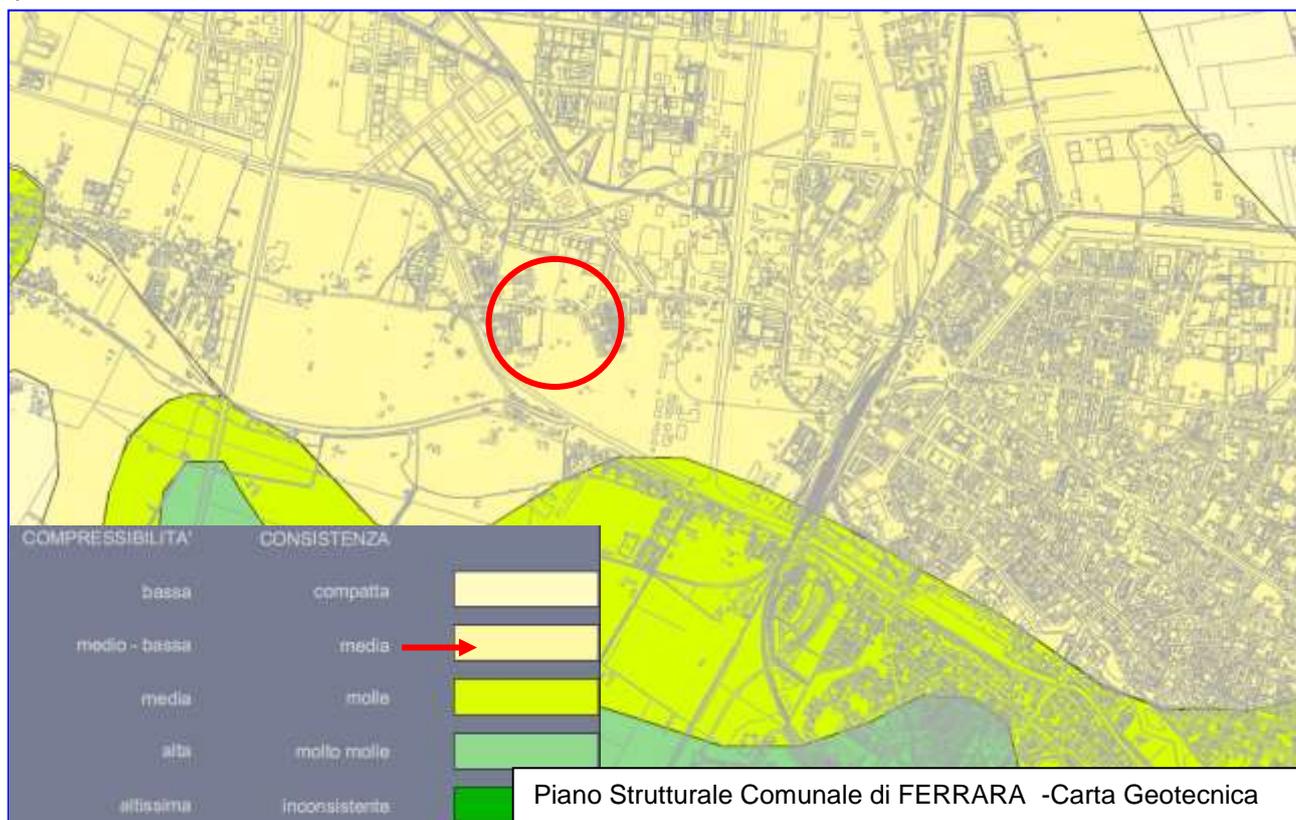
-  Sabbie di riempimento di canale fluviale
-  Sabbie e sabbie limose di riempimento di canale fluviale
-   Limi con sabbie di argine e ventaglio da rotta
-  Limi con sabbie di piana interalvea
-  Argille e argille limose di piana interalvea
-  Argille e argille organiche di depressione interalvea

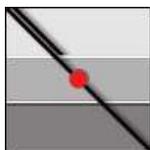
Nella CARTA GEOTECNICA del PSC di Ferrara i terreni sono indicati a consistenza “media” e compressibilità “medio-bassa”.



Nella CARTA ACQUE SOTTERRANEE, Isofreatiche del Luglio 1974, del PSC di Ferrara, la falda è posta ad una quota assoluta di 6 m s.l.m., ovvero a circa 2 m dal piano piazzale del distributore.

E' da considerare che l'ampliamento è previsto in area a quota inferiore di circa 2 metri rispetto a quella del distributore esistente.





3 – INDAGINI IN SITO

3.1- Premesse

Per la caratterizzazione **geotecnica**, **sismica** ed **idrogeologica** dei terreni sono state eseguite:

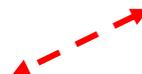
- n° 2 Prove Penetrometriche Dinamiche Medie (DPM) per la ricostruzione stratigrafica e parametrizzazione geotecnica dei terreni
- Caratterizzazione sismica del sottosuolo tramite prospezione geofisica MASW e indagine geofisica “passiva” a stazione singola (HVSr – “Tromino”) per la stima della velocità di propagazione delle onde sismiche fino a 30 m dal p.c. (Vs30) per l’assegnazione della categoria del suolo di fondazione
- N° 1 prova di permeabilità in foro



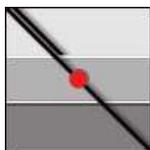
Prove penetrometriche



Tromino - HVSr



Stendimento M.A.S.W.



3.2- Prove penetrometriche

3.2.1 – Penetrometro "Dinamico Medio" DPM – Descrizione del metodo

Per quanto riguarda la Prova Penetrometrica Dinamica, tale test in situ consiste nell'infingere verticalmente nel terreno una punta conica metallica, tramite la battitura da altezza prefissata di un maglio di peso standard; durante la percussione vengono misurati i colpi necessari alla penetrazione della punta per una lunghezza prefissata. Per quanto attiene al Penetrometro Dinamico Medio (DPM), il maglio ha una massa di 30 kg e viene misurato il numero di colpi necessario all'infissione ogni 10 cm, con una altezza di caduta di 0,20 m. Lo strumento utilizzato è ampiamente standardizzato ed i risultati sono facilmente correlabili alla prova SPT (Standard Penetration Test) eseguita in foro di sondaggio prima descritta e similare per modalità, da cui è possibile ricavare i parametri geotecnici necessari a caratterizzare i terreni.

Le specifiche tecniche delle strumentazioni e le modalità esecutive sono codificate da precise norme internazionali, unitamente alle modalità di interpretazione dei dati quantitativi (*rif: Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - AGI 1977*).

3.2.2 – Risultati dell'indagine - Modello geologico

La stratigrafia del terreno di fondazione del sito in esame è stata ottenuta in maniera indiretta dall'interpretazione della prova DPM.

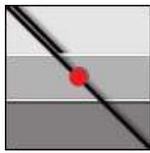
I terreni sono rappresentati da alternanza di argille, variamente sabbiose, e ghiaie sabbiose in matrice argilloso-limosa. Dall'interpretazione delle prove penetrometriche eseguita, ed in particolare della Prova N° 1, i terreni possono essere suddivisi, in base a profondità medie rispetto alla quota del piano di campagna locale, come di seguito riportato:

DPM 1

Orizzonte	Profondità	Litologia correlata
A	0.00 ~ 1,70	Argilla limosa e sabbiosa
B	1.70 ~ 3.30	Sabbia limosa
C	3.30 ~ 3.50	Argilla limosa e sabbiosa
D	3.50 ~ 4.20	Sabbia Limosa
E	4.20 ~ 4.60	Argilla limosa e sabbiosa
F	4.60 ~ 5.00	Sabbia Limosa

3.2.3 - Modello geotecnico (DM 17 gennaio 2018)

Con il passaggio dal DM 11 marzo 1988 alle Norme Tecniche per le Costruzioni, ora aggiornate con il D.M. 17.01.2018, si sostituisce il concetto deterministico con quello probabilistico. In particolare la vecchia normativa prevedeva l'utilizzo dei fattori di sicurezza intesi come riduzione del valore ultimo (da Qult a



Qamm) mentre le NTC adottano un'analisi probabilistica, più precisamente semiprobabilistica, che include l'utilizzo di FS parziali, applicati a valori cautelativi dei parametri di interesse.

Per la determinazione delle caratteristiche meccaniche, è stata utilizzata la correlazione tra N_{10} del Penetrometro Dinamico Medio (DPM) ed il numero di colpi equivalente dello Standard Penetration Test (Nspt) per la quale $N_{10} = Nspt/1,30$. A tal fine, sono stati utilizzati metodi di calcolo riconducibili a vari autori, alcuni dei quali sono riportati a seguire:

- correlazione tra la resistenza al taglio non drenata delle argille ed Nspt: scelta del metodo proposto da Terzaghi e Peck - 1948);

- correlazione, per le sabbie, tra la densità relativa ed Nspt:

a titolo di verifica è stato effettuato il calcolo dei parametri dei terreni granulari direttamente dai risultati delle prove dinamiche correlate alle SPT, utilizzando le correlazioni sotto riportate.

Road Bridge Specification $\Phi = [(15 \times N_{SPT}) * 0.5] + 15$

Owasaki & Iwasaki $\Phi = [(20 \times N_{SPT}) * 0.5] + 15$

Japanese National Railway $\Phi = 0.3 \times N_{SPT} + 27$

Si osserva che i valori assunti rappresentano il risultato della trattazione statistica di un valore empirico derivante da prove penetrometriche correlate alla Nspt, che consente comunque la caratterizzazione meccanica dei terreni e lo studio delle interazioni struttura-terreno.

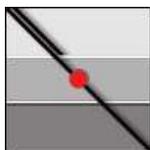
Il valore di progetto, X_d (Cud e ϕ_d nei vari stati limite) sarà quello da utilizzare nelle verifiche e sarà ricavato a partire da un valore caratteristico (X_k : calcolati con medie statistiche e con l'utilizzo di variabili aleatorie) al quale verrà applicato un fattore riduttivo γ_M (FS parziale) tabellato nelle Norme Tecniche.

$$x_k = \bar{x} + t_{0,05}(n-1) \left(\frac{s}{\sqrt{n-1}} \right)$$

I parametri di resistenza penetrometrica medi caratteristici derivati dall'indagine in sito sono di seguito illustrati, limitatamente ai vari orizzonti stratigrafici precedentemente individuati. Per quanto riguarda un dato parametro il valore caratteristico corrisponde ad un valore al di sotto del quale ci si può attendere che si collochi non più del 5% dei valori ottenibili da una serie teoricamente illimitata di prove (5° percentile).

Per la determinazione delle Resistenze di Progetto, possono essere utilizzati i seguenti parametri caratteristici:

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [kN/m³]	Peso unità di volume saturo [kN/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [kN/m²]	Coesione non drenata [kN/m²]	Modulo Elastico [kN/m²]	Modulo Edometrico [kN/m²]	Poisson
1,7	17,06	18,44	0,0	0,0	30,0	4638,55	4906,76	0,0
1,6	14,45	18,8	30,0	0,0	0,0	7570,73	4637,57	0,33
0,2	17,06	18,34	0,0	0,0	30,0	4501,25	4766,72	0,0
0,7	14,39	18,76	30,0	0,0	0,0	7202,0	4542,44	0,34
0,4	17,65	18,44	0,0	0,0	35,0	5629,02	5916,94	0,0
0,4	14,41	18,78	30,0	0,0	0,0	7351,07	4580,69	0,34

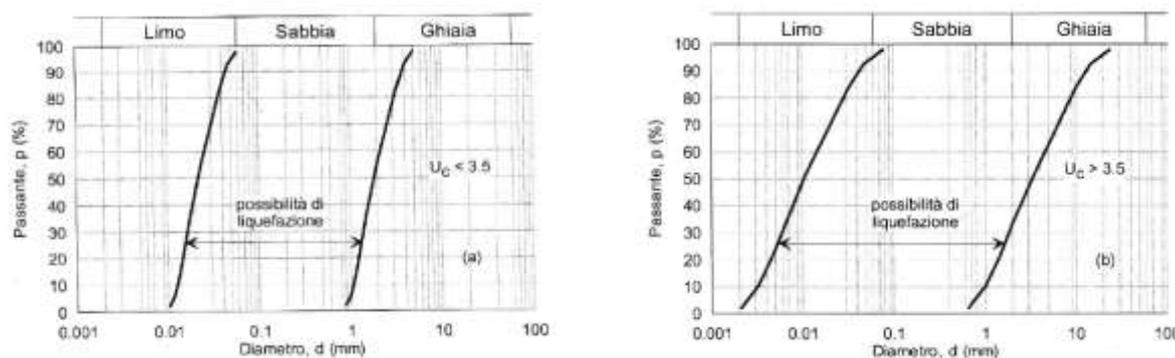


3.2.4 - Liquefazione dei terreni

In base alle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni la progettazione delle opere di fondazione richiede preliminarmente la valutazione della sicurezza del sito nei confronti della liquefazione, si tratta di quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o all'accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate (paragrafo 7.11.3.4 Stabilità nei confronti della liquefazione).

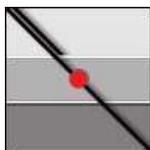
Tale verifica può essere omessa se si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

- Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di campo libero) minori di 0.1g;
- Profondità media della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- Depositi costituiti da sabbie pulite di data resistenza penetrometrica (vedi par. 7.11.3.4.2);
- Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure sottostanti.



Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

Nel caso specifico i terreni di interesse presentano qui una granulometria con frazione sabbiosa del tutto secondaria, con predominanza invece di argille limose, quindi su tali terreni si potrebbe omettere la verifica a liquefazione.



3.3 - Indagine sismica – HVSr (“Tromino”)

Lo scopo di quest’indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, la stima delle velocità delle onde di taglio fino al bedrock sismico o, laddove questo sia più profondo, fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni, a partire dal piano di posa delle fondazioni stesse (V_s,eq) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (N.T.C. ‘18) nonché le frequenze di vibrazione naturali del terreno.

L’indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V. È stata eseguita una registrazione al fine di evidenziare le caratteristiche litostratigrafiche del sito in base ai valori d’impedenza sismica rilevata. Nella presente relazione vengono riportati i risultati ottenuti dall’indagine eseguita.

3.3.1 - Cenni teorici

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSr (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

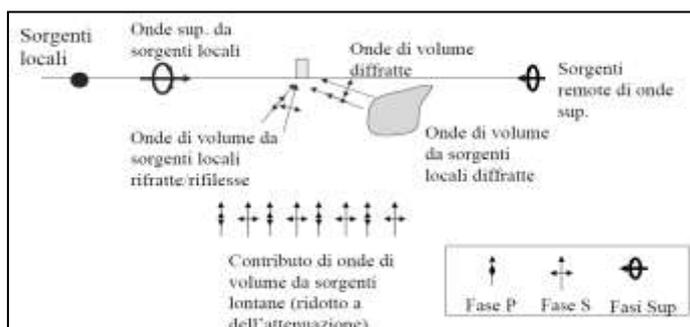
- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito** che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nell’edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l’effetto di “doppia risonanza” estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio**, qualora la misura venga effettuata all’interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la **velocità media delle onde di taglio V_s** calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l’affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. È possibile calcolare la V_{s30} e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 14 gennaio 2008.
- la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d’impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

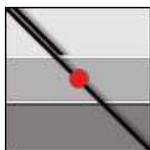
Le basi teoriche della tecnica HVSr si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti. La forma di un’onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

1. dalla forma dell’onda prodotta dalla sorgente s,
2. dal percorso dell’onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d’onda),
3. dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$





Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato *ad hoc*, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente *s* al sito *x* le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSr che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Micromed s.r.l. modello "Tromino". In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano una serie d'esempi di classificazioni fatte sulla base di semplici misure H/V a stazione singola.

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate).	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia).	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose).	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

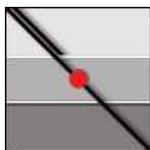
3.3.2 - Interpretazione della misura eseguita

Nel caso specifico del sito in esame si è cercato di correlare i valori di picco, dello spettro di risposta HVSr, con le frequenze fondamentali di risonanza di sito.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

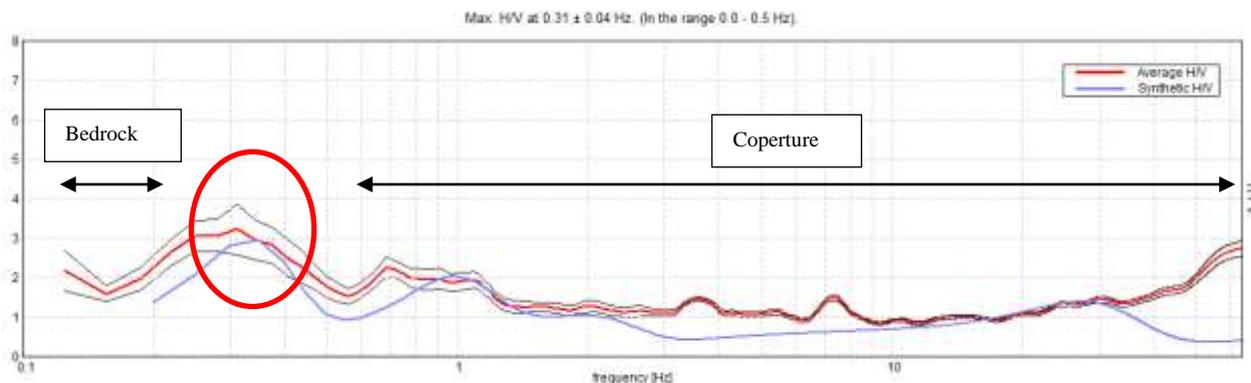
Sapendo che i valori di picco sono proporzionali ai contrasti di rigidità e utilizzando le informazioni lito - stratigrafiche ricavate dalle prove effettuate nel punto indagato, si è estrapolata una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

La frequenza di risonanza di sito, caratterizzata da un rapporto H/V è compresa tra 0 e 1 ed è risultata di \approx 0.31 Hz.



Frequenza fondamentale di risonanza di sito

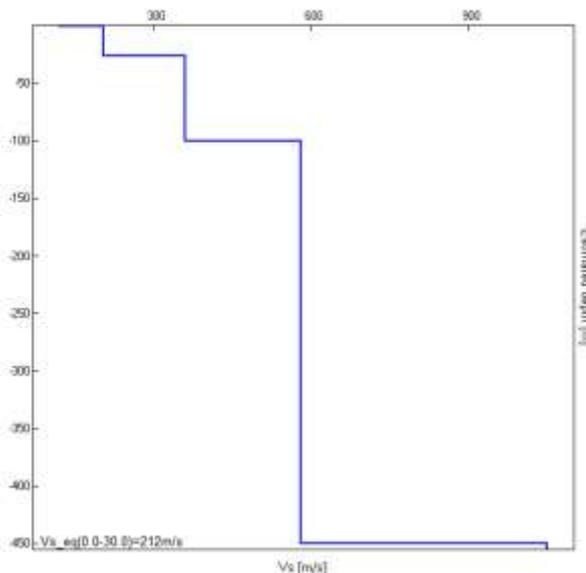
0.31 ± 0.04 Hz

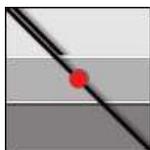


La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito, può essere schematizzata in una serie di sismo - strati da debolmente a mediamente addensati costituiti da alluvioni, che vanno da fini a medio grossolane, fino a circa 450 m di profondità, con velocità Vs che va da un minimo di ≈ 125 m/s ad un massimo di ≈ 580 m/s. Oltre i 450 metri circa si trovano terreni più addensati assimilabili al bedrock sismico con velocità Vs > 800 m/s.

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1,00	1,00	120
26,00	25,00	205
100,00	74,00	360
450,00	350,00	580
inf.	inf.	1050

Vs(0,0-30,0)= 212 m/s





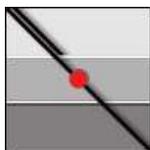
3.4 – Indagine sismica - M.A.S.W.

3.4.1 - Premesse

Al fine di caratterizzare dal punto di vista sismico il sottosuolo dell'area in esame, è stata condotta una campagna d'indagine geofisica mediante metodologia di prospezione sismica **M.A.S.W. (Multi-channel Analysis of Surface Waves)**. Tale metodo consente di ottenere un modello verticale delle Vs, a partire dalle modalità di propagazione delle onde di superficie, in particolare le onde di Rayleigh. In particolare, è stata effettuata:

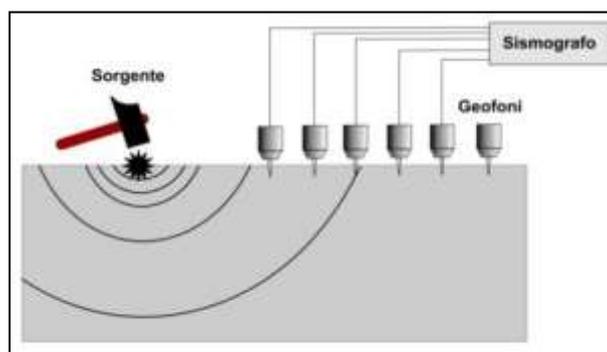
➤ **n°1 prospezione sismica con tecnica attiva M.A.S.W. (Multi-channel Analysis of Surface Waves)** sviluppata in un *array* lineare con n°12 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo - stratigrafica del sottosuolo e per l'assegnazione della categoria del sottosuolo di fondazione (V_s,eq) come espressamente richiesto dalla normativa vigente (*Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17/01/2018*).





3.4.2 - Strumentazione e metodologia

Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*), messo a punto nel 1999 da ricercatori del Kansas Geological Survey (Park et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali o di Rayleigh. Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006).



Nel caso specifico, è stato utilizzato il metodo attivo. L'acquisizione è avvenuta mediante sismografo a 24 canali PASI (mod. 16S24P) collegato a 12 geofoni orizzontali a frequenza propria di 4,5 Hz. La sorgente è rappresentata da un energizzatore sismico (modello Isotta), costituito da un corpo cilindrico di forma tubolare in acciaio inox, adatto a contenere una cartuccia a salve calibro 8

La sorgente è stata posta ad una distanza di 3 m dal primo geofono, con interdistanza geofonica pari a 3 m. La lunghezza totale dello stendimento geofonico è di 36 m: l'interdistanza geofonica e la lunghezza dello stendimento stesso sono stati calcolati tenendo conto dei volumi di terreno da caratterizzare.

Infine, sono stati ritenuti sufficienti un tempo di campionamento pari a 250 μ s ed una durata di campionamento di 512 ms.

3.4.3 - Interpretazione della misura eseguita

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software WinMASW Professional.

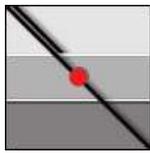
Dalla modellazione diretta della curva di dispersione del profilo sismico acquisito con la tecnica MASW è stato possibile stimare il profilo verticale della Vs nel sito d'indagine. Lo spettro di velocità di fase e log verticale Vs del sito investigato è riportato in allegato.

La ricostruzione sismo - stratigrafica di sito ha evidenziato la presenza di materiali da debolmente a mediamente addensati fino alla massima profondità investigata con tale tecnica (circa 30 m dal p.c. locale).

Il rilievo nello specifico ha fornito i seguenti dati sismici (*modello sismo-stratigrafico interpretativo*):

H.V.S.R.	Spessori [m]	Velocità onde di taglio [m/s]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	1.50	135	0,00 – 1,50
II SISMOSTRATO	7.00	150	1,50 – \approx 8,50
III SISMOSTRATO	10.50	220	\approx 8,50 – \approx 19,00
IV SISMOSTRATO	10.00	240	\approx 19,00 – \approx 29,00
V SISMOSTRATO	inf.	270	\approx 29,00– Semisp.

La stima, tramite la formula [3.1] del parametro Vs30 è stata effettuata, come esplicitamente richiesto dalle N.T.C. del 14 gennaio 2008, per l'assegnazione della categoria di sottosuolo.



Indagine	Vs,30
MASW	Vs (0-30) ≈ 199 m/s

3.4.4 - Modello sismico locale

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento. Per definire tali categorie, il D.M. 17/01/18 prevede, in questo caso, il calcolo del parametro Vs,30, ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio Vs entro 30 m di profondità dal piano di posa delle fondazioni.

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

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si prevedere l'inserimento del sito d'indagine nella **Categoria di Sottosuolo C**.

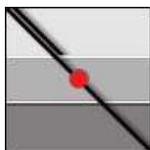
3.4. 5- Parametri di pericolosità sismica

Secondo la classificazione di cui al D.M. 14/09/2005 e all'Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003 (e s.m.i.) il territorio comunale di FERRARA rientra completamente in **zona 3**.

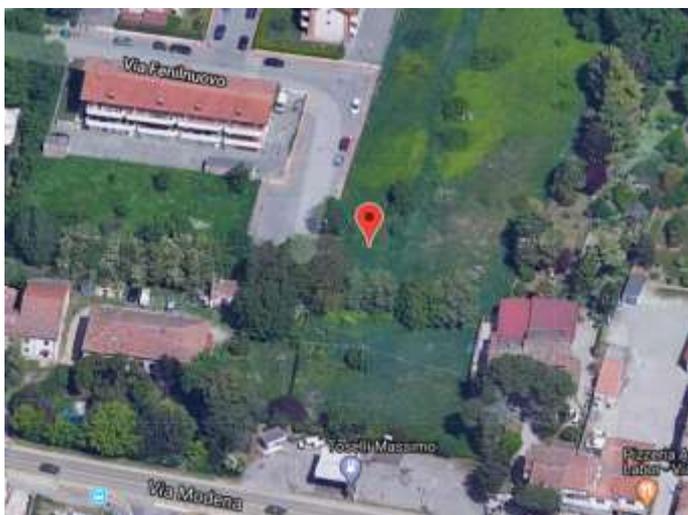
08038008	Ferrara	N.C.	III	3
----------	---------	------	-----	---

Il **Coefficiente di Fondazione ε**, che ha lo scopo di introdurre gli eventuali effetti di amplificazione sismica dovuti alle caratteristiche litostratigrafiche del terreno, è stato valutato pari a 1.

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal seguente studio, si ritiene opportuno precauzionalmente, non ostante il valore della velocità sismica Vs sia di poco superiore al limite di categoria, inserire il sito in oggetto di studio nella **Categoria di Sottosuolo C**



COEFFICIENTI SISMICI



CU = 2

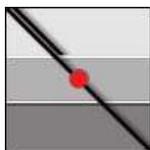
Stato Limite	Tr [anni]	a_g [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	60	0.051	2.493	0.277
Danno (SLD)	101	0.065	2.521	0.281
Salvaguardia vita (SLV)	949	0.179	2.550	0.279
Prevenzione collasso (SLC)	1950	0.238	2.485	0.287
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	100			

Cat. Sottosuolo	C
Cat. Topografica	T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,43	1,35
CC Coeff. funz categoria	1,60	1,60	1,60	1,59
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²] ↔ 0.6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.015	0.020	0.062	0.090
kv	0.008	0.010	0.031	0.045
Amax [m/s ²]	0.746	0.963	2.517	3.149
Beta	0.200	0.200	0.240	0.280



4 – RELAZIONE IDROGEOLOGICA RELATIVA ALLO SMALTIMENTO AUTONOMO ACQUE METEORICHE

Scopo dell'indagine è la verifica della possibilità di smaltimento autonomo della acque meteoriche (acque di seconda pioggia e acque dei pluviali) mediante pozzi perdenti o subirrigazione.

Considerando le caratteristiche stratigrafiche ed idrogeologiche riportate nella presente relazione e di progetto, che prevede nell'area a nord la realizzazione di un rilevato per pareggiare le quote utilizzando materiale granulare altamente permeabile.

Al di sotto di questo tuttavia i terreni naturati presentano una permeabilità bassa.

In corrispondenza della porzione di area verde si suggerisce quindi la realizzazione di n. 1 trincea disperdente per l'allontanamento delle acque provenienti **dalle sole coperture in progetto (332 mq)**.

La trincea disperdente verrà messa in opera all'interno della parte superficiale del terreno caratterizzato dalla presenza di materiali granulari di riporto. La trincea prevista avrà altezza 1.5 m e larghezza di 2 m, la condotta in cls forato da 300 mm verrà alloggiata all'interno dello strato di pietrisco (20 – 60 mm). La pendenza della condotta non deve superare lo 0,5% e la trincea dovrà essere avvolta da apposito tessuto non tessuto.

La portata di filtrazione per metro lineare della trincea disperdente è stata stimata assimilandola ad un pozzo perdente per il quale il calcolo è stato condotto utilizzando la normativa tedesca ITWH (si riporta il Calcolo in Allegato).

Si prevede quindi di mettere in opera una trincea di altezza pari a 1.5m, larga 2 m e di lunghezza 30 m la quale avrà una portata di filtrazione totale di 0.8 l/s.

Mentre la trincea disperdente avrà un volume d'invaso d'acqua 24 mc.

Vicenza, 20 Marzo 2020



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: DBA Progetti
Descrizione:
Località: FERRARA - Via Modena



Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPM (DL 030 SUNDA)

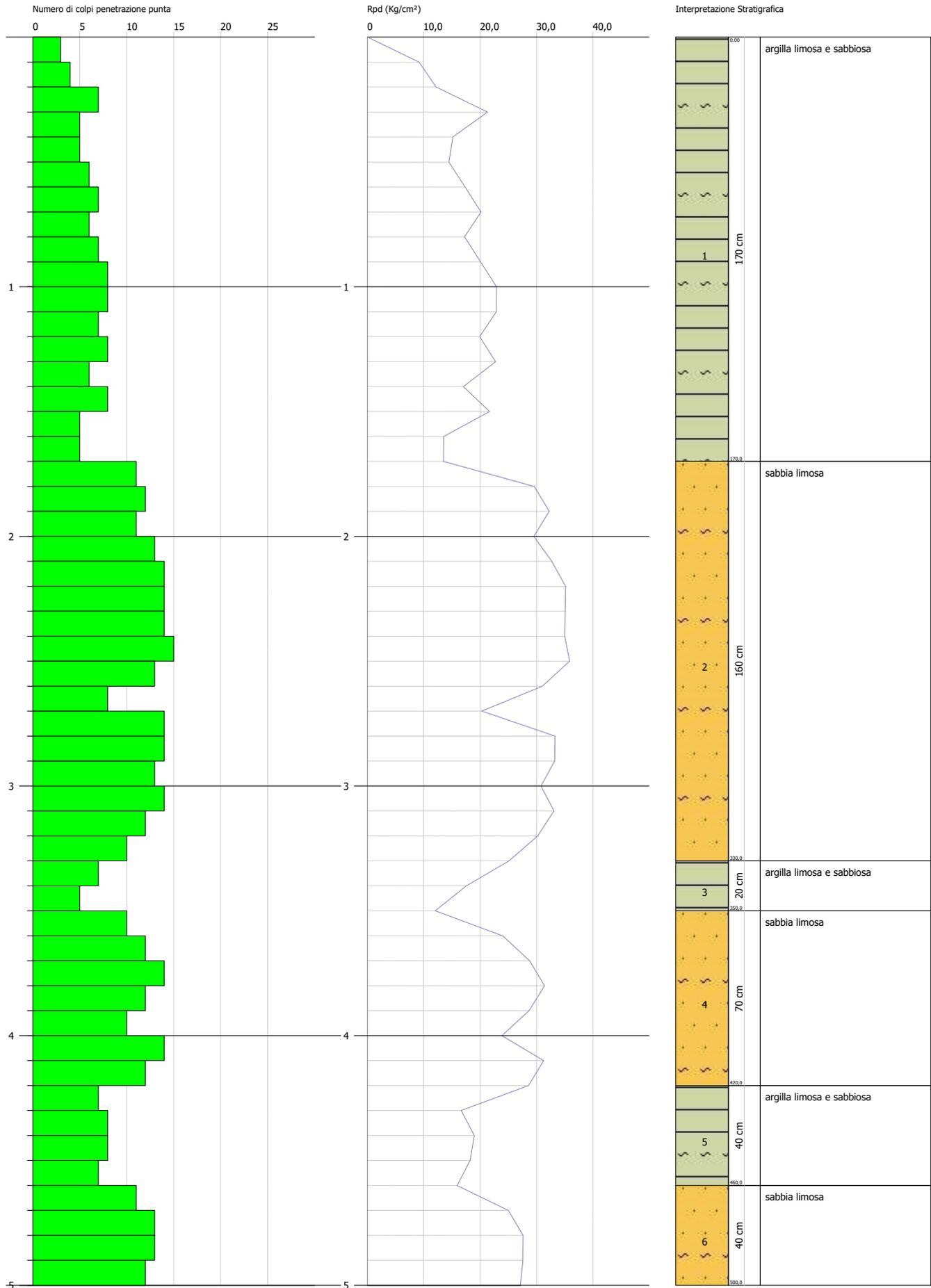
Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	18 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,765
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPM (DL 030 SUNDA)

Committente: DBA Progetti
 Descrizione:
 Località: FERRARA - Via Modena

Data: 28/02/2020

Scala 1:21



PROVA 1

Strumento utilizzato DPM (DL 030 SUNDA) Prova eseguita in data 28/02/2020
Profondità prova 5,00 m Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)
0,10	3	0,857	9,18	10,71
0,20	4	0,855	12,21	14,29
0,30	7	0,853	21,32	25,00
0,40	5	0,851	15,19	17,86
0,50	5	0,849	14,47	17,05
0,60	6	0,847	17,33	20,45
0,70	7	0,845	20,17	23,86
0,80	6	0,843	17,25	20,45
0,90	7	0,842	20,08	23,86
1,00	8	0,840	22,90	27,27
1,10	8	0,838	22,85	27,27
1,20	7	0,836	19,96	23,86
1,30	8	0,835	22,76	27,27
1,40	6	0,833	17,04	20,45
1,50	8	0,831	21,68	26,09
1,60	5	0,830	13,53	16,30
1,70	5	0,828	13,50	16,30
1,80	11	0,826	29,64	35,87
1,90	12	0,825	32,27	39,13
2,00	11	0,823	29,53	35,87
2,10	13	0,772	32,71	42,39
2,20	14	0,770	35,16	45,65
2,30	14	0,769	35,09	45,65
2,40	14	0,767	35,02	45,65
2,50	15	0,766	35,89	46,88
2,60	13	0,764	31,05	40,63
2,70	8	0,813	20,32	25,00
2,80	14	0,761	33,31	43,75
2,90	14	0,760	33,25	43,75
3,00	13	0,759	30,82	40,63
3,10	14	0,757	33,13	43,75
3,20	12	0,806	30,23	37,50
3,30	10	0,805	25,15	31,25
3,40	7	0,803	17,57	21,88
3,50	5	0,802	12,03	15,00
3,60	10	0,801	24,03	30,00
3,70	12	0,800	28,79	36,00
3,80	14	0,748	31,43	42,00
3,90	12	0,797	28,70	36,00
4,00	10	0,796	23,88	30,00
4,10	14	0,745	31,28	42,00
4,20	12	0,794	28,57	36,00
4,30	7	0,793	16,64	21,00
4,40	8	0,791	18,99	24,00
4,50	8	0,790	18,24	23,08
4,60	7	0,789	15,94	20,19
4,70	11	0,788	25,01	31,73
4,80	13	0,737	27,64	37,50
4,90	13	0,736	27,60	37,50
5,00	12	0,785	27,17	34,62

PROVA 2

Strumento utilizzato DPM (DL 030 SUNDA) Prova eseguita in data 28/02/2020
 Profondità prova 5,00 m Falda non rilevata

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)
0,10	4	0,857	1,20	1,40
0,20	4	0,855	1,20	1,40
0,30	3	0,853	0,90	1,05
0,40	4	0,851	1,19	1,40
0,50	4	0,849	1,14	1,34
0,60	5	0,847	1,42	1,67
0,70	6	0,845	1,70	2,01
0,80	5	0,843	1,41	1,67
0,90	6	0,842	1,69	2,01
1,00	6	0,840	1,68	2,01
1,10	7	0,838	1,96	2,34
1,20	7	0,836	1,96	2,34
1,30	6	0,835	1,67	2,01
1,40	8	0,833	2,23	2,67
1,50	8	0,831	2,13	2,56
1,60	7	0,830	1,86	2,24
1,70	8	0,828	2,12	2,56
1,80	7	0,826	1,85	2,24
1,90	10	0,825	2,64	3,20
2,00	10	0,823	2,63	3,20
2,10	11	0,822	2,89	3,52
2,20	13	0,770	3,20	4,16
2,30	13	0,769	3,20	4,16
2,40	14	0,767	3,43	4,48
2,50	8	0,816	2,00	2,45
2,60	7	0,814	1,75	2,15
2,70	8	0,813	1,99	2,45
2,80	8	0,811	1,99	2,45
2,90	12	0,810	2,98	3,68
3,00	13	0,759	3,02	3,98
3,10	12	0,807	2,97	3,68
3,20	15	0,756	3,48	4,60
3,30	13	0,755	3,01	3,98
3,40	13	0,753	3,00	3,98
3,50	11	0,802	2,60	3,24
3,60	8	0,801	1,88	2,35
3,70	7	0,800	1,65	2,06
3,80	11	0,798	2,58	3,24
3,90	12	0,797	2,81	3,53
4,00	11	0,796	2,58	3,24
4,10	13	0,745	2,85	3,82
4,20	14	0,744	3,06	4,12
4,30	13	0,743	2,84	3,82
4,40	5	0,791	1,16	1,47
4,50	8	0,790	1,79	2,26
4,60	7	0,789	1,56	1,98
4,70	8	0,788	1,78	2,26
4,80	12	0,787	2,67	3,39
4,90	15	0,736	3,12	4,24
5,00	13	0,735	2,70	3,68

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1**TERRENI COESIVI**

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) argilla limosa e sabbiosa	4,73	0,00-1,70	Terzaghi-Peck	0,30
Strato (3) argilla limosa e sabbiosa	4,59	3,30-3,50	Terzaghi-Peck	0,29
Strato (5) argilla limosa e sabbiosa	5,74	4,20-4,60	Terzaghi-Peck	0,36

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) argilla limosa e sabbiosa	4,73	0,00-1,70	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	50,04
Strato (3) argilla limosa e sabbiosa	4,59	3,30-3,50	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	48,61
Strato (5) argilla limosa e sabbiosa	5,74	4,20-4,60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	60,34

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) argilla limosa e sabbiosa	4,73	0,00-1,70	Apollonia	47,30
Strato (3) argilla limosa e sabbiosa	4,59	3,30-3,50	Apollonia	45,90
Strato (5) argilla limosa e sabbiosa	5,74	4,20-4,60	Apollonia	57,40

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) argilla limosa e sabbiosa	4,73	0,00-1,70	Meyerhof	1,74
Strato (3) argilla limosa e sabbiosa	4,59	3,30-3,50	Meyerhof	1,74
Strato (5) argilla limosa e sabbiosa	5,74	4,20-4,60	Meyerhof	1,80

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) argilla limosa e sabbiosa	4,73	0,00-1,70	Meyerhof	1,88
Strato (3) argilla limosa e sabbiosa	4,59	3,30-3,50	Meyerhof	1,87
Strato (5) argilla limosa e sabbiosa	5,74	4,20-4,60	Meyerhof	1,88

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (2) sabbia limosa	9,65	1,70-3,30	9,65	Schultze & Menzenbach (1961)	62,97
Strato (4) sabbia limosa	9,18	3,50-4,20	9,18	Schultze & Menzenbach (1961)	54,95
Strato (6) sabbia limosa	9,37	4,60-5,00	9,37	Schultze & Menzenbach	52,35

				(1961)	
--	--	--	--	--------	--

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (2) sabbia limosa	9,65	1,70-3,30	9,65	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	29,76
Strato (4) sabbia limosa	9,18	3,50-4,20	9,18	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	29,62
Strato (6) sabbia limosa	9,37	4,60-5,00	9,37	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	29,68

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (2) sabbia limosa	9,65	1,70-3,30	9,65	Schmertmann (1978) (Sabbie)	77,20
Strato (4) sabbia limosa	9,18	3,50-4,20	9,18	Schmertmann (1978) (Sabbie)	73,44
Strato (6) sabbia limosa	9,37	4,60-5,00	9,37	Schmertmann (1978) (Sabbie)	74,96

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (2) sabbia limosa	9,65	1,70-3,30	9,65	Begemann 1974	47,29
Strato (4) sabbia limosa	9,18	3,50-4,20	9,18	Begemann 1974	46,32
Strato (6) sabbia limosa	9,37	4,60-5,00	9,37	Begemann 1974	46,71

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (2) sabbia limosa	9,65	1,70-3,30	9,65	Terzaghi-Peck 1948	1,47
Strato (4) sabbia limosa	9,18	3,50-4,20	9,18	Terzaghi-Peck 1948	1,47
Strato (6) sabbia limosa	9,37	4,60-5,00	9,37	Terzaghi-Peck 1948	1,47

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (2) sabbia limosa	9,65	1,70-3,30	9,65	Terzaghi-Peck 1948	1,92
Strato (4) sabbia limosa	9,18	3,50-4,20	9,18	Terzaghi-Peck 1948	1,91
Strato (6) sabbia limosa	9,37	4,60-5,00	9,37	Terzaghi-Peck 1948	1,91

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (2) sabbia limosa	9,65	1,70-3,30	9,65	(A.G.I.)	0,33
Strato (4) sabbia limosa	9,18	3,50-4,20	9,18	(A.G.I.)	0,34
Strato (6) sabbia limosa	9,37	4,60-5,00	9,37	(A.G.I.)	0,34

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (2) sabbia limosa	9,65	1,70-3,30	9,65	Ohsaki (Sabbie pulite)	547,48
Strato (4) sabbia limosa	9,18	3,50-4,20	9,18	Ohsaki (Sabbie pulite)	522,38
Strato (6) sabbia limosa	9,37	4,60-5,00	9,37	Ohsaki (Sabbie pulite)	532,54

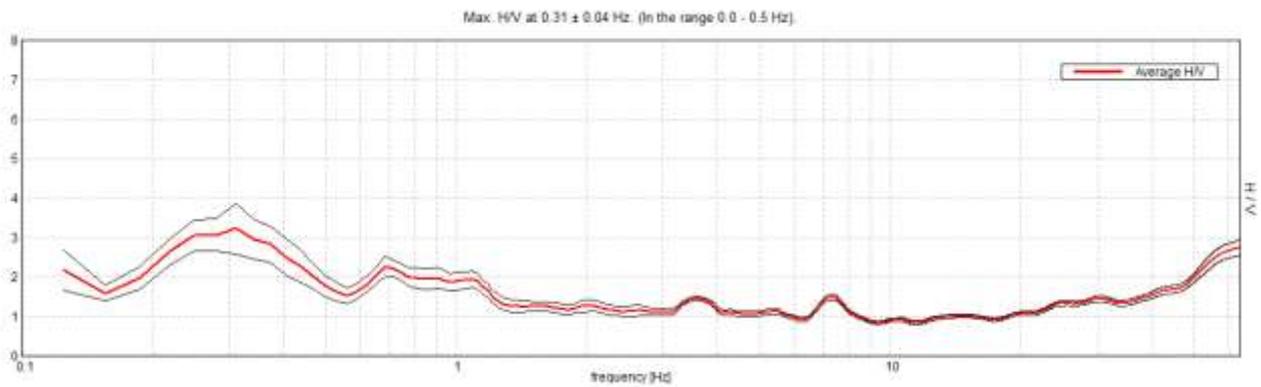
Coefficiente spinta a Riposo $K_0 = \sigma_H / P_0$

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K ₀
Strato (2) sabbia limosa	9,65	1,70-3,30	9,65	Navfac 1971-1982	2,03
Strato (4) sabbia limosa	9,18	3,50-4,20	9,18	Navfac 1971-1982	1,93
Strato (6) sabbia limosa	9,37	4,60-5,00	9,37	Navfac 1971-1982	1,97

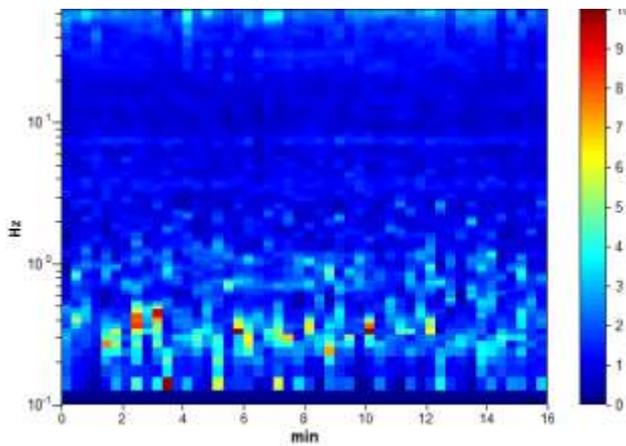
Strumento: TRE-0003/00-06
Formato dati: 16 byte
Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 28/02/20 09:21:24 Fine registrazione: 28/02/20 09:37:25
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h16'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

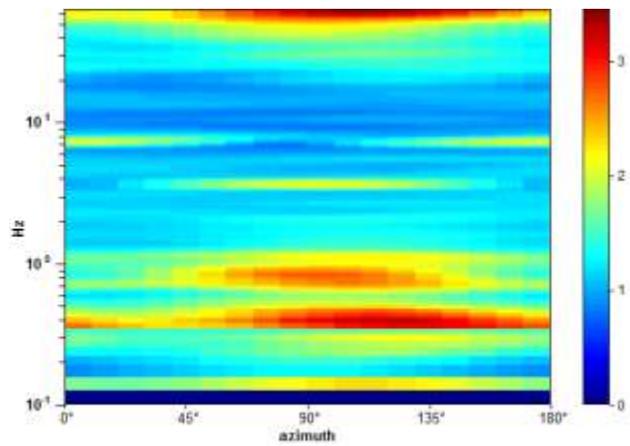
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



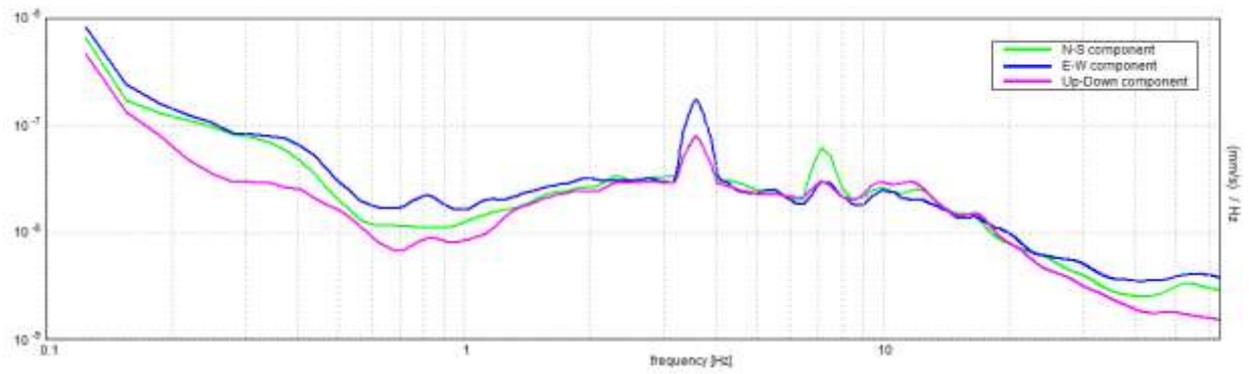
SERIE TEMPORALE H/V



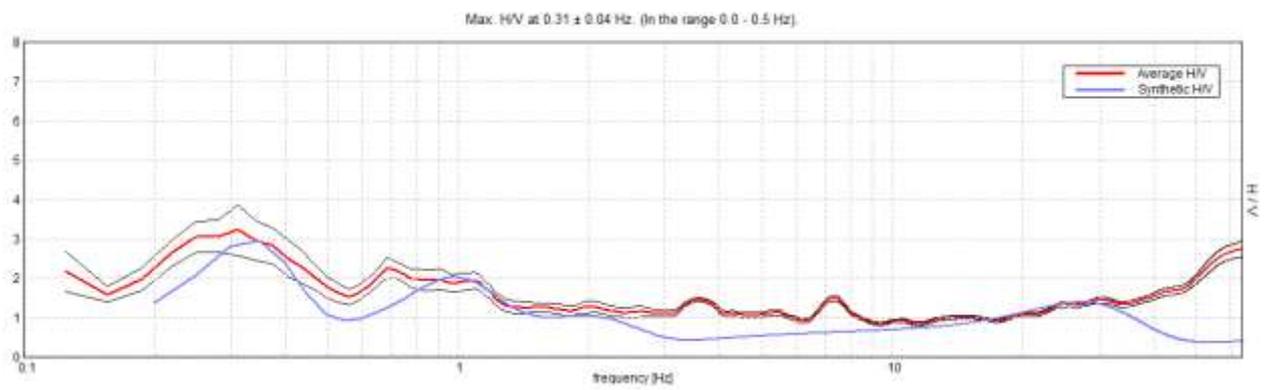
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

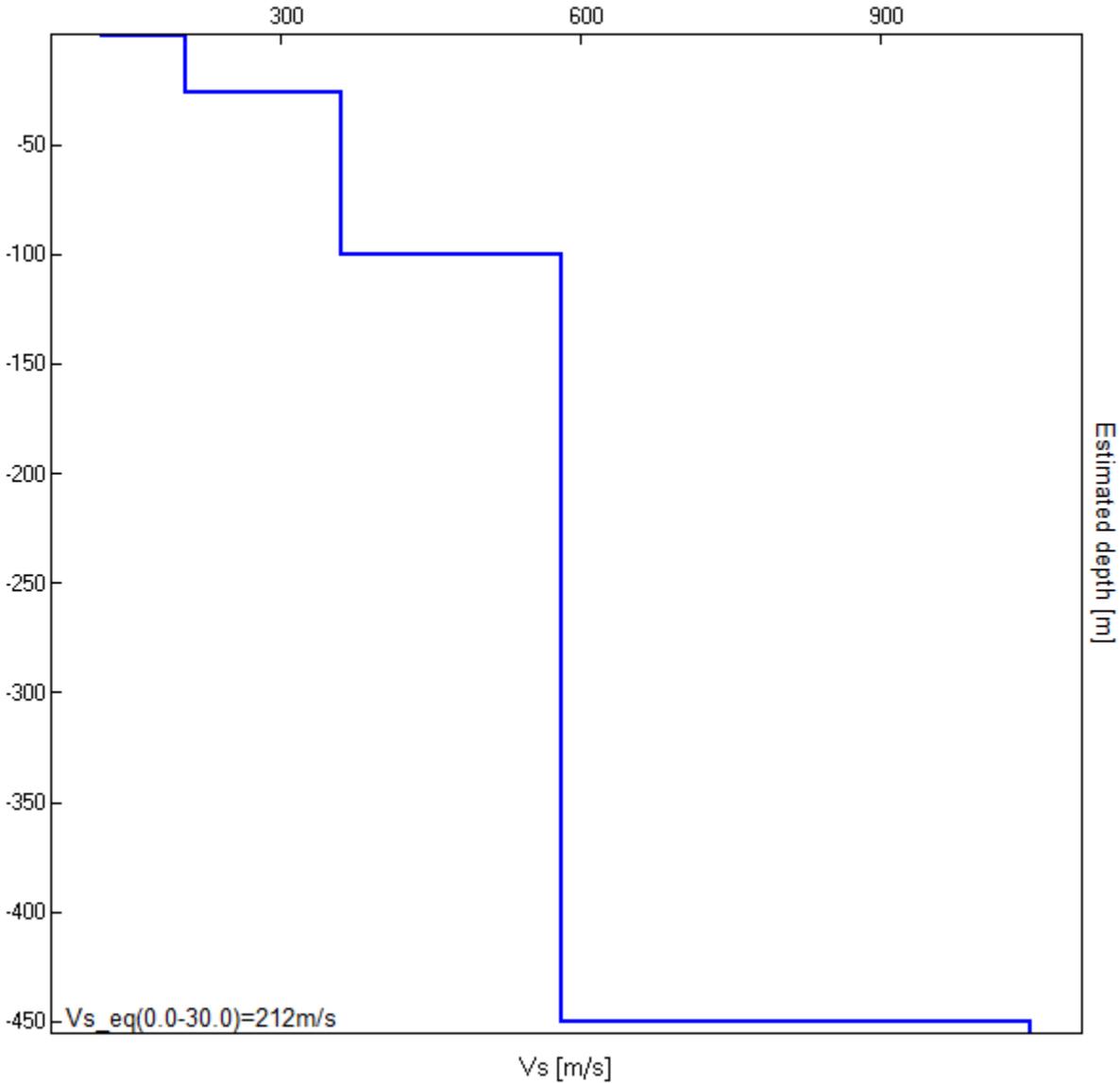


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.00	1.00	120	0.42
26.00	25.00	205	0.40
100.00	74.00	360	0.38
450.00	350.00	580	0.38
inf.	inf.	1050	0.35

Vs_eq(0.0-30.0)=212m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.31 ± 0.04 Hz (nell'intervallo 0.0 - 0.5 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.31 > 0.50$		NO
$n_c(f_0) > 200$	$300.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 16	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

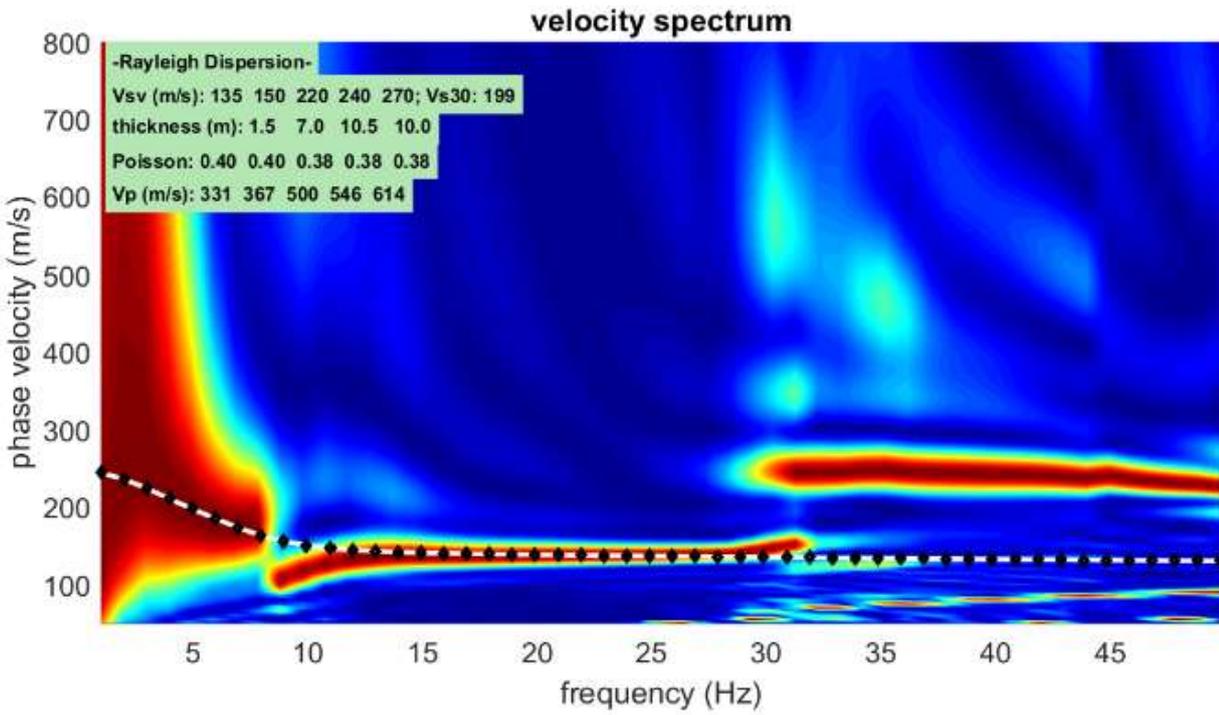
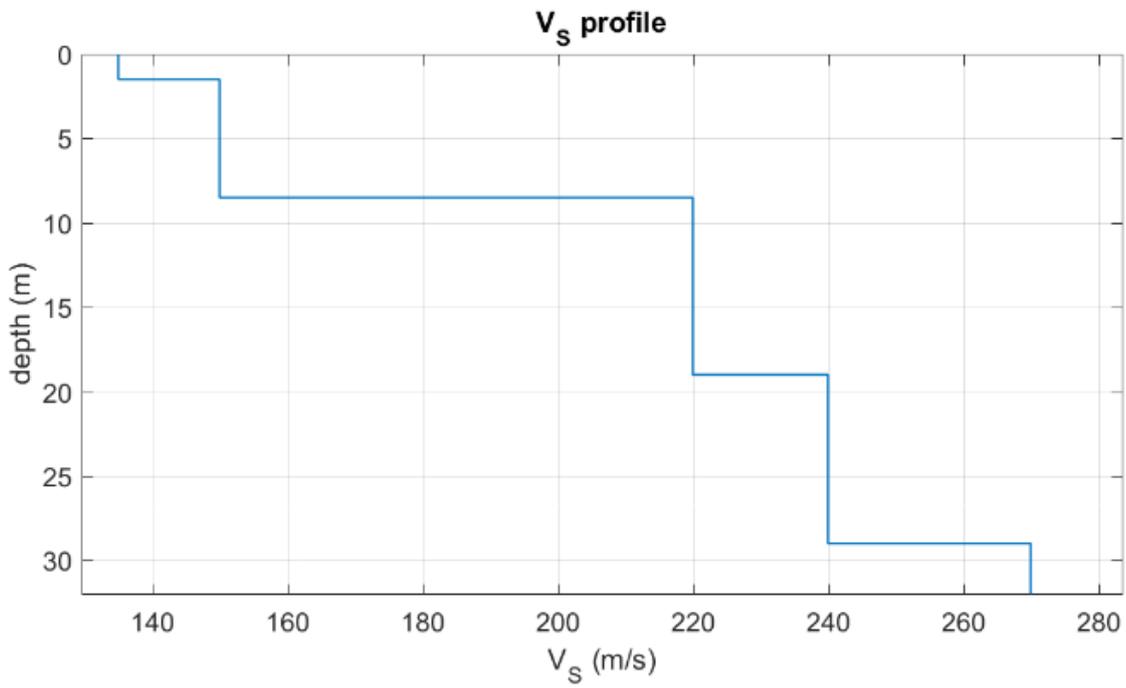
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.156 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.24 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.1291 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.04034 < 0.0625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6434 < 2.5$	OK	

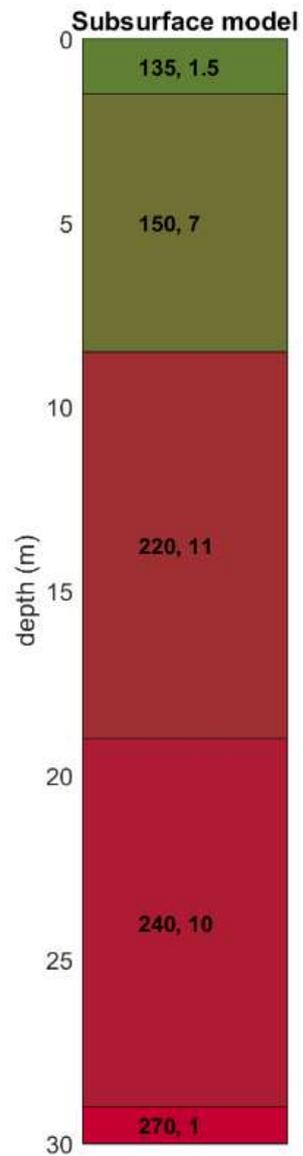
L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f 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

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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



H.V.S.R.	Spessori [m]	Velocità onde di taglio [m/s]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	1.50	135	0,00 – 1,50
II SISMOSTRATO	7.00	150	1,50 – ≈8,50
III SISMOSTRATO	10.50	220	≈ 8,50 – ≈ 19,00
IV SISMOSTRATO	10.00	240	≈ 19,00 – ≈ 29,00
V SISMOSTRATO	inf.	270	≈ 29,00– Semisp.



PORTATA DI FILTRAZIONE DELLA TRINCEA VIENE STIMATA ASSIMILANDOLA A UN POZZO PERDENTE

TRINCEA		POZZO	
H	1.5 m	H	2 m
L	2 m	D	2 m
D tubo cls int	0.3 m		
D tubo cls est	0.37 m		mm
pendenza	0.5 %		%
k	1.00E-05 m/s 6.00E-04 m/min	k	1.00E-05 m/s 6.00E-04 m/min
		Q fondo	9.42E-04 mc/min 1.57E-02 l/s
		Q sup lat	1.88E-03 mc/min 3.14E-02 l/s
A fondo trincea	2 m2	A fondo pozzo	3.14 m2
A laterali	6 m2	A laterali	12.56 m2

RAPPORTANDO

$Q_{fondopozzo} (l/s) : A_{fondopozzo} (m^2) = Q_{fondotrincea} (l/s) : A_{fondotrincea} (m^2)$

Q fondo trincea 0.01 l/s

RAPPORTANDO

$Q_{latopozzo} (l/s) : A_{latopozzo} (m^2) = Q_{latotrincea} (l/s) : A_{latotrincea} (m^2)$
 noto noto y noto

Q lat trincea 0.02 l/s

Q tot (a 1ml di trincea) 0.03 l/s

Lunghezza trincea 30

Q tot trincea 0.8 l/s

VOLUME D'INVASO TRINCEA

A tot trincea (sezione) 3 m2

A tubo cls int 0.071 m2

A tubo cls est 0.107 m2

A esterna tubo 2.893 m2

MAX VOLUME VUOTI APV 0.25

V materiale drenante xml 2.893 m3

V vuoti 0.723 m3

Vvuoti TOT 0.794 m3

Lunghezza trincea 30

V tot trincea 23.8 m3