COMUNE di TAGGIA

Provincia di Imperia

COMMITTENTE: IPERCERAMICA S.p.A.

PROGETTO: Costruzione nuovo fabbricato in variante al P.R.G. vigente per vendita e deposito merci speciali - Show Room Iperceramica –– Fg. 30, mappali 443-444

PROGETTISTA: Dott. Arch. Cristina ROGGERI

RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA

Indagine geologica in ottemperanza al D.M. 17/01/2018, alla normativa di attuazione dei vigenti strumenti urbanistici, alla D.G.R. n. 714 del 21 giugno 2011ed al Piano di Bacino del Torrente Argentina - Ambito di Bacino n° 4

Dott. Geol. Gian Stefano ODDERA
Via Roma, 41
18039 VENTIMIGLIA (IM)
Tel./Fax 0184231713 - Cell. 3355292338
E-mail: gianstefanoddera@gmail.com



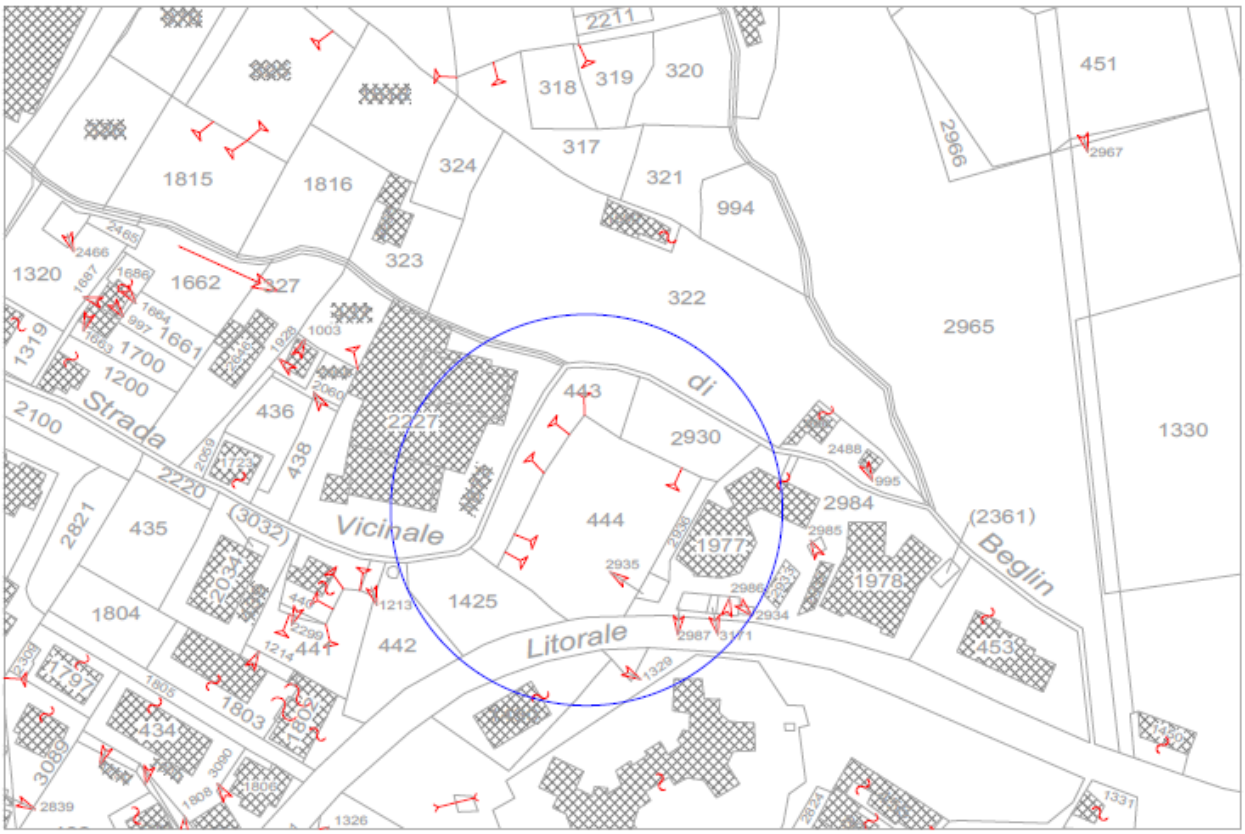
PREMESSA

Su incarico di Iperceramica S. p. A. è stata redatta la presente relazione geologica e sismica a supporto del progetto, a cura dell'Arch. Cristina ROGGERI, per la creazione di attività commerciale, in variante al P.R.G. vigente, sui terreni di proprietà della Società committente.

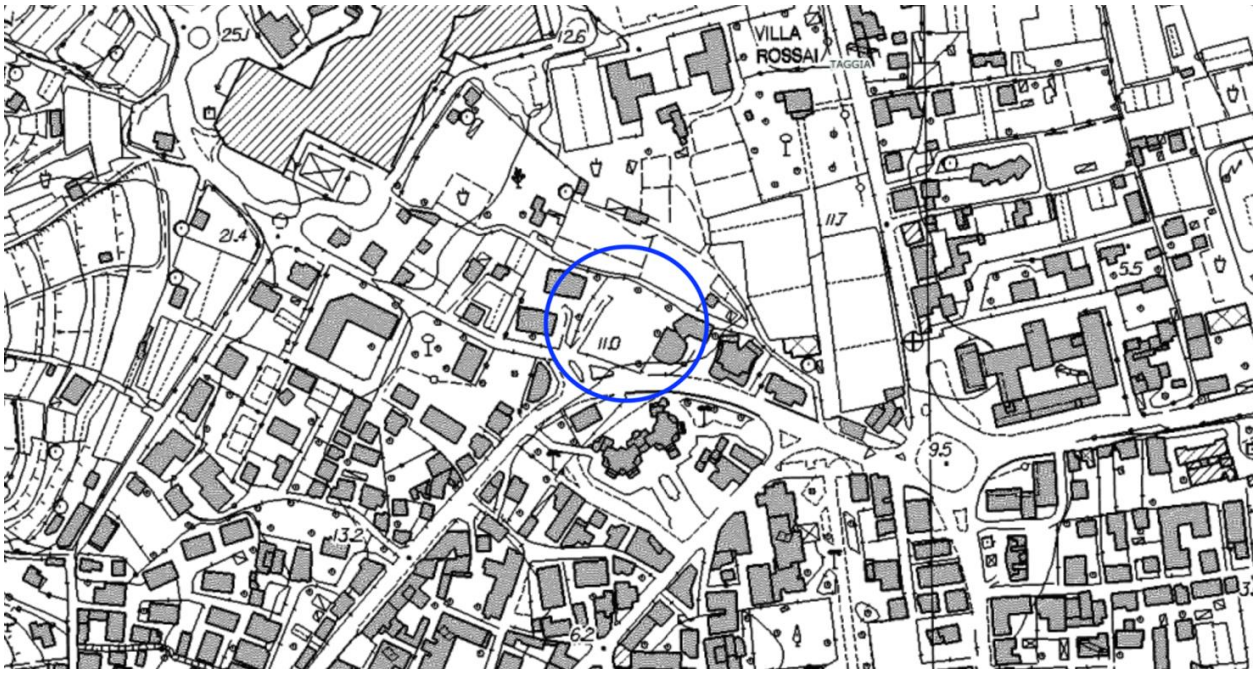
Lo studio è stato redatto in conformità al D.M. 17/01/2018, secondo le disposizioni relative alle indagini della Circolare attuativa n. 4551 del 12/12/1989 ed in accordo alla D.G.R. n. 714 del 21 giugno 2011 (Criteri e linee guida regionali per l'approfondimento degli studi geologico-tecnici e sismici a corredo della strumentazione urbanistica comunale).

Si è relazionato, inoltre, in ottemperanza alla normativa di attuazione dei vigenti strumenti urbanistici, al Piano di Bacino relativo all'Ambito 4 Torrente Argentina e tenendo conto della valutazione della pericolosità sismica dell'area di riferimento, definita a livello nazionale dall'OPCM 3519/06 e a livello regionale dalla D.G.R.L. N° 216 del 17/03/2017, che sostituisce la D.G.R. 1362 del 19/11/2010 e che ha riclassificato il territorio regionale; a questo proposito il Comune di Taggia rientra in zona 2.

In particolare si è rappresentato il contesto geologico, idrogeologico e sismico attraverso l'analisi dei documenti disponibili e l'esecuzione di una specifica campagna geognostica preliminare basata su prove penetrometriche dinamiche, stese sismiche a rifrazione e tipo MASW, nonché acquisizioni HVSR.



Stralcio Mappa Catastale – Comune di Taggia Fg. 30



Stralcio Carta Tecnica Regionale



Carta della Suscettività al Dissesto del vigente Piano di Bacino

LEGENDA

Classi di suscettività al dissesto:

- **Pg4 - MOLTO ALTA**
- **Pg3a - ALTA**
- **Pg3b - ALTA**
- **Pg2 - MEDIA**
- **Pg1 - BASSA**
- **Pg0 - MOLTO BASSA**

Classi speciali:

- **tipo A - cave e miniere attive**
- **tipo A - discariche in esercizio**
- **tipo B1 - cave e miniere dismesse**
- **tipo B2 - discariche dismesse e riporti antropici**
- **Limite del piano di bacino**

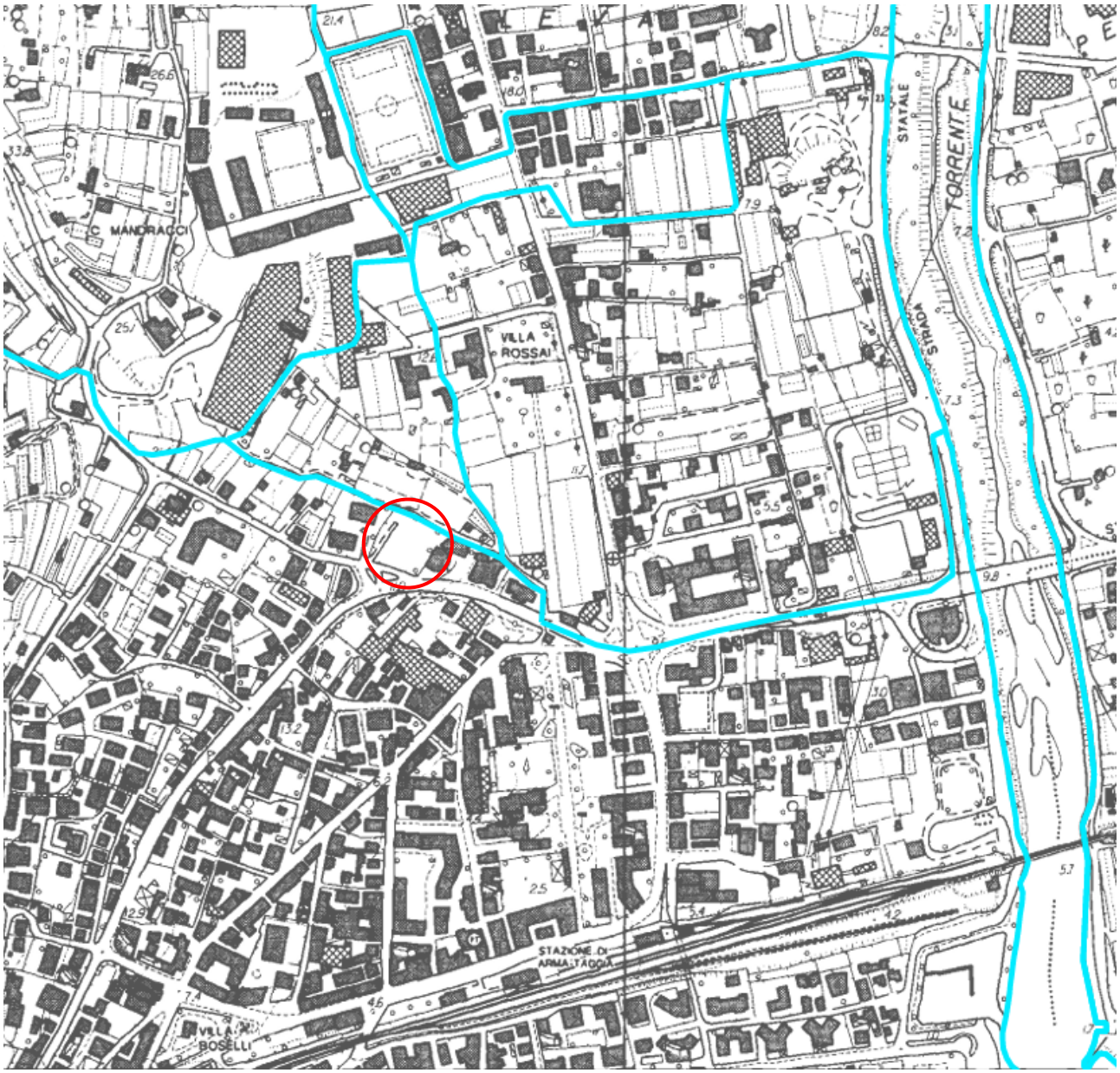


Carta del Rischio Geomorfologico del vigente Piano di Bacino

LEGENDA

Classi di rischio geomorfologico:

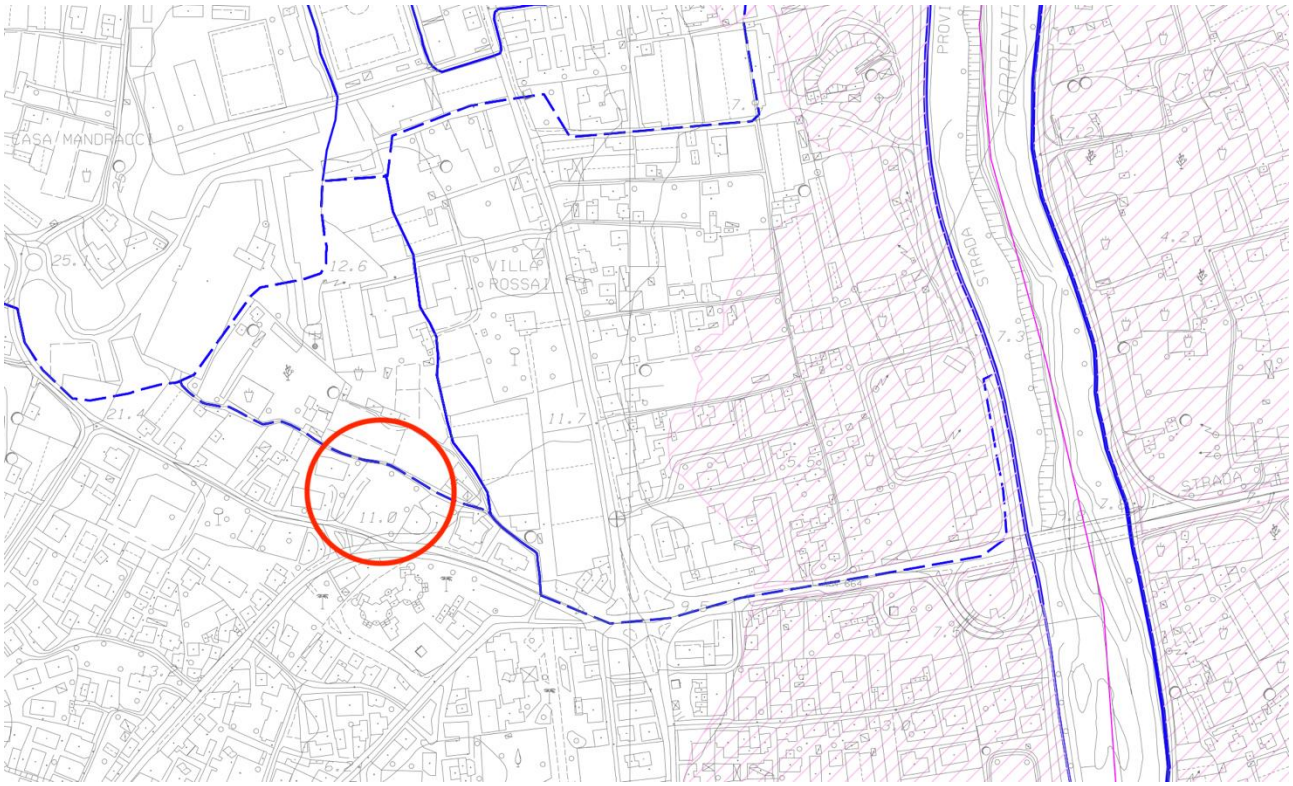
- **Rg4 - MOLTO ELEVATO**
- **Rg3 - ELEVATO**
- **Rg2 - MEDIO**
- **Rg1 - MODERATO**
- **Rg0 - LIEVE o TRASCURABILE**
- **-**
- **Alveo**
- **Classe speciale: cave e discariche attive**
- **Limite del piano di bacino**



Carta del Reticolo Idrografico del vigente Piano di Bacino

reticolo idrografico

limite di bacino



Carta delle Fasce Fluviali del vigente Piano di Bacino

LEGENDA

proiezioni dei viadotti

fascia di riassetto fluviale

alveo attuale

tratti indagati

LIMITE DELL'AMBITO DI BACINO

FASCIA A

aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T = 50 anni

FASCIA B

aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T = 200 anni

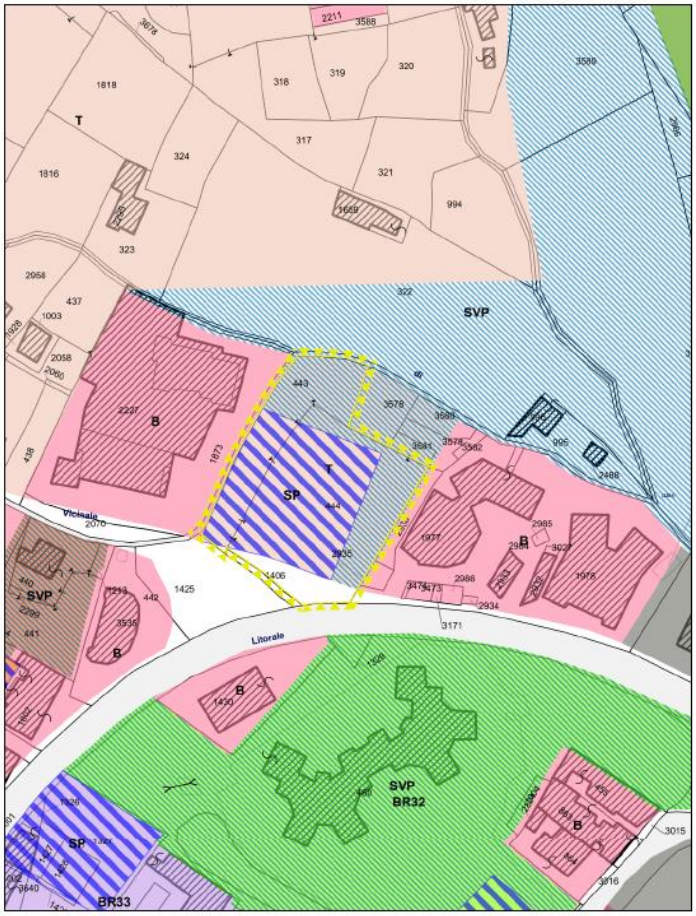
FASCIA C

aree perifluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T = 500 anni

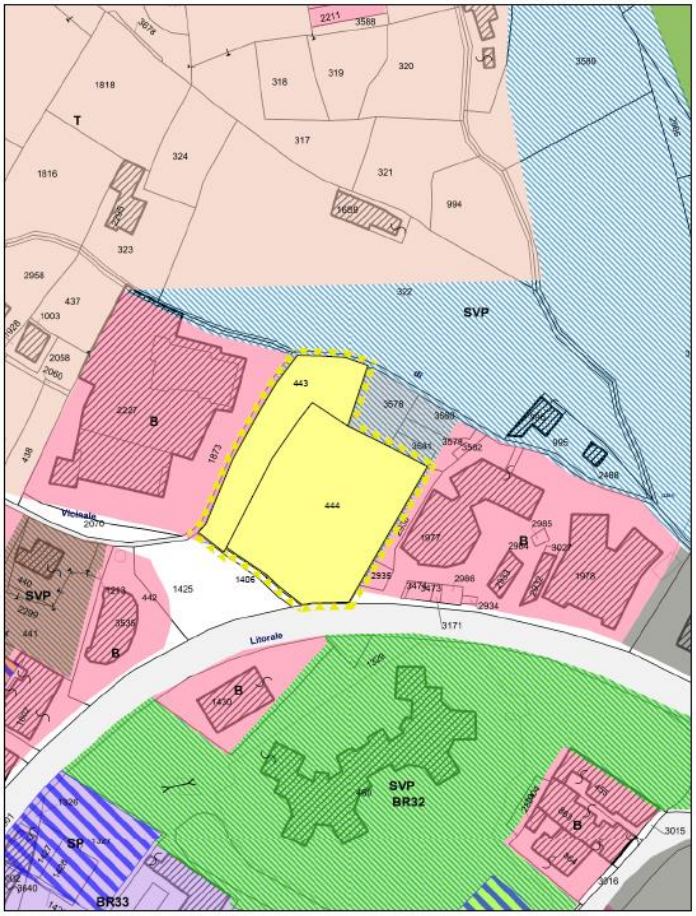
FASCIA A*

aree storicamente inondate

area interessata dagli ambiti normativi delle fasce di inondabilita' – Tav. 11_2_abis



STRALCIO P.R.G. VIGENTE - Zona Turistico-Produttiva



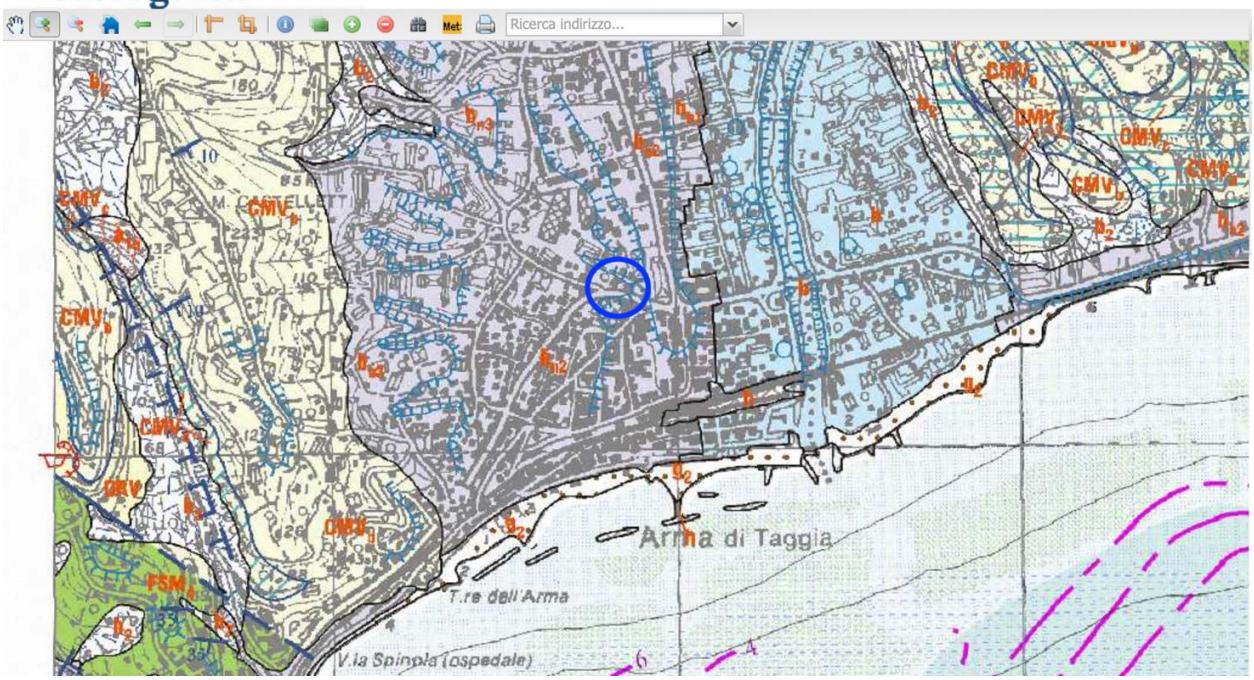
STRALCIO P.R.G. PROPOSTA IN VARIANTE:
Zona "D" speciale destinata ad attività PRODUTTIVA/COMMERCIALE

Stralcio cartografico del P.R.G. con indicazione della variante proposta

Ambiente in Liguria — Sito ufficiale della Regione Liguria per l'Ambiente

Carta Geologica Regionale (CARG) sc. 1:25000 - tav. 258.2 - Taggia (completa)

Cartografia



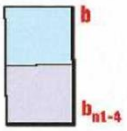
STRALCIO CARTA GEOLOGICA REGIONALE (EX PROGETTO CARG)



Detriti di falda



Coltre eluvio colluviale



Depositi alluvionali (**b**) composti esclusivamente da sedimenti misti sabbie - ghiaie;

Depositi alluvionali terrazzati ($\mathbf{b_{n1\text{-}4}}$) composti esclusivamente da sedimenti misti sabbie - ghiaie.
(1-4= ordine crescente del terrazzo dal più recente al più antico).

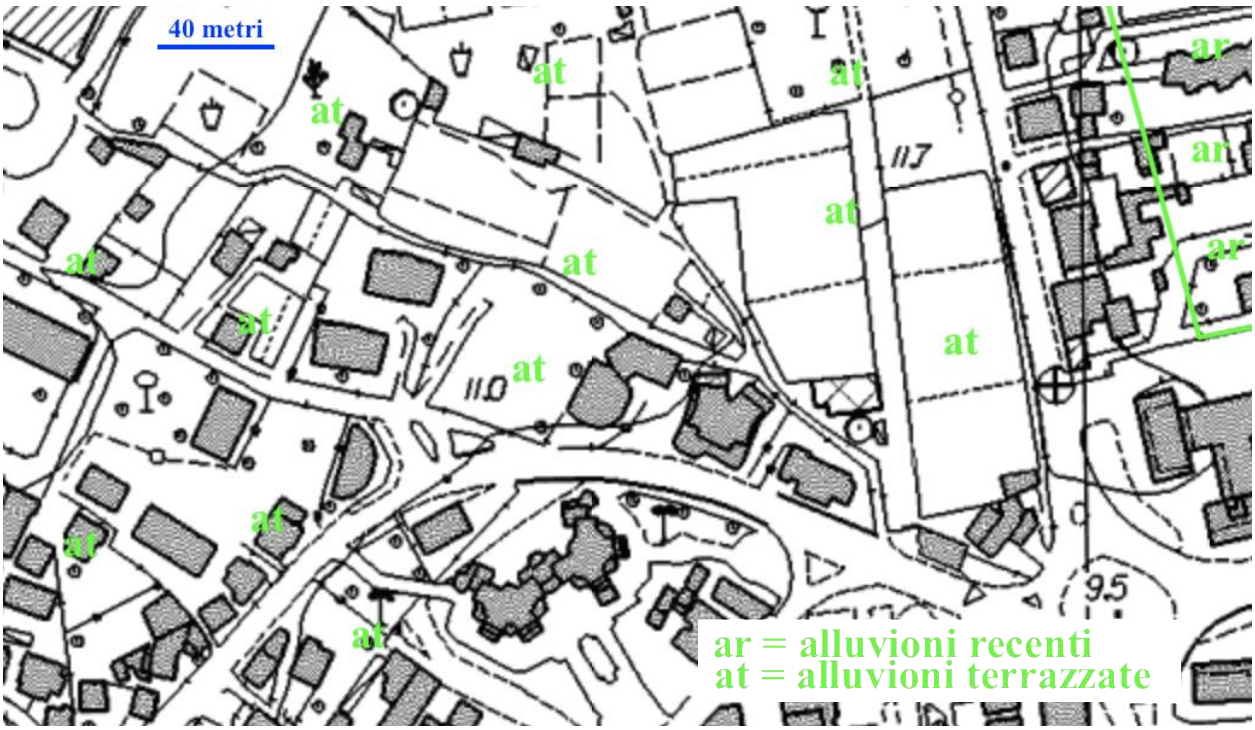
INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

La Formazione presente nell'area oggetto di intervento è caratterizzata dai depositi Alluvionali del Quaternario. La stratigrafia di questi depositi è costituita da livelli, più frequenti alla base, di ciottoli arenacei e calcarei arrotondati e livelli subparalleli di ghiaie in matrice prevalentemente sabbioso-limosa e con lenti argillose. Nei depositi alluvionali più recenti prevalgono le granulometrie più grossolane. La coltre detritica colluviale che costituisce la copertura dei sedimenti fluvio-alluvionali è composta prevalentemente da detrito a granulometria fine, sabbioso-limosa e in parte argillosa, proveniente dall'alterazione chimico-fisica della roccia affiorante a monte.

La stratigrafia tipo all'interno dell'area di studio dedotta dalle indagini di superficie e dalle numerose prove geognostiche eseguite nell'areale è la seguente:

Il suolo di natura eluviale strutturato e Coltre di natura colluviale di tessitura fine sabbioso-imosa e in parte argillosa, con ridotto scheletro solido di dimensioni da minute a medio-minute, di ridotto spessore (max 3m);

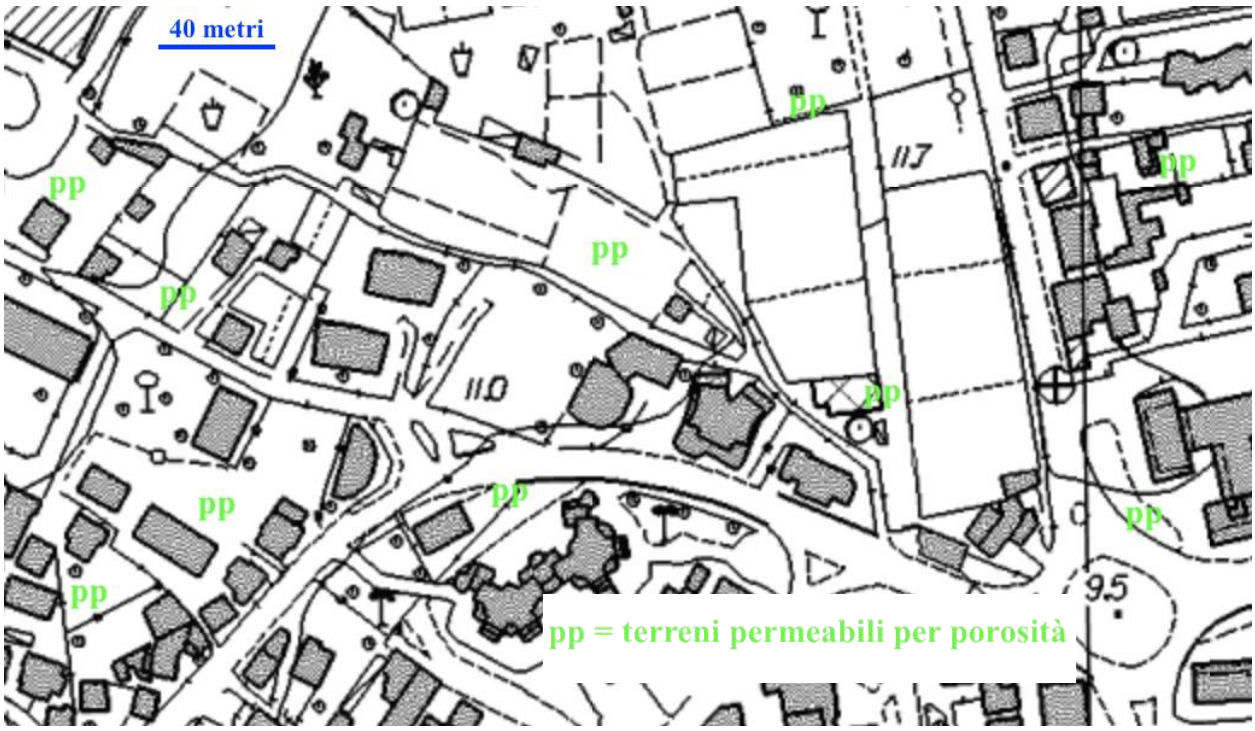
Depositi Alluvionali.



Carta Geologica/Geomorfologica

INQUADRAMENTO IDRAULICO E IDROGEOLOGICO

L'area indagata è posta, in sponda destra, in prossimità della foce del Torrente Argentina. In particolare il sito oggetto di intervento si trova quasi al livello del mare. L'intera area è intensamente urbanizzata. La morfologia dell'areale presenta una disposizione pianeggiante determinata dall'accumulo sui depositi fluvio-alluvionali subpianeggianti della copertura detritica colluviale proveniente dall'erosione della roccia affiorante a monte. I Depositi Alluvionali possiedono una permeabilità piuttosto alta per porosità ma a modificare il naturale deflusso idrico è intervenuta una intensa opera di urbanizzazione che ha in pratica modificato le condizioni di permeabilità superficiale.


40 metri
pp
pp
pp

INDAGINI GEOGNOSTICHE, CARATTERISTICHE GEOTECNICHE E SISMICHE DEL SITO DI PROGETTO

Stese sismiche a rifrazione

In corrispondenza degli allineamenti predisposti per le acquisizioni Masw (di seguito descritte), sono state eseguite due indagini sismica a rifrazione, per definire l'andamento delle velocità delle onde P (longitudinali).

Gli allineamenti sismici hanno una lunghezza di 36 metri, con una distanza intergeofonica di 2 m. Sono state fatte delle energizzazioni di andata (a 2 metri dal primo geofono a seconda della lunghezza della stesa stessa), delle energizzazioni di ritorno (a 2 metri dall'ultimo geofono a seconda della lunghezza della stesa stessa) e delle energizzazioni centrali tra il 9° e il 10° geofono.

Per le prove in situ è stata utilizzata un'apparecchiatura costituita da un sismografo DoReMi di Sara Electronic Instruments a 24 bit, con 18 canali modulari con geofoni verticali ad alta sensibilità da 4,5 Hz. Frequenze selezionabili dal sismografo da 500 a 20000 Hz (passi di campionamento da 2 a 0.05 ms). La durata dell'acquisizione per la stesa sismica a rifrazione è stata pari a 0,250 s, per l'acquisizione Masw pari a 2 s.

Per l'energizzazione è utilizzata una mazza da 8 kg con battuta su piastra metallica.

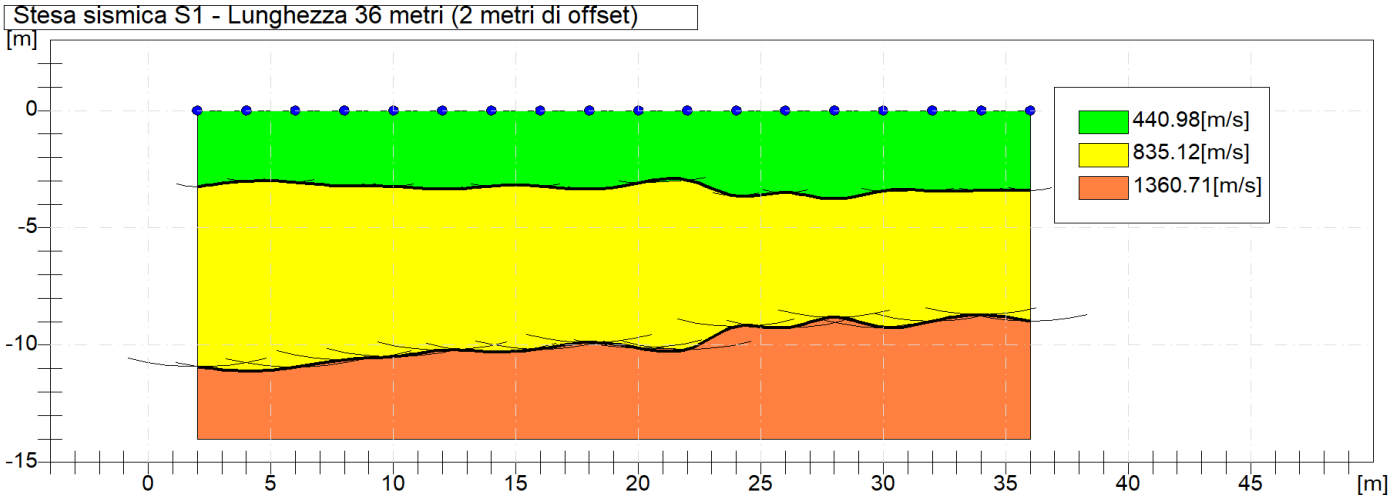
Il sismografo è collegato ad un pc Windows compatibile, tramite porta USB, su cui è installato il software di gestione omonimo DoReMi che consente di controllare le numerose possibilità di acquisizione dello strumento.

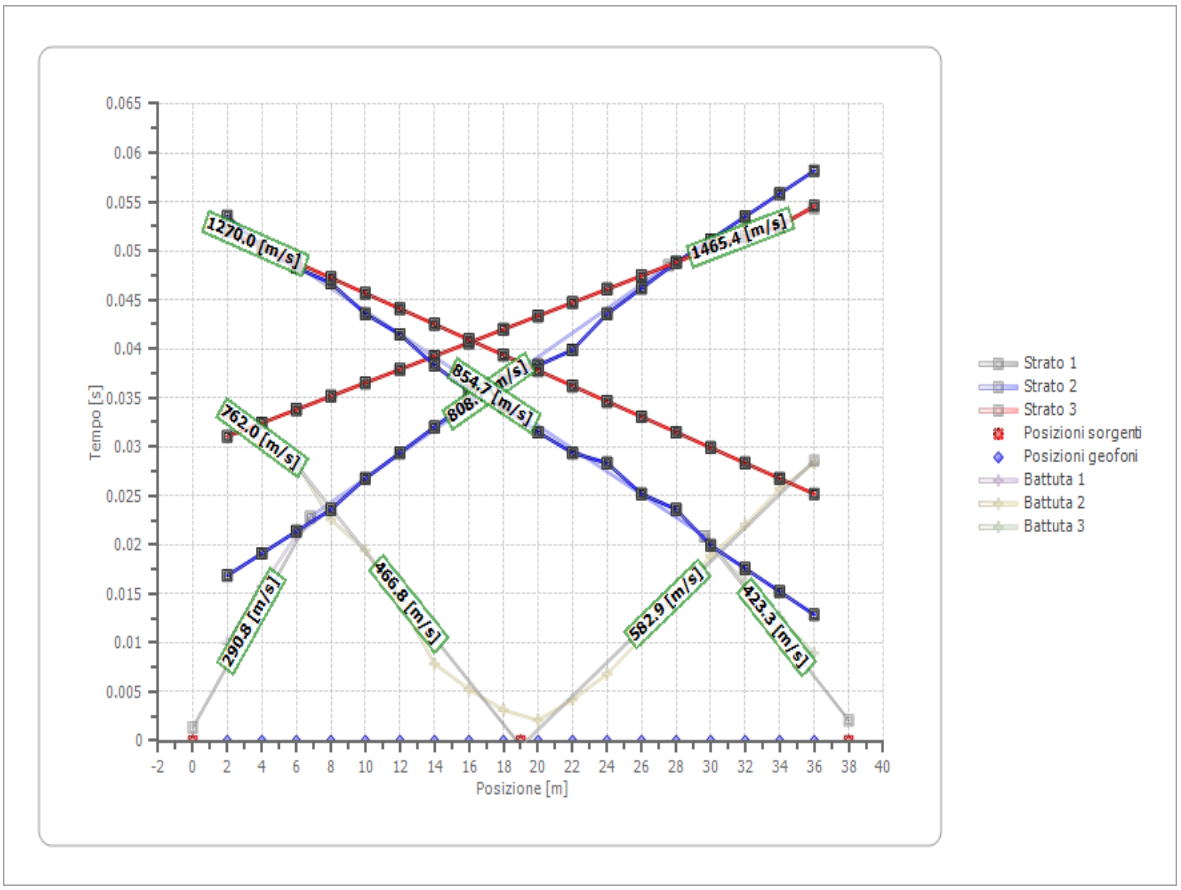
Per l'elaborazione della stesa sismica a rifrazione è stato utilizzato il software Easyrefract di Geostru (metodo GRM o di Palmer).

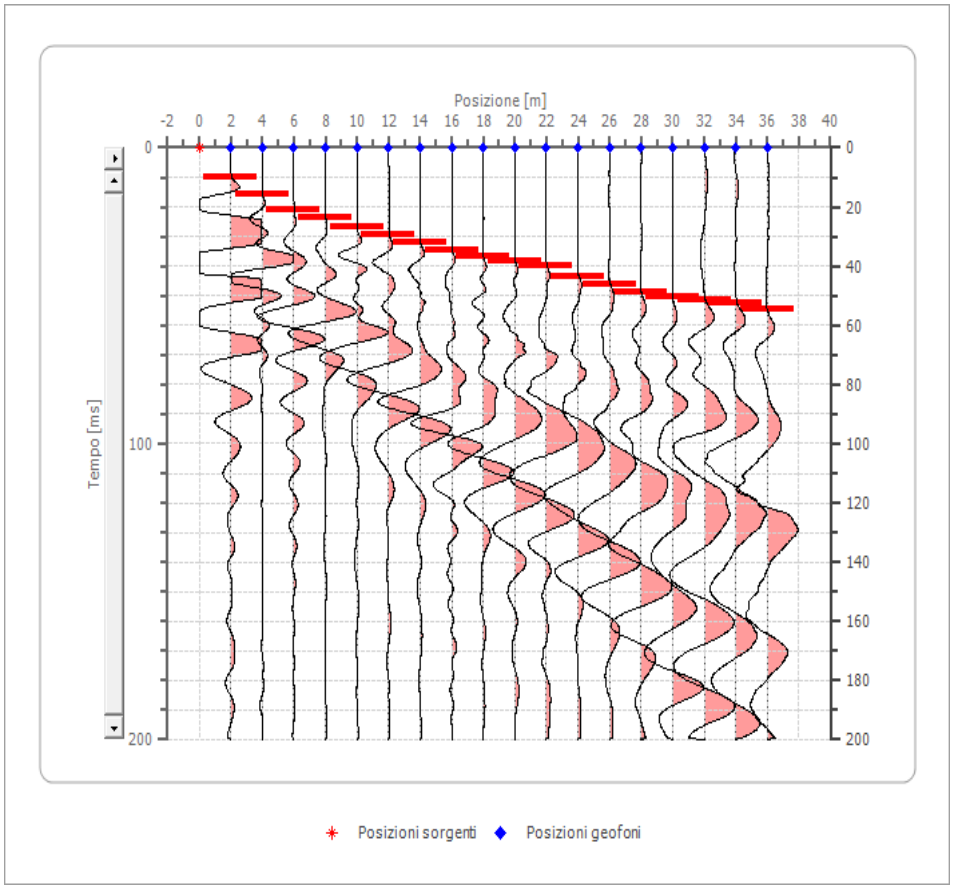
La prospezione sismica a rifrazione si basa sulla determinazione delle velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) nel terreno.

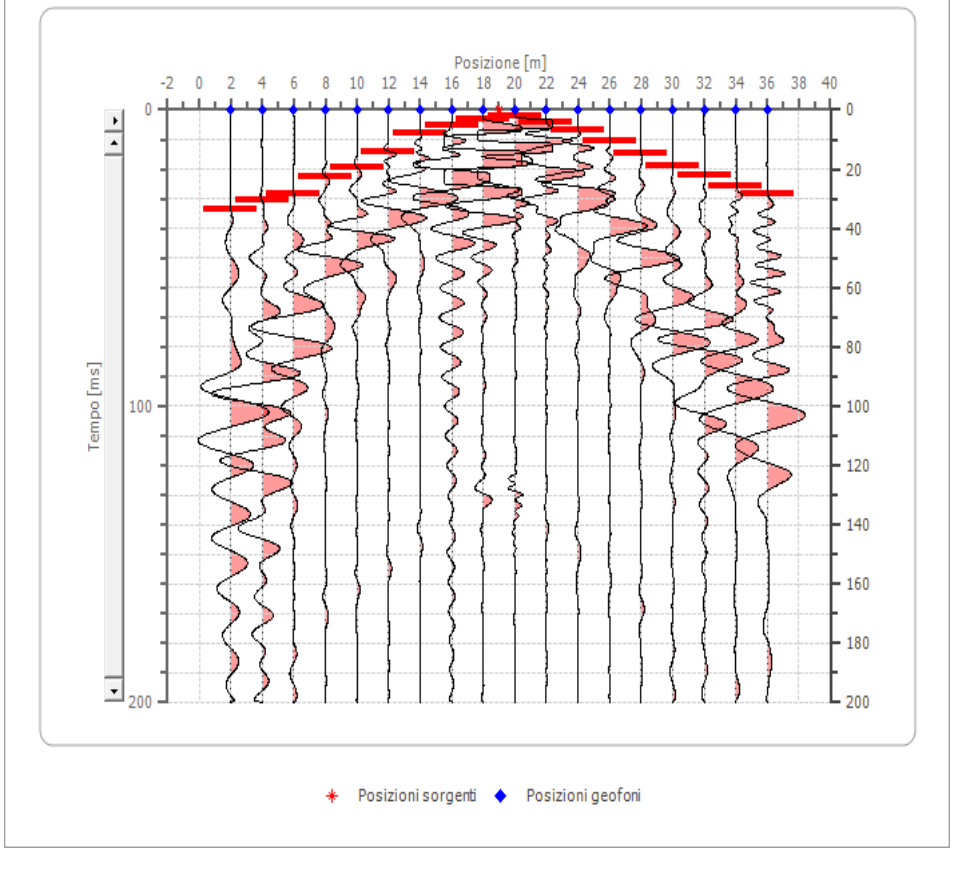
Le onde generate da una massa battente si propagano nel terreno e vengono rilevate dai geofoni, mentre i tempi di arrivo delle onde sono registrati e visualizzati sul sismografo.

Dall'elaborazione matematica dei dati si risale alla geometria dei mezzi attraversati e quindi si opera l'interpretazione grafica mediante sezioni interpretative. La profondità di investigazione è pari a circa 1/3 dello stendimento, quindi corrisponde ad una profondità di 12/13 metri dal piano di cam


Stesa sismica S1 - Lunghezza 36 metri (2 metri di offset)
[m]
0
-5
-10
-15
0
5
10
15
20
25
30
35
40
45
[m]
440.98[m/s]
835.12[m/s]
1360.71[m/s]


Tempo [s]
Posizione [m]
1270.0 [m/s]
1465.4 [m/s]
854.7 [m/s]
808.
762.0 [m/s]
290.8 [m/s]
466.8 [m/s]
582.9 [m/s]
423.3 [m/s]
Strato 1
Strato 2
Strato 3
Posizioni sorgenti
Posizioni geofoni
Battuta 1
Battuta 2
Battuta 3


Posizione [m]
-2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40
Tempo [ms]
0 100 200
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200
Posizioni sorgenti
Posizioni geofoni


Posizione [m]
-2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40
Tempo [ms]
0 100 200
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200
Posizioni sorgenti
Posizioni geofoni

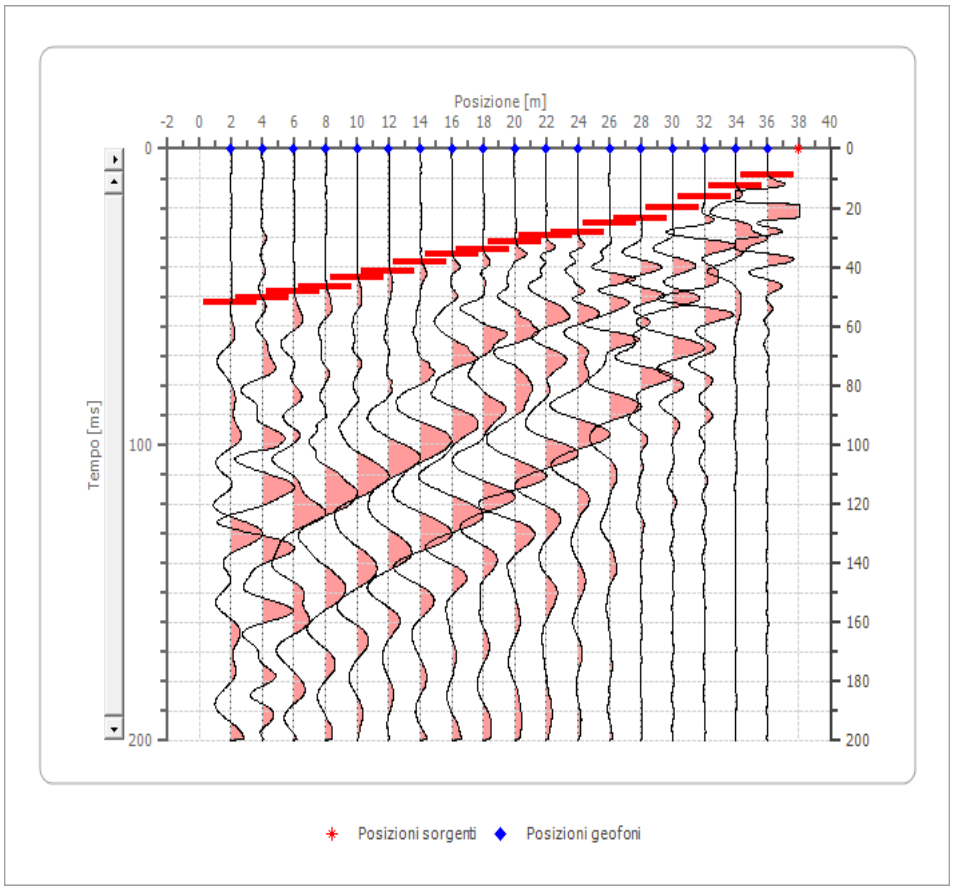




Foto 1 – Esecuzione sismica a rifrazione S1 e acquisizione Masw

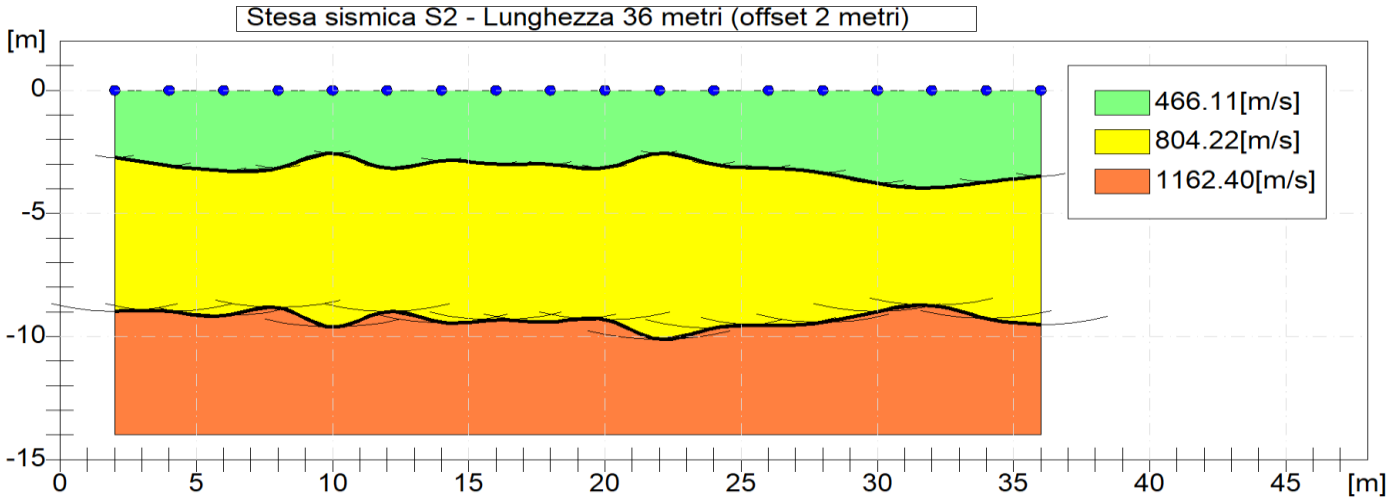
L’energizzazione di andata è a sinistra (zona Sud della stesa) dei grafici sopra riportati e l’energizzazione di ritorno a destra (zona Nord della stesa).

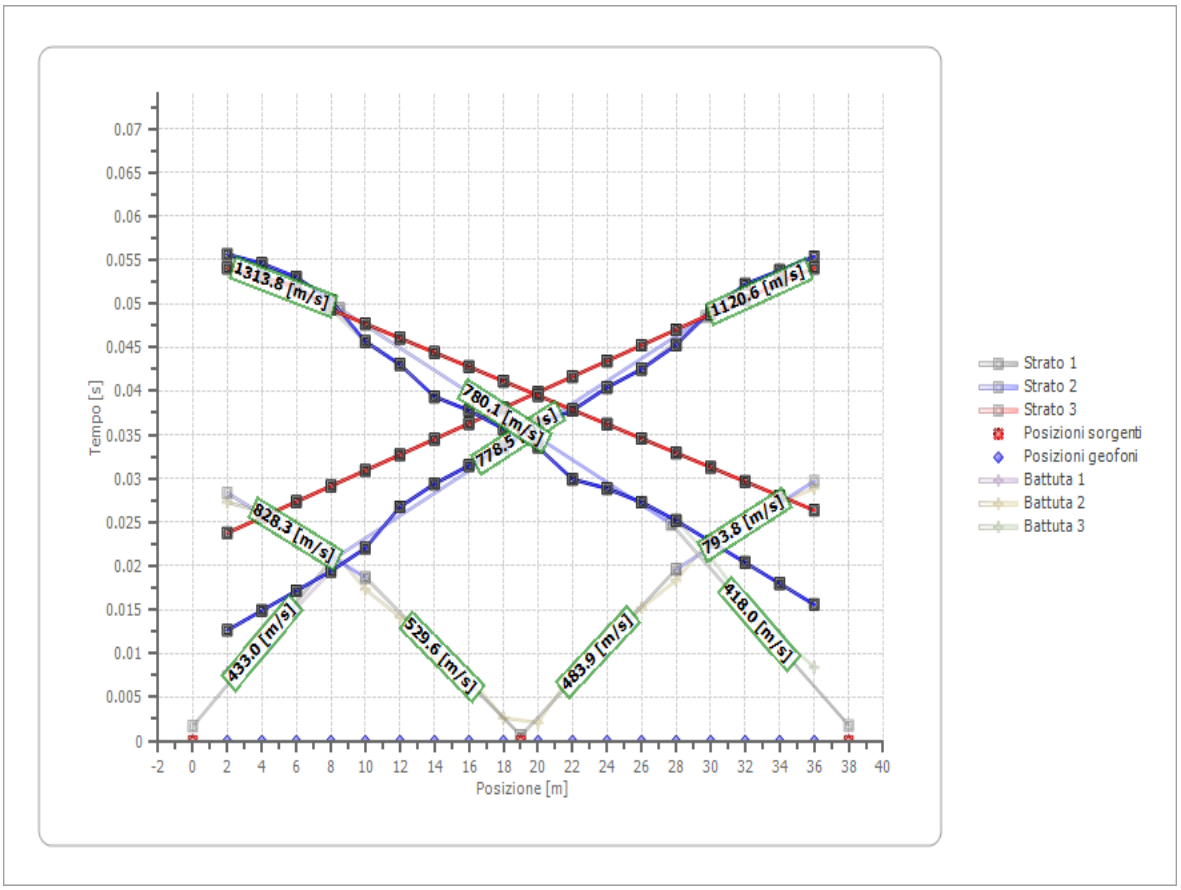
Per cui possono essere definiti i seguenti sismostrati :

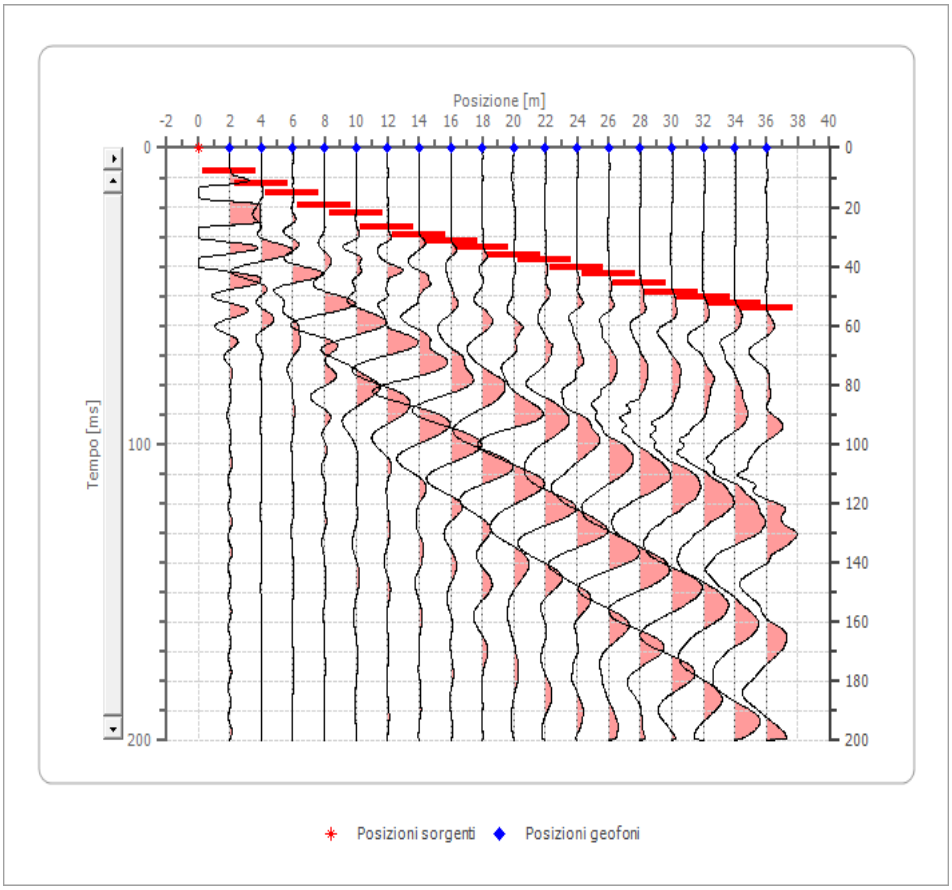
- da 0 a -3,00 m dal piano di campagna rappresentato dal giardino – Riporti antropici e livello vegetale, caratterizzati da una velocità delle onde sismiche longitudinali (Vp) pari a 0,44 km/s;

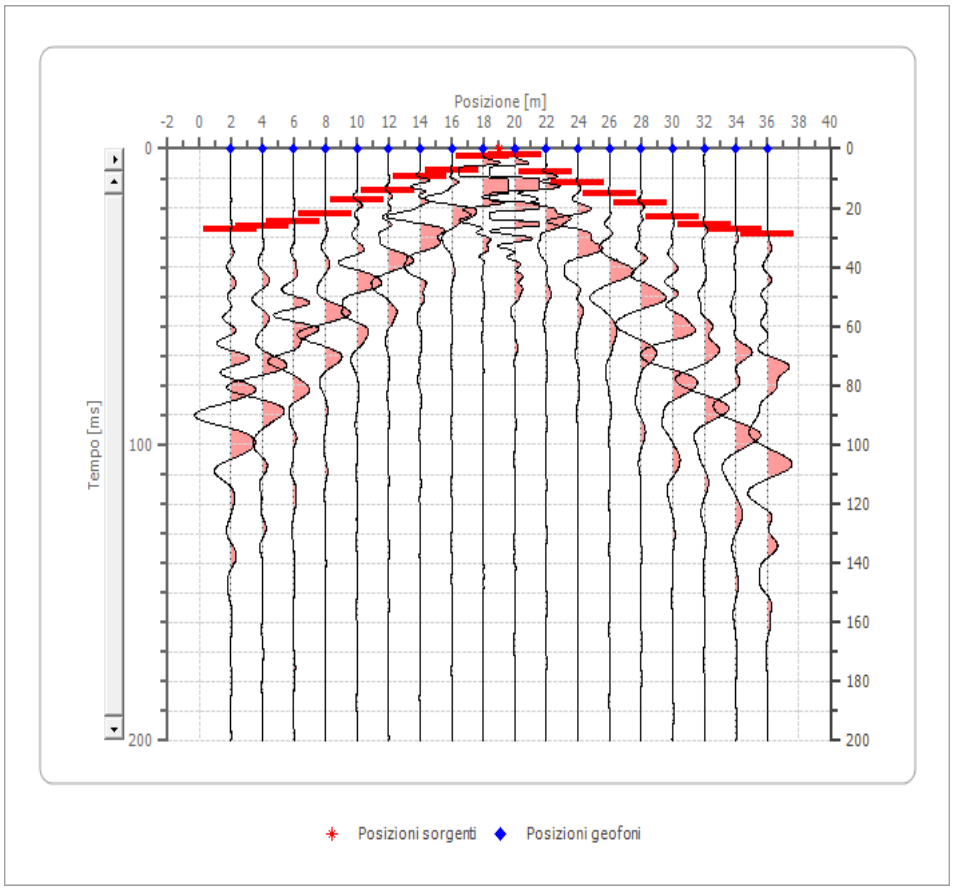
- da -3,00 a -10,00/-9,00 m dal p.c. – Depositi alluvionali, da insaturi a parzialmente saturi (sicuramente non saturi sino a -5,00 metri di profondità, viste le risultanze della prova penetrometrica PP2), caratterizzati da una velocità delle onde sismiche longitudinali (Vp) pari a 0,84 km/s;

- da -10,00/-9,00 m dal p.c. in poi – Depositi alluvionali saturi, caratterizzati da una velocità delle onde sismiche longitudinali pari a 1,36 km/s.




Tempo [s]
Posizione [m]
1313.8 [m/s]
1120.6 [m/s]
780.1 [m/s]
776.5 [m/s]
828.3 [m/s]
793.8 [m/s]
433.0 [m/s]
529.6 [m/s]
483.9 [m/s]
418.0 [m/s]
Strato 1
Strato 2
Strato 3
Posizioni sorgenti
Posizioni geofoni
Battuta 1
Battuta 2
Battuta 3


Posizione [m]
Tempo [ms]
Posizioni sorgenti
Posizioni geofoni


Posizione [m]
-2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40
Tempo [ms]
0 100 200
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200
Posizioni sorgenti
Posizioni geofoni

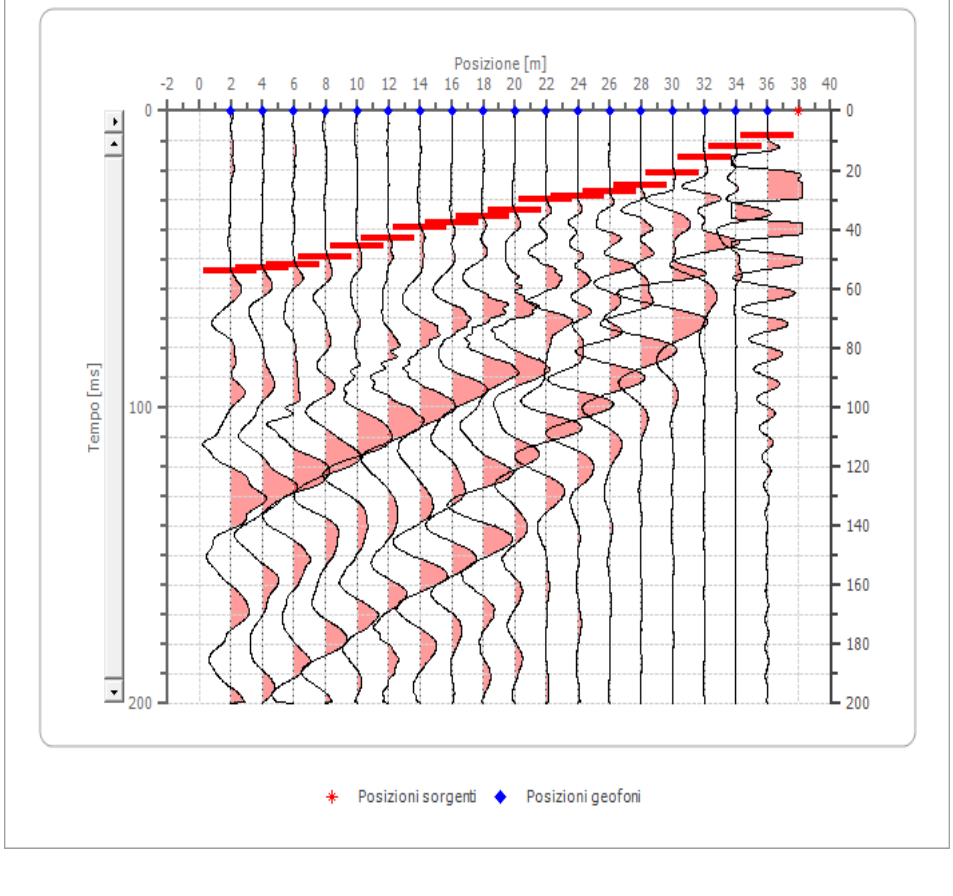

Posizione [m]
-2 0 2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40
Tempo [ms]
0 100 200
0 20 40 60 80 100 120 140 160 180 200
Posizioni sorgenti
Posizioni geofoni



Foto 2 – Esecuzione sismica a rifrazione S2 e acquisizione Masw

L'energizzazione di andata è a sinistra (zona Sud della stesa) dei grafici sopra riportati e l'energizzazione di ritorno a destra (zona Nord della stesa).

Per cui possono essere definiti i seguenti sismostrati :

- da 0 a -2,50 m dal piano di campagna rappresentato dal giardino – Riporti antropici e livello vegetale, caratterizzati da una velocità delle onde sismiche longitudinali (Vp) pari a 0,47 km/s;

- da -2,50 a -10,00/-9,00 m dal p.c. – Depositi alluvionali, da insaturi a parzialmente saturi (sicuramente non saturi sino a -5,00 metri di profondità, viste le risultanze della prova penetrometrica PP2), caratterizzati da una velocità delle onde sismiche longitudinali (Vp) pari a 0,80 km/s;

- da -10,00/-9,00 m dal p.c. in poi – Depositi alluvionali saturi, caratterizzati da una velocità delle onde sismiche longitudinali pari a 1,16 km/s.

Acquisizioni Masw

Per una valutazione della velocità delle onde sismiche trasversale (Vs) nei primi 30 metri di profondità (a partire dalla quota 0 m costituita dal giardino), sono state eseguite delle acquisizioni Masw.

L'apparecchiatura impiegata è quella descritta nel precedente paragrafo, mentre le registrazioni sono state eseguite in corrispondenza dell'andata e del ritorno della prospezione sismica a rifrazione.

Il metodo MASW è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè le onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che le onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli stati più profondi del suolo. Il metodo MASW si distingue in metodo attivo e metodo passivo, nel nostro caso è stato considerato il metodo attivo, ovvero eseguendo una energizzazione tramite mazza battente.

Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70 Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, in funzione della rigidezza del suolo.

Il metodo MASW (attivo) consiste in tre fasi (Roma 2002): la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale, la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica, la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp (o in maniera alternativa alle velocità Vp è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo assegnato.

Per l'elaborazione è stato impiegato il software "MASW" dell'Ing. Vitantonio Roma, per una dettagliata descrizione del metodo Masw e del programma fare riferimento a "Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) di Vitantonio Roma (Libri Tecnici Professionali Editrice – 2006).

Nel dettaglio sono state eseguite circa quattro registrazioni MASW (in seguito, in fase di elaborazione è stata effettuata una scelta della registrazione migliore), in corrispondenza di entrambi gli estremi delle stese, energizzando con la mazza per una durata ciascuna pari a due secondi.

Di seguito si riporta parte dell'elaborazione di una acquisizione di ritorno eseguita in corrispondenza della Stesa S1:

“ 1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce\\Mac\Home\Desktop\Relazioni\Gianstefano Oddera\Taggia \s1 36 metri\ritorno\masw7.drm
Numero di ricevitori 18
Distanza tra i sensori: 2m
Numero di campioni temporali 10000
Passo temporale di acquisizione 0.2ms
Numero di ricevitori usati per l’analisi 18
L’intervallo considerato per l’analisi comincia a 0ms
L’intervallo considerato per l’analisi termina a 1999.8ms
I ricevitori sono invertiti (l’ultimo ricevitore nel file è il primo per l’analisi)

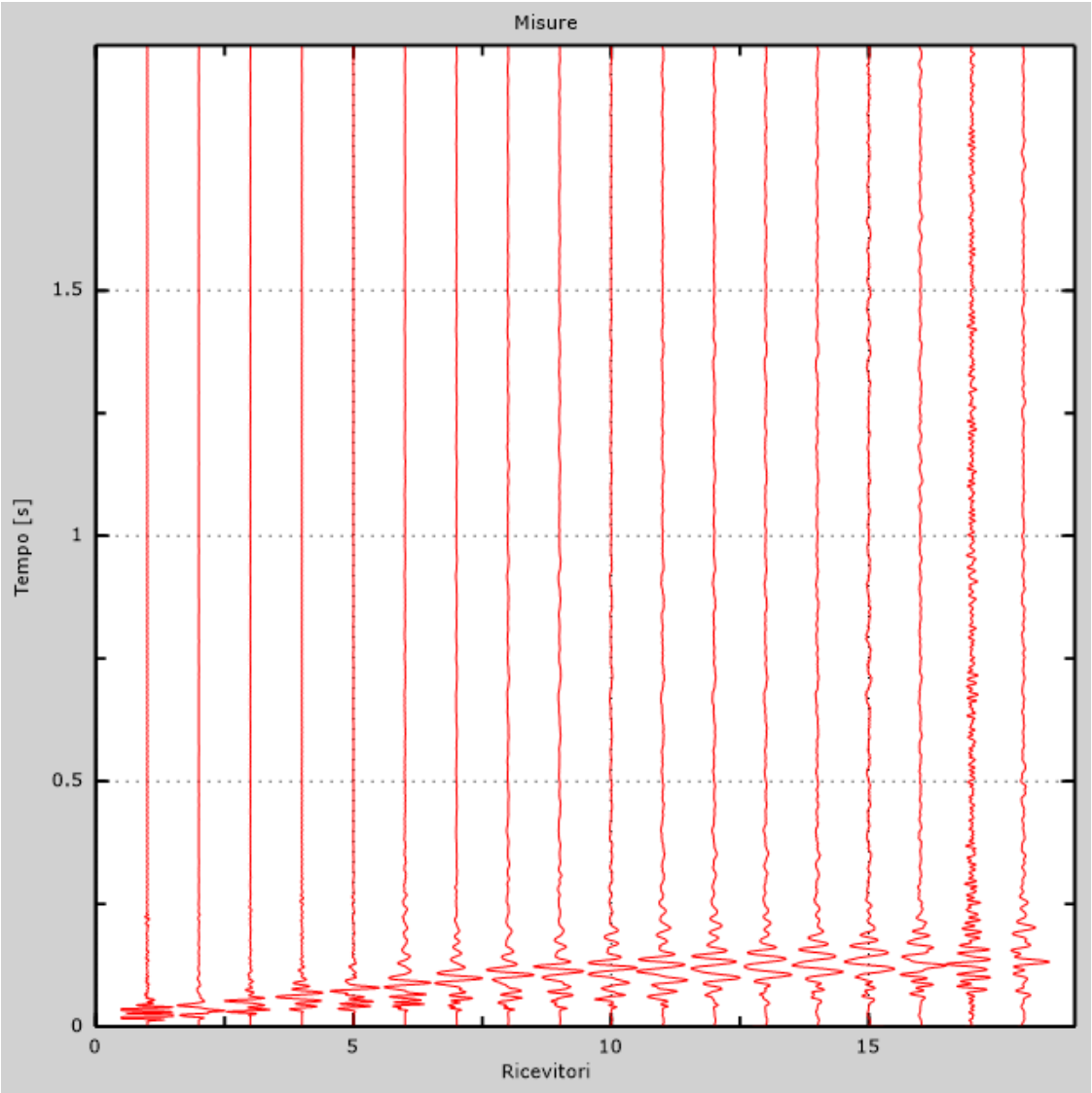


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

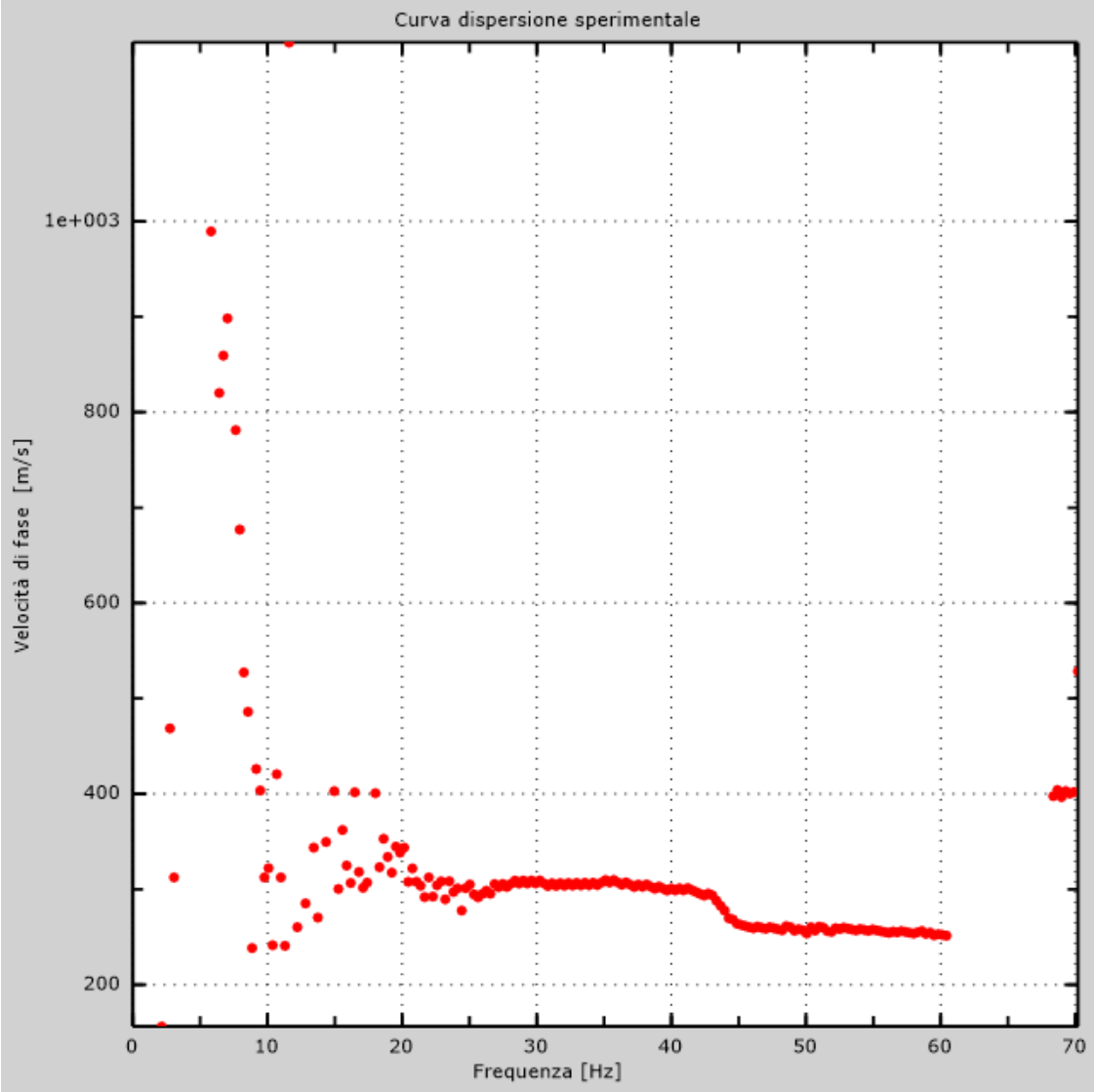


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1:Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
5.95074	970.34	945.531	995.149
7.5489	707.367	677.596	737.137
8.5078	518.819	469.202	568.437
11.1714	374.928	295.54	454.316
15.3266	340.196	250.884	429.508
21.7193	310.425	245.922	374.928
35.2503	310.425	265.769	355.081
50.4861	255.846	231.037	280.655
59.3293	255.846	126.84	384.852

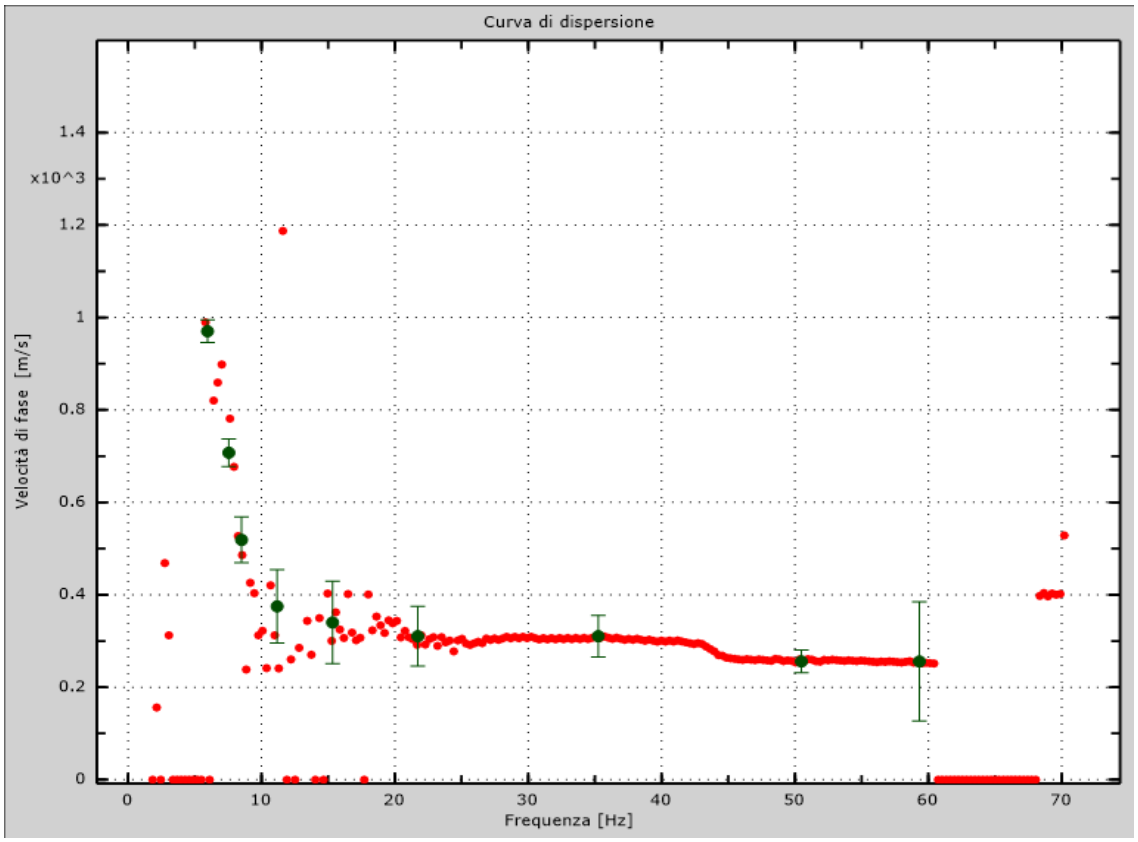


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) 9
Spaziatura ricevitori [m] 2m
Numero ricevitori 18
Numero modi 1

Strato 1

h [m] 3
z [m] ..... -3
Densità [kg/m^3] 1900
Poisson 0.2
Vs [m/s] 270
Vp [m/s] 441
Vs min [m/s] 142
Vs max [m/s] 405
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 270

Strato 2

h [m] 0.5
z [m] ..... -3.5
Densità [kg/m^3] 2000
Poisson 0.25
Vs [m/s] 277
Vp [m/s] 480
Vs min [m/s] 172
Vs max [m/s] 416
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 277

Strato 3

h [m] 6.5
z [m] ..... -10
Densità [kg/m^3] 2000
Poisson 0.42
Vs [m/s] 310
Vp [m/s] 835
Vs min [m/s] 172
Vs max [m/s] 465
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 310

Strato 4

h [m] 0.5
z [m] ..... -10.5
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson 0.45
Vs [m/s] 362
Vp [m/s] 1201
Vs min [m/s] 189
Vs max [m/s] 543
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 362

Strato 5

h [m] 3.5
z [m] ..... -14
Densità [kg/m^3] 2200
Poisson 0.46
Vs [m/s] 370
Vp [m/s] 1359
Vs min [m/s] 208
Vs max [m/s] 555
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 370

Strato 6

h [m] 5
z [m] ..... -19
Densità [kg/m^3] 2200
Poisson 0.46
Vs [m/s] 417
Vp [m/s] 1532
Vs min [m/s] 208
Vs max [m/s] 833
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 417

Strato 7

h [m] 5
z [m] ..... -24
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 802
Vp [m/s] 1715
Vs min [m/s] 288
Vs max [m/s] 1203
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 802

Strato 8

h [m] 6
z [m] ..... -30
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 850
Vp [m/s] 1817
Vs min [m/s] 288
Vs max [m/s] 1275
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 850

Strato 9

h [m] 0
z [m] ..... -oo
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1290
Vp [m/s] 2758
Vs min [m/s] 539
Vs max [m/s] 1935
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1290

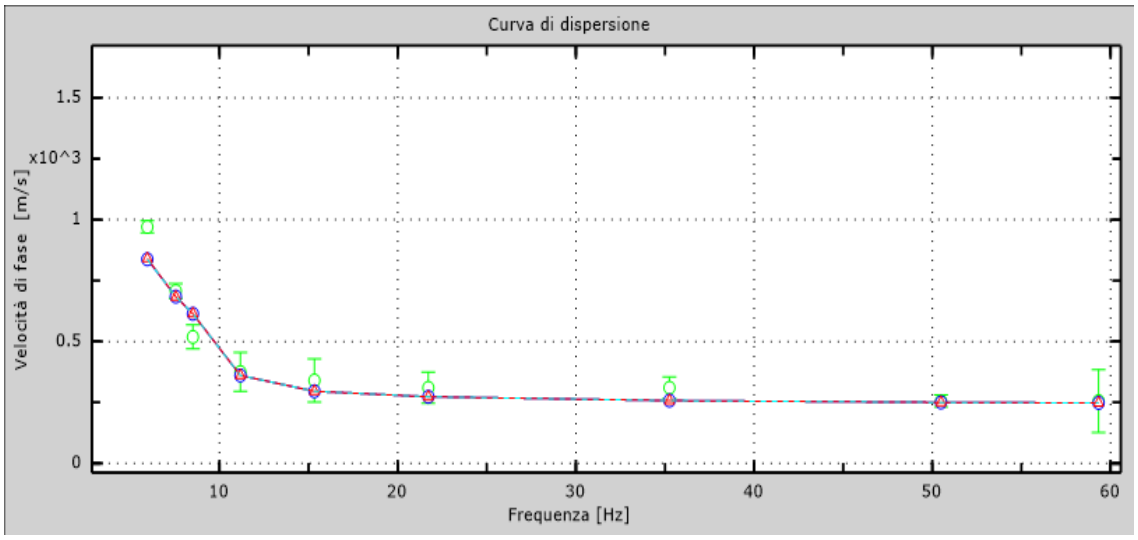


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

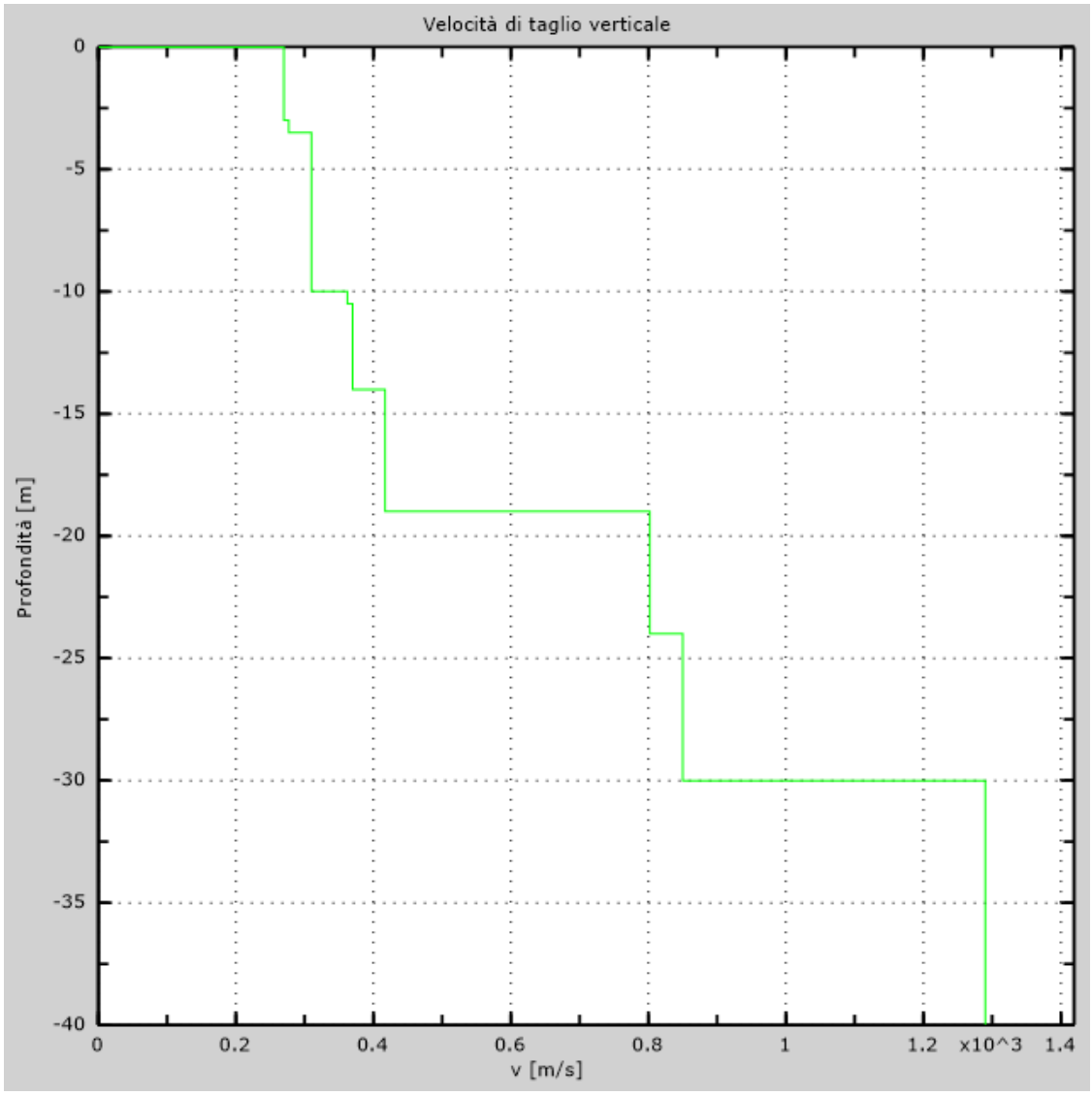


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0
Vs30 (NTC 2008) [m/s] 428
Vsequivalenti (NTC 2018) [m/s] .....335”

Di seguito si riporta parte dell’elaborazione di una acquisizione di andata eseguita in corrispondenza della Stesa S2:

“

1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce\\Mac\Home\Desktop\Relazioni\Gianstefano Oddera\Taggia\s2 36 metri\andata\masw2.drm

Numero di ricevitori 18
Distanza tra i sensori:..... 2m
Numero di campioni temporali 10000
Passo temporale di acquisizione.....0.2ms
Numero di ricevitori usati per l’analisi.....18
L’intervallo considerato per l’analisi comincia a 0ms
L’intervallo considerato per l’analisi termina a 1999.8ms
I ricevitori non sono invertiti (l’ultimo ricevitore è l’ultimo per l’analisi)

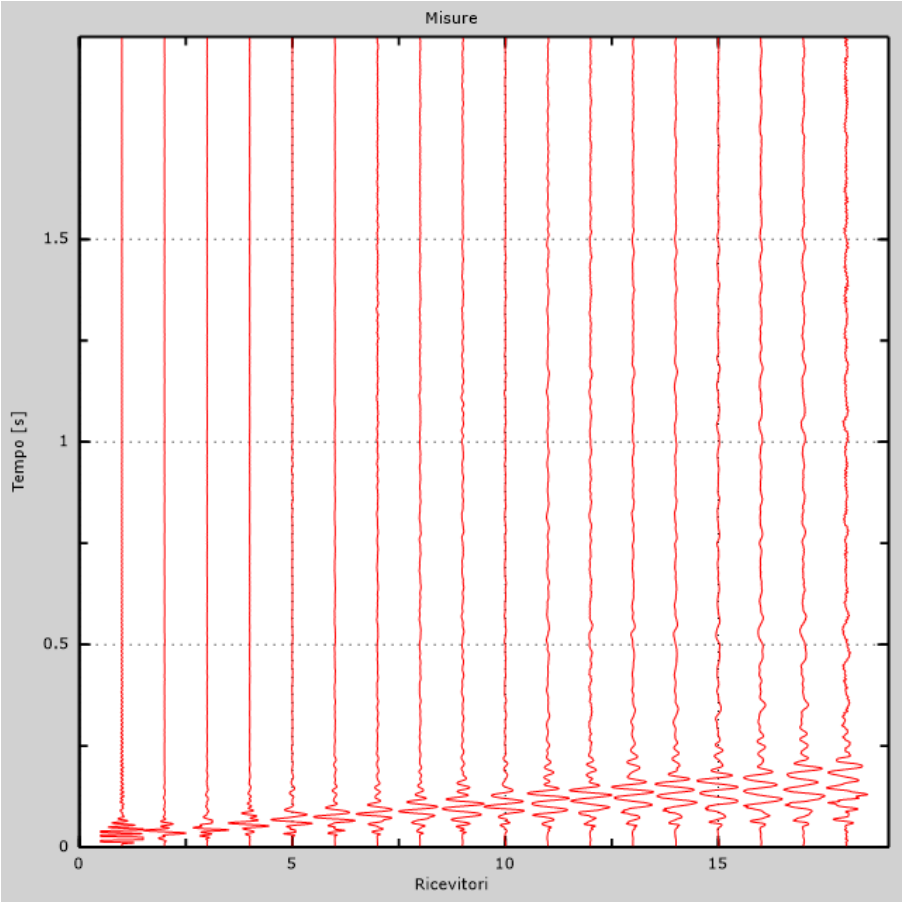


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

Frequenza finale..... 70Hz
Frequenza iniziale 2Hz

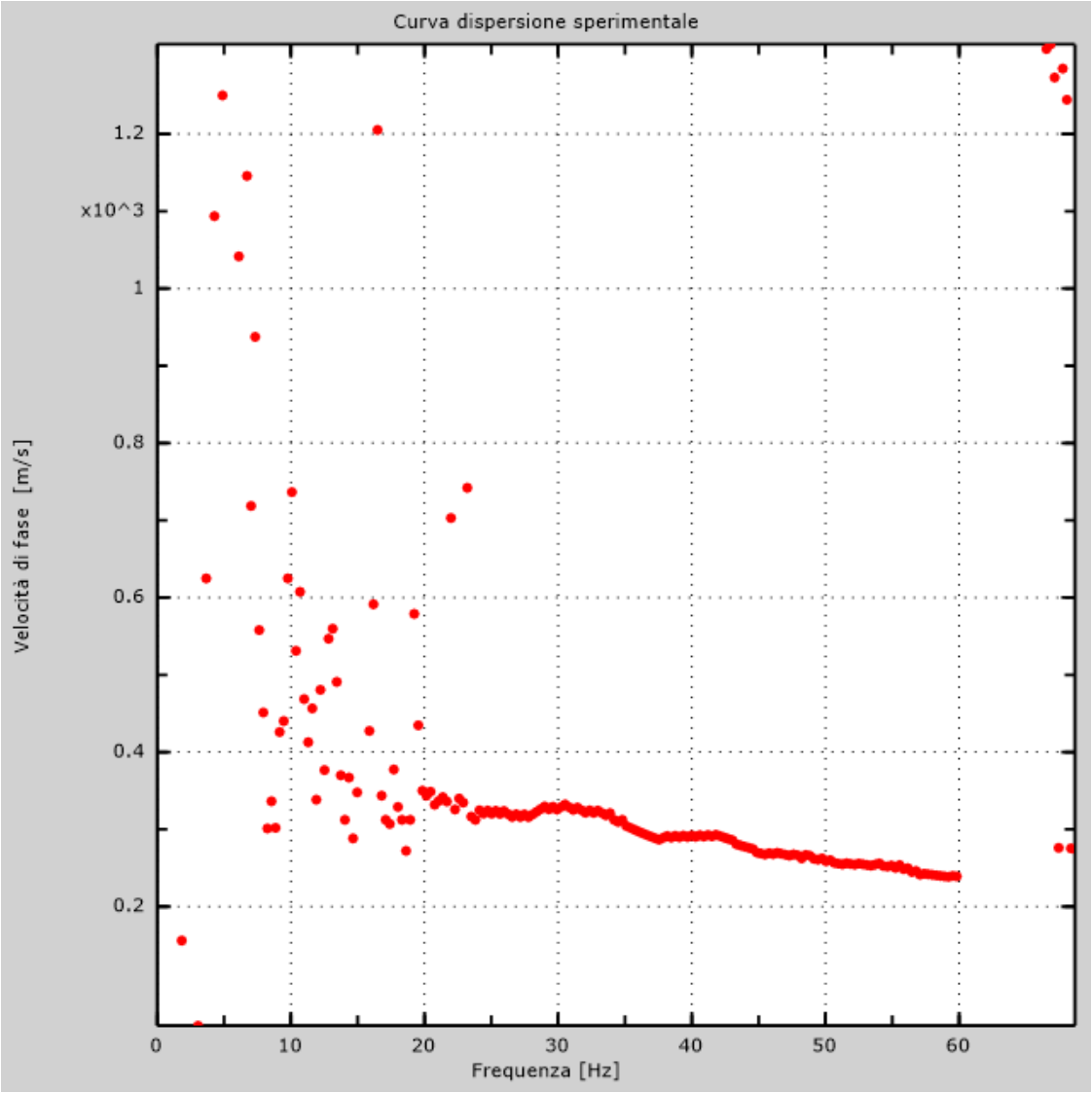


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

3 - Curva di dispersione

Tabella 1:Curva di dispersione

Freq. [Hz]	V. fase [m/s]	V. fase min [m/s]	V. fase Max [m/s]
7.95013	946.952	887.399	1006.5
9.84208	734.796	686.41	783.182
10.2872	563.583	541.251	585.915
11.2889	466.81	448.2	485.42
14.2937	358.871	343.983	373.759
24.8664	321.651	310.485	332.817
35.8842	295.597	280.709	310.485
47.5698	269.543	232.322	306.763
59.5892	232.322	146.716	317.929

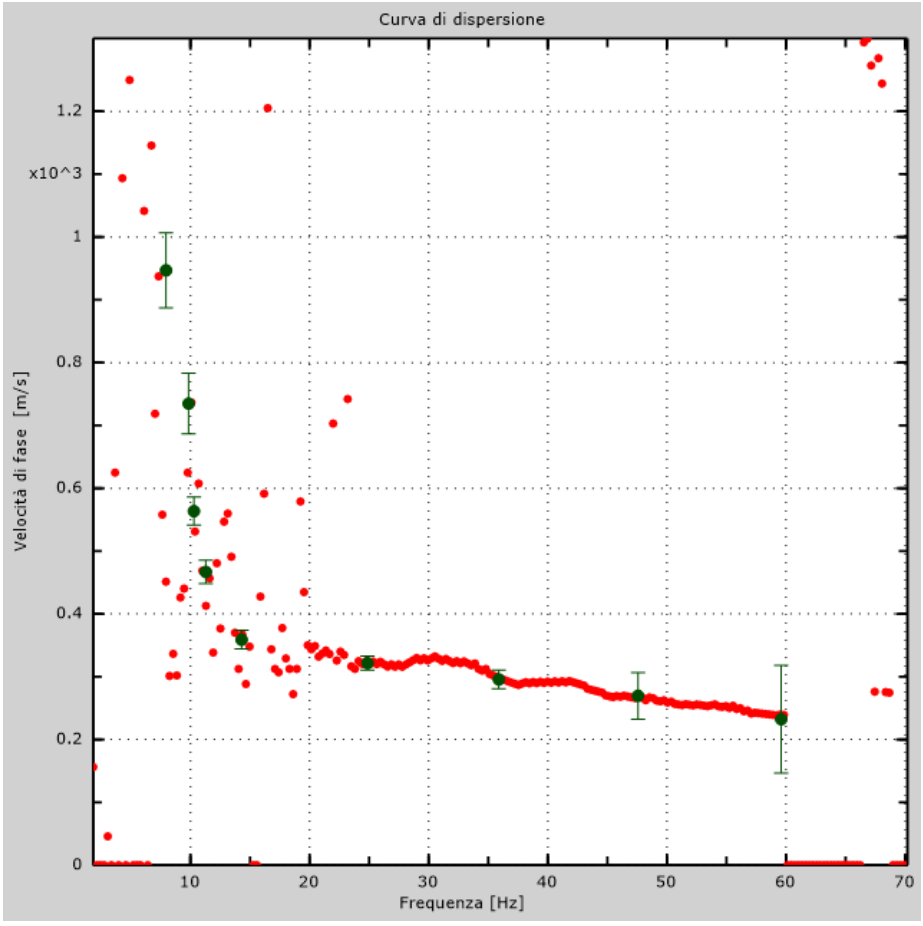


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

Numero di strati (escluso semispazio) 9
Spaziatura ricevitori [m] 2m
Numero ricevitori 18
Numero modi 1

Strato 1

h [m] 1,8
z [m] ..... -1.8
Densità [kg/m^3] 1900
Poisson 0.2
Vs [m/s] 285
Vp [m/s] 465
Vs min [m/s] 129
Vs max [m/s] 428
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 285

Strato 2

h [m] 0,2
z [m] ..... -2
Densità [kg/m^3] 2000
Poisson 0.25
Vs [m/s] 289
Vp [m/s] 501
Vs min [m/s] 164
Vs max [m/s] 434
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 289

Strato 3

h [m] 6,0
z [m] ..... -8
Densità [kg/m^3] 2000
Poisson 0.42
Vs [m/s] 299
Vp [m/s] 805
Vs min [m/s] 179
Vs max [m/s] 449
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 299

Strato 4

h [m] 0,5
z [m] ..... -8.5
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson 0.45
Vs [m/s] 301
Vp [m/s] 998
Vs min [m/s] 199
Vs max [m/s] 452
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 301

Strato 5

h [m] 3,3
z [m] ..... -11.8
Densità [kg/m^3] 2200
Poisson 0.46
Vs [m/s] 316
Vp [m/s] 1161
Vs min [m/s] 259
Vs max [m/s] 474
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 316

Strato 6

h [m] 6
z [m] ..... -17.8
Densità [kg/m^3] 2200
Poisson 0.46
Vs [m/s] 519
Vp [m/s] 1907
Vs min [m/s] 259
Vs max [m/s] 1037
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 519

Strato 7

h [m] 5
z [m] ..... -22.8
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 805
Vp [m/s] 1721
Vs min [m/s] 313
Vs max [m/s] 1208
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 805

Strato 8

h [m] 5,2
z [m] ..... -28
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 900
Vp [m/s] 1924
Vs min [m/s] 408
Vs max [m/s] 1350
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 900

Strato 9

h [m] 0
z [m] ..... -oo
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1350
Vp [m/s] 2886
Vs min [m/s] 526
Vs max [m/s] 2025
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1350

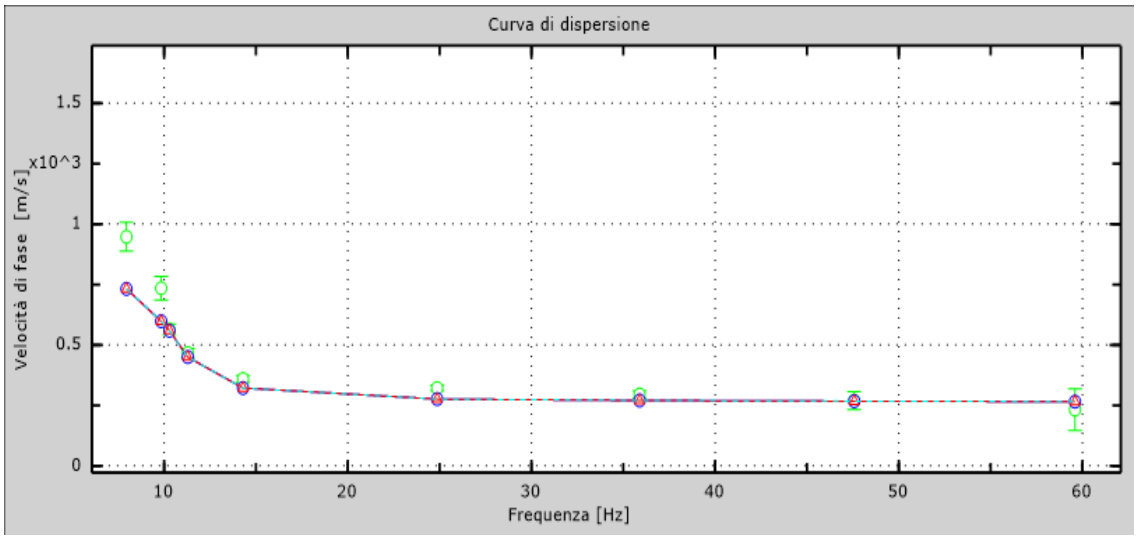


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

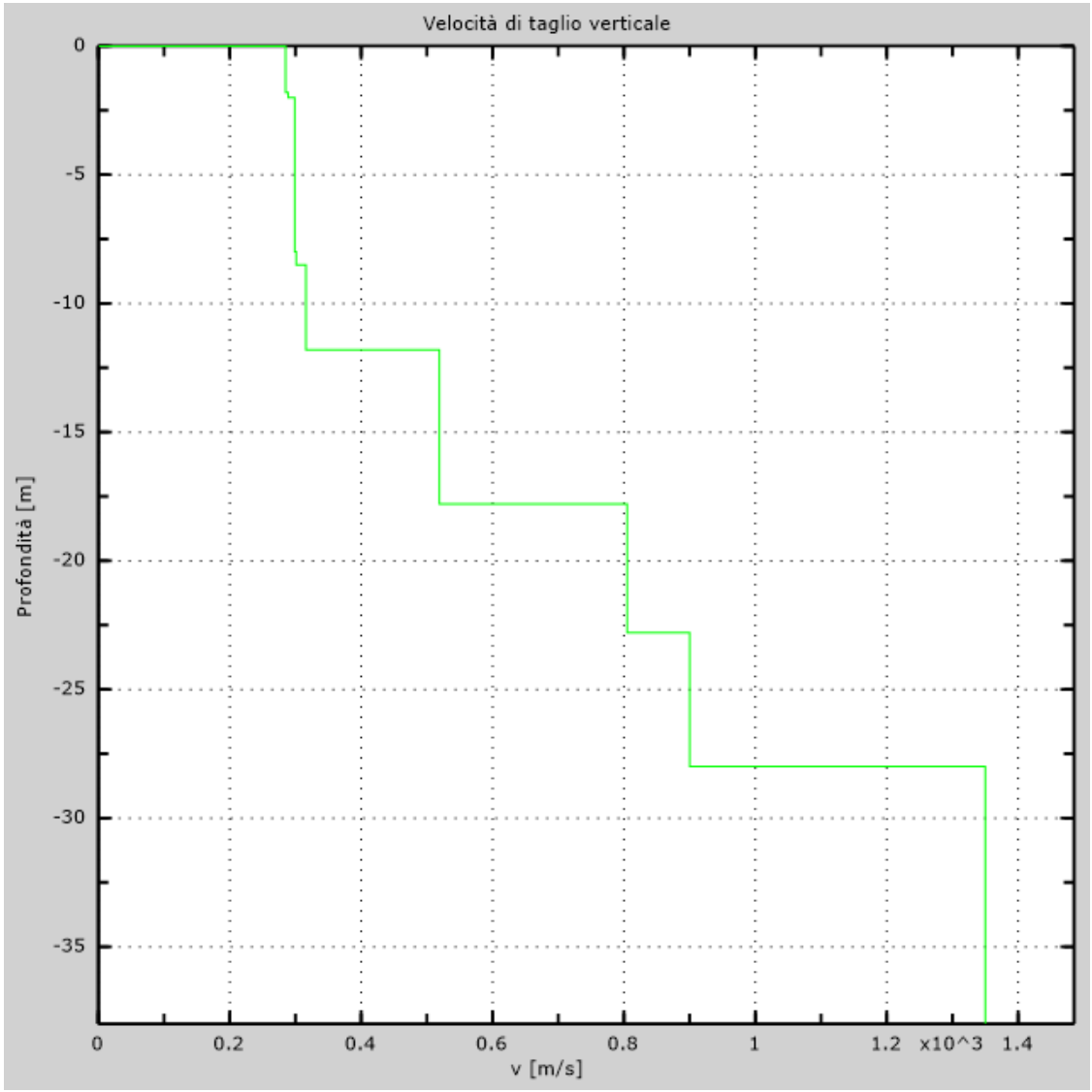


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0
Vs30 (NTC 2008)[m/s] 467
Vsequivalenti (NTC 2018)[m/s] ..... 350”

Acquisizioni con tromografo digitale “Theremino”

Il metodo HVSR, come tutti gli altri metodi geofisici, ha bisogno di essere interpretato dall'utente sulla base delle conoscenze geologiche dell'area. Esso si basa sulla misura dei microtremori ambientali (derivanti ad esempio da attività antropica, dal moto ondoso del mare, dal vento, ecc..), misurati nelle tre componenti (due orizzontali e una verticale).

Come tutte le indagini indirette hanno il vantaggio di misurare i parametri geofisici del terreno in sito ma non è sempre facile risalire al profilo geologico reale.

La tecnica HVSR consente di valutare la frequenza di risonanza di uno strato soffice a partire dalle sole registrazioni di superficie. In particolare, Nakamura (1989) ha ipotizzato che la componente verticale del rumore sismico ambientale (di varia origine, come sopra indicato) fosse relativamente non influenzata dai sedimenti. Per cui il rapporto H/V tra lo spettro di Fourier delle componenti orizzontale e verticali è stato messo in evidenza come una stima affidabile della risposta di sito alle onde S, non solo per la frequenza di risonanza, ma anche per la relativa amplificazione, partendo dall'ipotesi che la divisione della componente verticale assunta come riferimento, permettesse di rimuovere gli effetti della sorgente, oltre a quelli dovuti alle onde di Rayleigh.

Se ad esempio consideriamo la struttura geologica di un deposito sedimentario (ad esempio depositi alluvionali in una valle fluviale), si nota che il tremore misurato in superficie può essere considerato come costituito da onde superficiali e da onde di volume (come le onde longitudinali). Queste sono modificate dall'azione filtrante operata dallo strato soffice. In base a questo si possono definire due spettri relativi alle misure del moto superficiale orizzontale (misurati dai due geofoni orizzontali) e verticale (misurati dal geofono verticale).

Il software open source Geopsy permette di definire il rapporto H/V, secondo i criteri di attendibilità stabiliti dal progetto SESAME, partendo dalle registrazioni delle vibrazioni misurate sui tre assi dal tromografo digitale.

I metodi d'inversione tendono a comparare i dati acquisiti con quelli calcolati fino a quando non si riesce a trovare la migliore sovrapposizione (come nel caso del programma Dinver, collegato al programma open source Geopsy). Quindi è eseguita una serie di tentativi, sulla base di algoritmi di calcolo, al fine di ottenere la sovrapposizione migliore con i dati sperimentali (ovvero quelli acquisiti durante le registrazioni dei microtremori).

Sulla base di queste sovrapposizioni e di calcoli il software Dinver permette di ottenere una stima dell'andamento delle velocità delle onde P (longitudinali) e delle onde S (di taglio o seconde) in base alla profondità (e quindi di determinare il valore delle Vs30 richiesto dalla normativa italiana), previa la definizione di una modellazione del terreno investigato. Quindi i calcoli sono vincolati alla preliminare conoscenza della stratigrafia di massima del terreno investigato (nel nostro caso grazie alle prove penetrometriche ed alle altre indagini geofisiche eseguite). Questo al fine di evitare di ottenere delle stratigrafie sismiche delle onde P e S non veritiere rispetto al modello geologico che si sta analizzando.

Nel caso di situazioni stratigrafiche consone con il metodo utilizzato generalmente si ottengono dati molto simili alla situazione geologica reale.

La strumentazione e il software utilizzati in questo caso sono costituiti da:

- scheda madre Theremino master, con uscita USB (Strumenti 1 e 2);
- Adc 24 bit (Strumento 1);
- n. 3 geoamplificatori (Strumento 2);
- n. 2 geofoni orizzontali da 4,5 hz (Strumenti 1 e 2);
- n. 1 geofono verticale da 4,5 hz (Strumenti 1 e 2);
- Frequenza di campionamento 125, 150, 200, 250, 333, 500 Hz (Strumenti 1 e 2);
- Durata acquisizione 10, 20, 30 minuti (Strumenti 1 e 2);
- Registrazione dei dati acquisiti in formato *.SAF (Strumenti 1 e 2);
- pc Windows compatibile con software Theremino-Dolfrang (per visionare e acquisire i dati in tempo reale);
- software open source “geopsy”, per l'elaborazione del diagramma H/V-frequenza;
– software open source “dinver”, per l'elaborazione di stratigrafie indicative delle onde S, P e della densità sismica dei terreni investigati.



Foto 1 – Ubicazione acquisizione HVSR 1 eseguita in prossimità del confine est del lotto di intervento (Strumento 1)

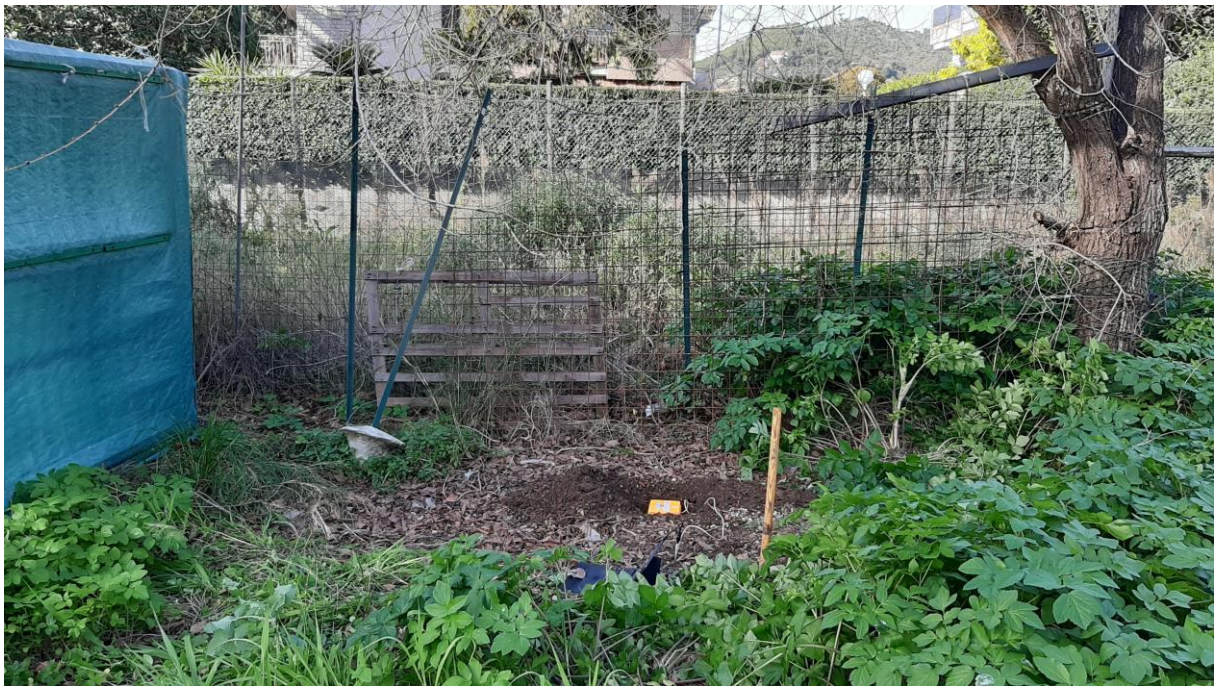


Foto 2 – Ubicazione acquisizione HVSR 2 eseguita in prossimità della prova penetrometrica PP2 (Strumento 2)

La durata delle registrazioni è stata pari a 30 minuti, il segnale è stato elaborato con il software Geopsy per definire la frequenza propria del terreno (vedere figura sottoriportata).

Una prima stima dello spessore del livello detritico superficiale può essere eseguita con l'uso della tabella sotto riportata (da http://comunitadigeologia.blogspot.it/2015/03/4-correlazione-vs-hz-per-hvsr.html).

CORRELAZIONE VS - Hz per HVSR - (Calcolo empirico per determinare la stratigrafia tramite un sondaggio HVSR)

In presenza di sedimenti granulari si può ipotizzare che la Vs dipenda principalmente dal carico della colonna stratigrafica soprastante.

Se il sedimento risponde a tale legge si può considerare valida la seguente relazione che lega la frequenza di risonanza con la profondità.

La tabella sottostante riporta la frequenza di risonanza (prima colonna) con la profondità di tre tipi di terreni:

1) terreni coesivi

2) sabbie

3) terreni rimaneggiati

Tali tabelle sono state ricavate sperimentalmente calcolando la funzione interpolatrice di un certo numero di sondaggi, pertanto i dati così calcolati sono puramente indicativi ed utili per valutare le profondità corrispondenti ai principali picchi di un sondaggio HVSR per avere una idea di massima della stratigrafia del sito. Nel caso in esame, per quanto riguarda l'acquisizione HVSR 1 il picco relativo a 3,28 hz è probabilmente dovuto alla presenza del substrato pliocenico al di sotto dei depositi alluvionali dello spessore di 19-20 metri. Anche quanto invece riguarda l'acquisizione HVSR 2 il picco rilevato a 3,80 Hz è probabilmente dovuto alla presenza del substrato pliocenico alla profondità di 18-20 metri dall'attuale piano di campagna del sito di intervento.

Tabella 1

	terreni coesivi	sabbie	terreni rimaneggiati coesivi		terreni coesivi	sabbie	terreni rimaneggiati coesivi
Vo=	190,0	170,0	110,0	Vo=	190,0	170,0	110,0
a=	0,20	0,25	0,40	a=	0,20	0,25	0,40
Hz	H	H	H	Hz	H	H	H
100,00	0,50	0,45	0,29	4,80	14	14	11
95,00	0,52	0,47	0,31	4,50	16	15	12
90,00	0,55	0,50	0,32	4,20	17	17	13
85,00	0,59	0,53	0,34	4,00	18	18	14
80,00	0,63	0,56	0,37	3,80	19	19	15
75,00	0,67	0,60	0,39	3,60	20	20	17
70,00	0,72	0,65	0,42	3,40	22	22	18
65,00	0,78	0,70	0,46	3,30	23	22	19
60,00	0,85	0,76	0,50	3,10	24	24	21
55,00	0,93	0,84	0,55	3,00	25	25	22
50,00	1,03	0,93	0,61	2,90	26	26	23
45,00	1,1	1,0	0,7	2,80	27	28	24
43,00	1,2	1,1	0,7	2,70	29	29	25
40,00	1,3	1,2	0,8	2,60	30	30	50
37,00	1,4	1,3	0,8	2,50	32	32	
34,00	1,6	1,4	0,9	2,40	33	34	
32,00	1,7	1,5	1,0	2,30	35	36	
30,00	1,8	1,6	1,1	2,20	37	38	
28,00	1,9	1,8	1,2	2,10	39	40	
27,00	2,0	1,8	1,2	2,00	41	42	
25,00	2,2	2,0	1,3	1,90	44	45	
24,00	2,3	2,1	1,4	1,80	47	49	
23,00	2,4	2,2	1,5	1,70	50	52	
22,00	2,5	2,3	1,5	1,60	54	57	
21,00	2,6	2,4	1,6	1,50	59	62	
20,00	2,8	2,6	1,7	1,40	64	67	
19,00	2,9	2,7	1,8	1,30	70	74	
18,00	3,1	2,9	2,0	1,20	77	82	
17,00	3,3	3,1	2,1	1,10	86	92	
16,00	3,6	3,3	2,3	1,00	96	104	
15,00	3,8	3,6	2,4	0,95	103	112	
14,00	4,2	3,9	2,7	0,90	110	120	
13,00	4,5	4,2	2,9	0,85	118	129	
12,00	5,0	4,6	3,2	0,80	127	140	
11,00	5,5	5,1	3,6	0,75	138	152	
10,00	6,1	5,7	4,1	0,70	150	166	
9,00	6,9	6,5	4,7	0,65	164	183	
8,50	7,4	7,0	5,0	0,60	181	204	
8,00	7,9	7,5	5,5	0,55	202	228	
7,50	8,5	8,1	6	0,50	227	259	
7,00	9,2	8,8	7				
6,50	10,1	9,7	7				
6,00	11	11	8				
5,30	13	12	10				
5,10	13	13	10				

La tabella sopra indicata è ricavata da quanto riportato nell'articolo "INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE A SUPPORTO DELLA RICOSTRUZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO" - Dario Albarello - Università di Siena (Italy).

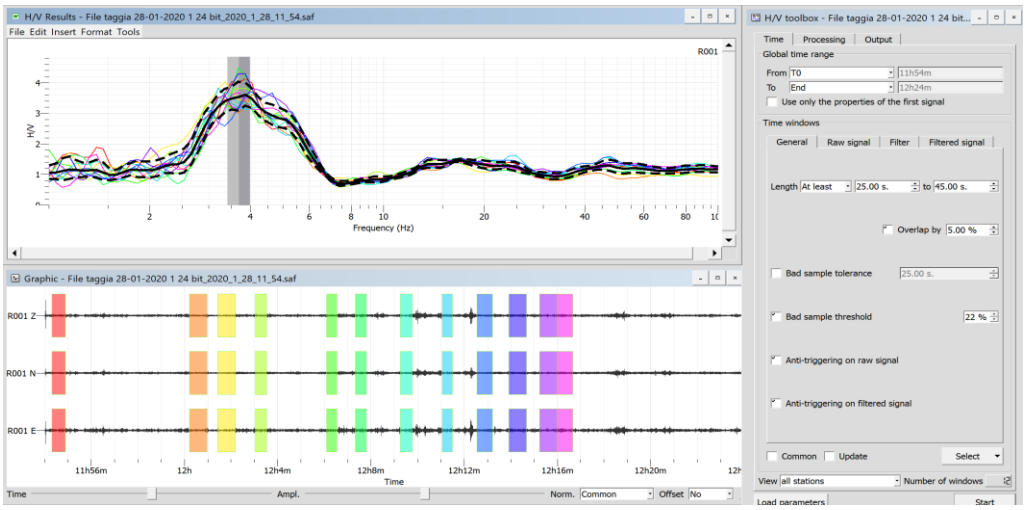


Figura 1 - Grafico HVSR della registrazione n. 1

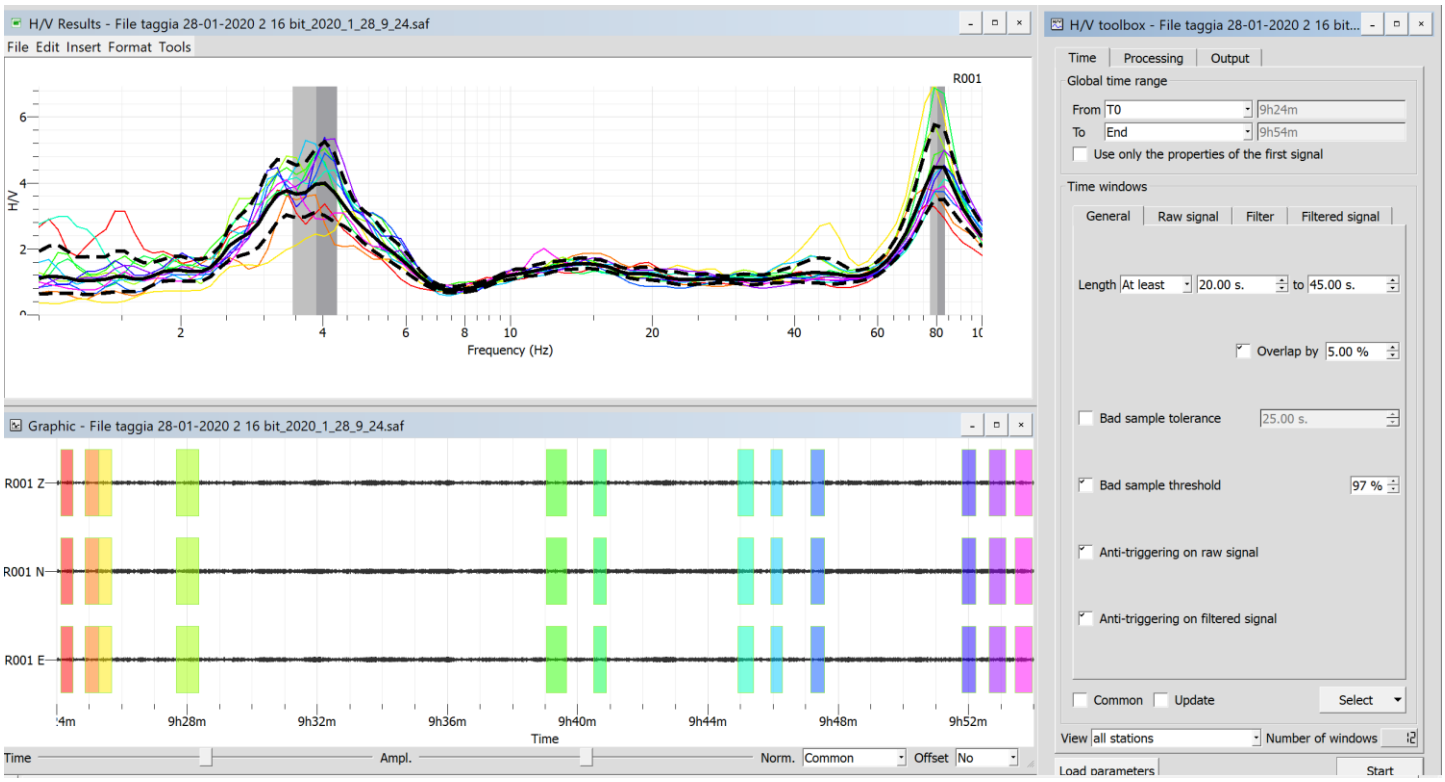


Figura 2 - Grafico HVSR della registrazione n. 2

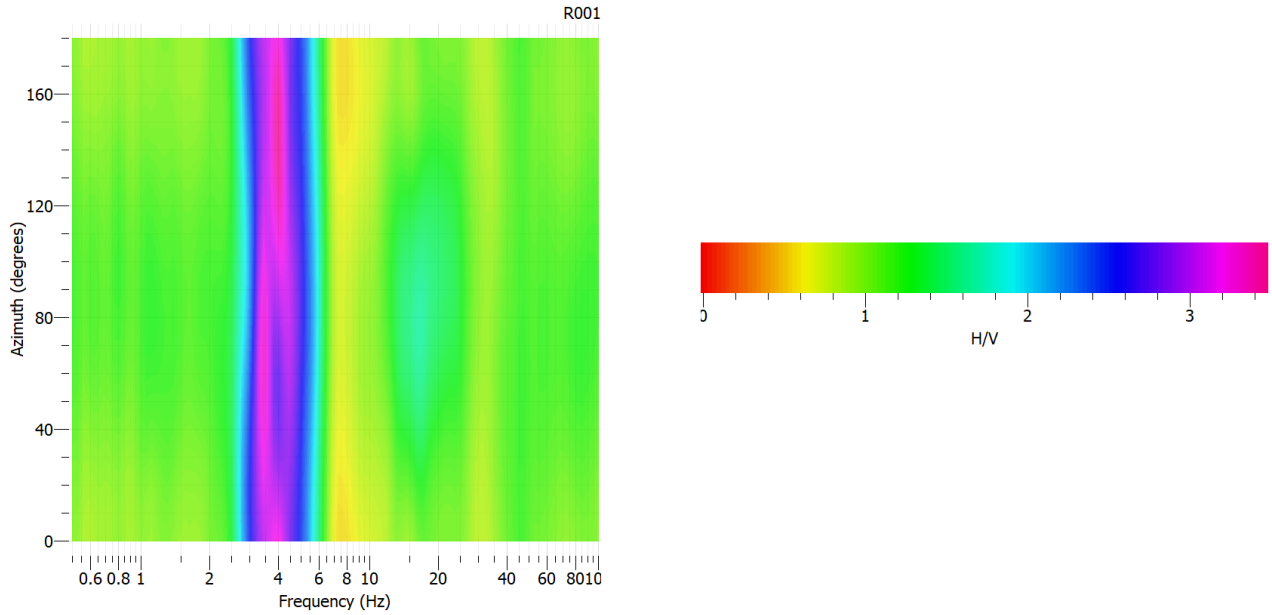


Figura 3 - Grafico HV/rotate della registrazione n. 1

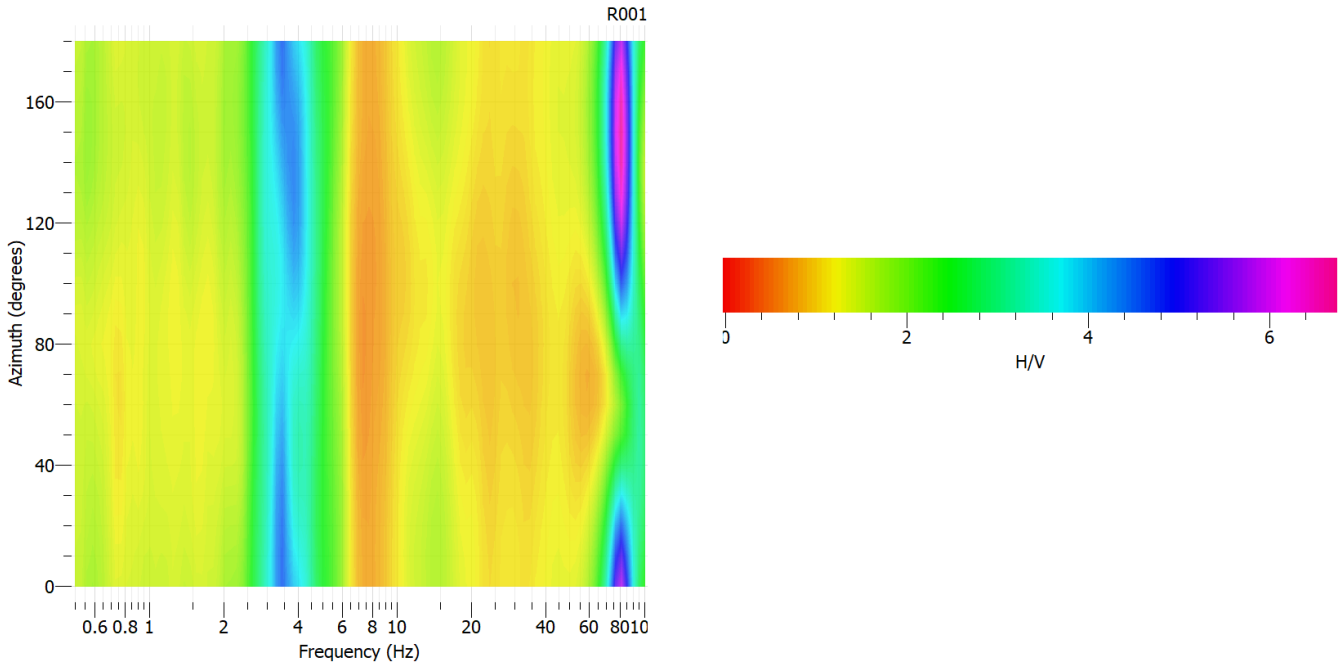


Figura 4 - Grafico HV/rotate della registrazione n. 2

2. Stima delle velocità delle onde P e delle onde S attraverso l'uso delle registrazioni effettuate con il theremino

Attraverso il programma Dinver precedentemente indicato è stata ricavata una stima preliminare ed indicativa delle velocità delle onde di taglio S e delle onde longitudinali P, per quanto riguarda l'acquisizione HVSR, come sotto riportato:

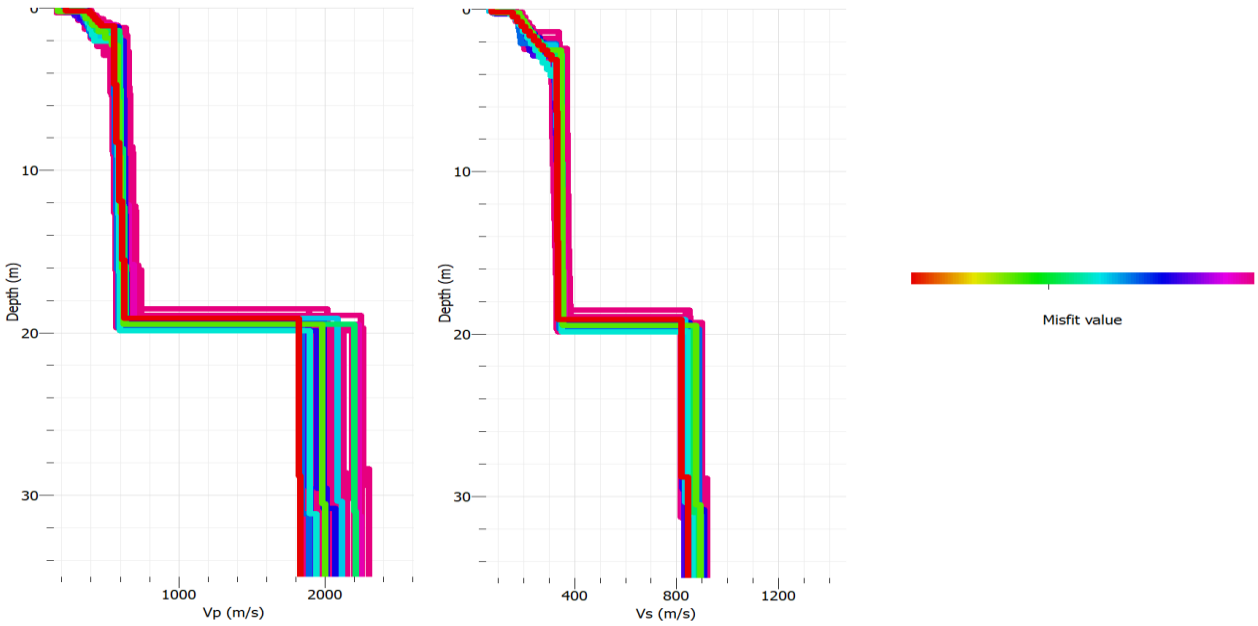


Figura 3 - Elaborazione con Dinver della prova n. 1 con il theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)

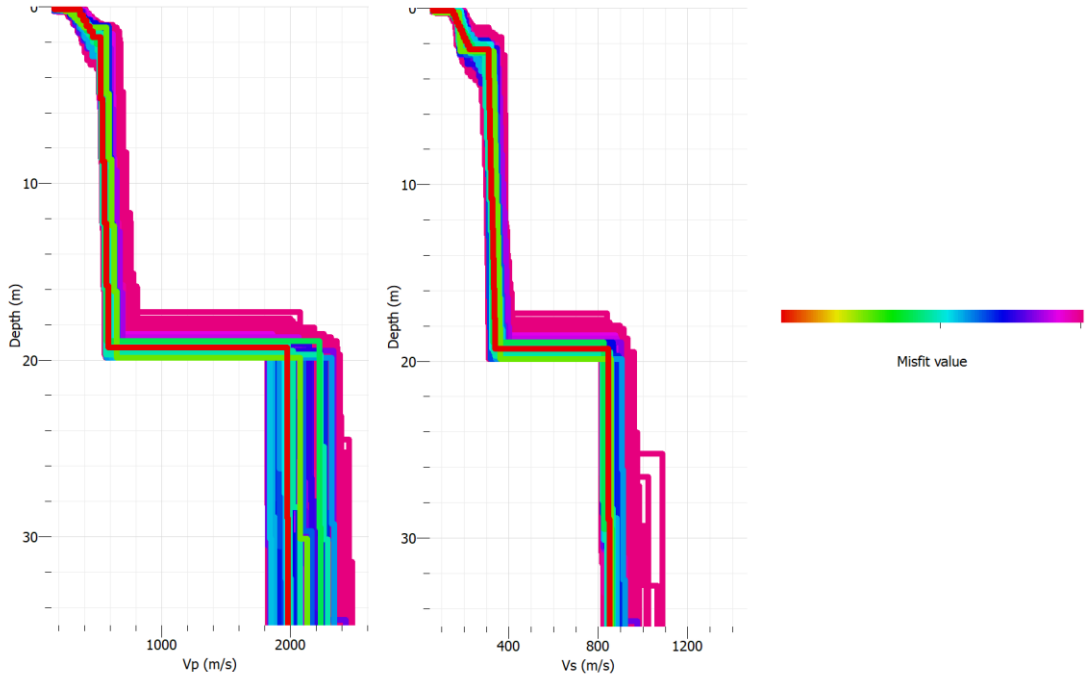


Figura 4 - Elaborazione con Dinver della prova n. 2 con il theremino (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)

Velocità delle onde Longitudinali acquisizione HVSR 1:

Profondità (m)	Vp (m/s)
da 0,00 a -3,00	447
da -3,00 a -19,18	607
da -19,18 a - 30	1834

Velocità delle onde Trasversali acquisizione HVSR 1:

Profondità (m)	Vs (m/s)
da 0,00 a -3,00	237
da -3,00 a -19,18	340
da -19,18 a - 30	828

Come si può notare il preliminare e indicativo valore di Vs30 (ai sensi delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni – NTC 2008) ottenuto con l'acquisizione sopra riportata, è pari a 409 m/s. Per quanto riguarda il valore delle Vsequivalenti (Decreto del 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni), esso è pari a 318 m/s.

Velocità delle onde Longitudinali acquisizione HVSR 2:

Profondità (m)	Vp (m/s)
da 0,00 a -2,37	418
da -2,37 a -19,43	559
da -19,43 a - 30	1988

Velocità delle onde Trasversali acquisizione HVSR 2:

Profondità (m)	Vs (m/s)
da 0,00 a -2,37	200
da -2,37 a -19,43	332
da -19,43 a - 30	851

Come si può notare il preliminare e indicativo valore di Vs30 (ai sensi delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni – NTC 2008) ottenuto con l'acquisizione sopra riportata, è pari a 396 m/s. Per quanto riguarda il valore delle Vsequivalenti (Decreto del 17 gennaio 2018 – Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni), esso è pari a 307 m/s.

Prove Penetrometriche dinamiche medio-leggere DPM 30/20

Oltre alle indagini sismiche sopra indicate, sono state eseguite n. 2 prove penetrometriche dinamiche medio-leggere impiegando un penetrometro Pagani DPM 30-20 (vedere la planimetria con l'ubicazione delle prove e le foto).

Tale strumento ha le seguenti caratteristiche:

- Peso Massa battente 30 Kg
- Altezza di caduta libera 0,20 m
- Peso sistema di battuta 15,37 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 0,80 m
- Avanzamento punta 0,10 m
- Numero colpi per punta N(10)
- Coeff. Correlazione 0,783
- Angolo di apertura punta 60°

Complessivamente le due prove eseguite, sono terminate rispettivamente alla profondità di 0,30 m (PP1), di 5,00 m di profondità (PP2), quando è stato riscontrato un "rifiuto" all'avanzamento della punta (per rifiuto si intende un n° di colpi per un avanzamento di 10 cm superiore a 100), hanno permesso di individuare i seguenti livelli di terreno:

- Livello superficiale – da 0 a – 2,70 m per PP2 - Livello vegetale e riporti, caratterizzati da un numero di colpi compreso tra 0 e 73 (i valori alti dei numeri di colpi sono dovuti alla presenza di ciottoli di maggiori dimensioni all'interno dei riporti);

- Livello profondo - da -2,70 m in poi per PP2 – Depositi alluvionali ghiaioso-sabbiosi caratterizzati da un numero di colpi compresi tra 7 sino al "rifiuto" strumentale.

In corrispondenza dei fori delle prove penetrometriche non è stata riscontrata la presenza di acqua.



Foto 5 – Esecuzione prova penetrometrica PP1



Foto 6 – Esecuzione prova penetrometrica PP2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente:
Descrizione:
Località:

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DMP 3020 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094	
Peso Massa battente	30	Kg
Altezza di caduta libera	0.20	m
Peso sistema di battuta	15.25	Kg
Diametro punta conica	35.68	mm
Area di base punta	10	cm²
Lunghezza delle aste	1	m
Peso aste a metro	2.4	Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.80	m
Avanzamento punta	0.10	m
Numero colpi per punta	N(10)	
Coeff. Correlazione	.783	
Rivestimento/fanghi	No	
Angolo di apertura punta	60	°

Signature 1 Signature 2

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

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

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

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

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

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

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

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

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

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

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

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

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

penetrometri in uso in Italia

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

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica (α=60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm^2 rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica (α= 60-90°), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm^2 rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento δ=30 cm, punta conica (α = 60°), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm^2 rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento δ=20-30 cm, punta conica conica (α = 60°-90°) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm^2, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con Nspt

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 Nspt ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con Nspt. 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 Qspt è quella riferita alla prova SPT.

L’energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

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

in cui

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

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd

Formula Olandesi

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

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

Calcolo di $(N_1)_{60}$

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

$(N_1)_{60} = CN \cdot N60$ con $CN = \sqrt{(Pa/'\sigma_{vo})}$ $CN < 1.7$ $Pa = 101.32$ 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 resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$Nspt,_k = Nspt,_{medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{Nspt})$$

dove σ_{Nspt} è la deviazione standard di Nspt

Distribuzione normale R.N.C.

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

$$Nspt_{,k} = Nspt_{,medio} - 1.645 \cdot \left(\sigma_{Nspt}\right) / \sqrt{n}$$

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 immorsamento d = 1 m.

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati Nspt 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 Nspt dello strato considerato risulta inferiore a Nspt critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione Nspt in presenza di falda

$$Nspt\ corretto = 15 + 0.5 \cdot (Nspt - 15)$$

Nspt 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) σ >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 Dr %.
- 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) σ >15 t/mq.
- Shioi-Fukuni (1982) - JAPANESE NATIONALE 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 Dr 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 Dr % 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 Dr % 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 τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio *Vs (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 Nspt < 8 , argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). *C*u (min-max).
- Sanglerat , da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi , tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat , (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche

< 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat.

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

***Resistenza alla punta del Penetrometro Statico** (Qc)*

- Robertson (1983) - Qc

***Modulo Edometrico-Confinato** (Mo)*

- 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 -Mo (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto Qc/Nspt=1.5-2.0).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte (Nspt < 30) medie e molli (Nspt < 4) e argille sabbiose (Nspt = 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 ... Nr.1

Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI
Prova eseguita in data 28/01/20
Profondità prova .30 mt
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.10	30	0.757	85.74	113.33	4.29	5.67
0.20	70	0.655	173.10	264.43	8.66	13.22
0.30	100	0.653	246.56	377.75	12.33	18.89

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI
Prova eseguita in data 28/01/20
Profondità prova 5.00 mt
Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm²)	Res. dinamica (Kg/cm²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm²)
0.10	5	0.857	16.18	18.89	0.81	0.94
0.20	73	0.655	180.52	275.76	9.03	13.79
0.30	16	0.803	48.52	60.44	2.43	3.02
0.40	10	0.851	32.14	37.78	1.61	1.89
0.50	5	0.849	16.03	18.89	0.80	0.94
0.60	8	0.847	25.60	30.22	1.28	1.51
0.70	4	0.845	12.77	15.11	0.64	0.76
0.80	5	0.843	15.93	18.89	0.80	0.94
0.90	6	0.842	18.16	21.58	0.91	1.08
1.00	5	0.840	15.10	17.98	0.76	0.90
1.10	5	0.838	15.07	17.98	0.75	0.90
1.20	6	0.836	18.05	21.58	0.90	1.08
1.30	5	0.835	15.01	17.98	0.75	0.90
1.40	5	0.833	14.98	17.98	0.75	0.90
1.50	5	0.831	14.95	17.98	0.75	0.90
1.60	5	0.830	14.92	17.98	0.75	0.90
1.70	6	0.828	17.87	21.58	0.89	1.08
1.80	6	0.826	17.83	21.58	0.89	1.08
1.90	5	0.825	14.15	17.16	0.71	0.86
2.00	8	0.823	22.60	27.45	1.13	1.37
2.10	9	0.822	25.38	30.89	1.27	1.54
2.20	10	0.820	28.15	34.32	1.41	1.72
2.30	8	0.819	22.48	27.45	1.12	1.37
2.40	12	0.817	33.65	41.18	1.68	2.06
2.50	6	0.816	16.80	20.59	0.84	1.03
2.60	13	0.764	34.10	44.61	1.70	2.23
2.70	9	0.813	25.11	30.89	1.26	1.54
2.80	10	0.811	27.85	34.32	1.39	1.72
2.90	12	0.810	31.90	39.38	1.59	1.97
3.00	12	0.809	31.85	39.38	1.59	1.97
3.10	13	0.757	32.31	42.66	1.62	2.13
3.20	10	0.806	26.45	32.82	1.32	1.64
3.30	7	0.805	18.49	22.97	0.92	1.15
3.40	7	0.803	18.46	22.97	0.92	1.15
3.50	8	0.802	21.06	26.25	1.05	1.31
3.60	12	0.801	31.54	39.38	1.58	1.97
3.70	24	0.700	55.10	78.76	2.76	3.94
3.80	17	0.748	41.75	55.79	2.09	2.79
3.90	15	0.747	35.24	47.16	1.76	2.36
4.00	13	0.746	30.49	40.87	1.52	2.04
4.10	7	0.795	17.49	22.01	0.87	1.10
4.20	25	0.694	54.53	78.60	2.73	3.93
4.30	26	0.693	56.61	81.75	2.83	4.09
4.40	25	0.691	54.35	78.60	2.72	3.93
4.50	28	0.690	60.77	88.03	3.04	4.40
4.60	20	0.739	46.48	62.88	2.32	3.14
4.70	22	0.688	47.60	69.17	2.38	3.46
4.80	20	0.737	46.35	62.88	2.32	3.14
4.90	30	0.686	62.11	90.53	3.11	4.53
5.00	100	0.585	176.54	301.76	8.83	15.09

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m³)	Peso unità di volume saturo (t/m³)	Tensione efficace (Kg/cm²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	NSPT	Descrizione
2.7	9.63	34.99	Incoerente	0	1.64	1.9	0.22	.78	7.54	Livello vegetale e riporti antropici
4.1	11.93	38.91	Incoerente	0	1.71	1.91	0.56	.78	9.34	Depositi alluvionali

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - Livello vegetale e riporti antropici	7.54	2.70	30.48	60.07	66.73	27.3
[2] - Depositi alluvionali	9.34	4.10	29.02	57.12	57.9	31.51

Angolo di resistenza al taglio

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - Livello vegetale e riporti antropici	7.54	2.70	7.54	29.15	22.15	30.11	31.55	32.71	0	<30	25.63	29.26	35.8	27.28
[2] - Depositi alluvionali	9.34	4.10	9.34	29.67	22.67	30.62	29.87	33.42	0	<30	26.84	29.8	36.37	28.67

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - Livello vegetale e riporti antropici	7.54	2.70	7.54	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
[2] - Depositi alluvionali	9.34	4.10	9.34	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

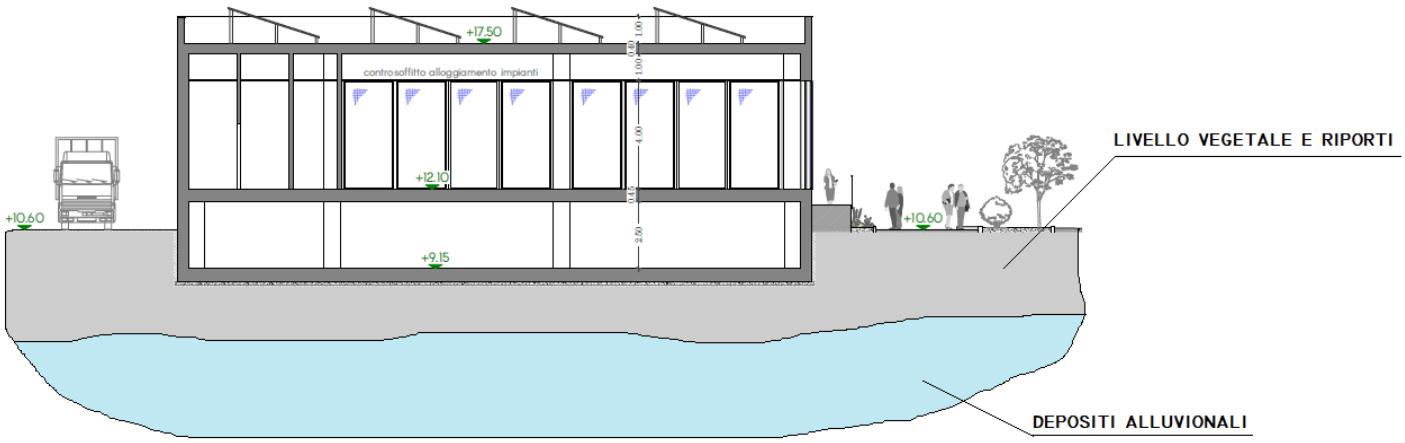
Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] - Livello vegetale e riporti antropici	7.54	2.70	7.54	Terzaghi-Peck 1948	1.45
[2] - Depositi alluvionali	9.34	4.10	9.34	Terzaghi-Peck 1948	1.47

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] - Livello vegetale e riporti antropici	7.54	2.70	7.54	Terzaghi-Peck 1948	1.90
[2] - Depositi alluvionali	9.34	4.10	9.34	Terzaghi-Peck 1948	1.91

SEZIONE STRATIGRAFICA INTERPRETATA



Di seguito sono riportati i due diagrammi n. colpi/profondità e le elaborazioni delle prove penetrometriche ottenute con il programma "Dynamic Proibing" di Geostru. A tale proposito si mette in evidenza che valori dei parametri geotecnici (e delle pressioni ammissibili) sono assolutamente indicativi.

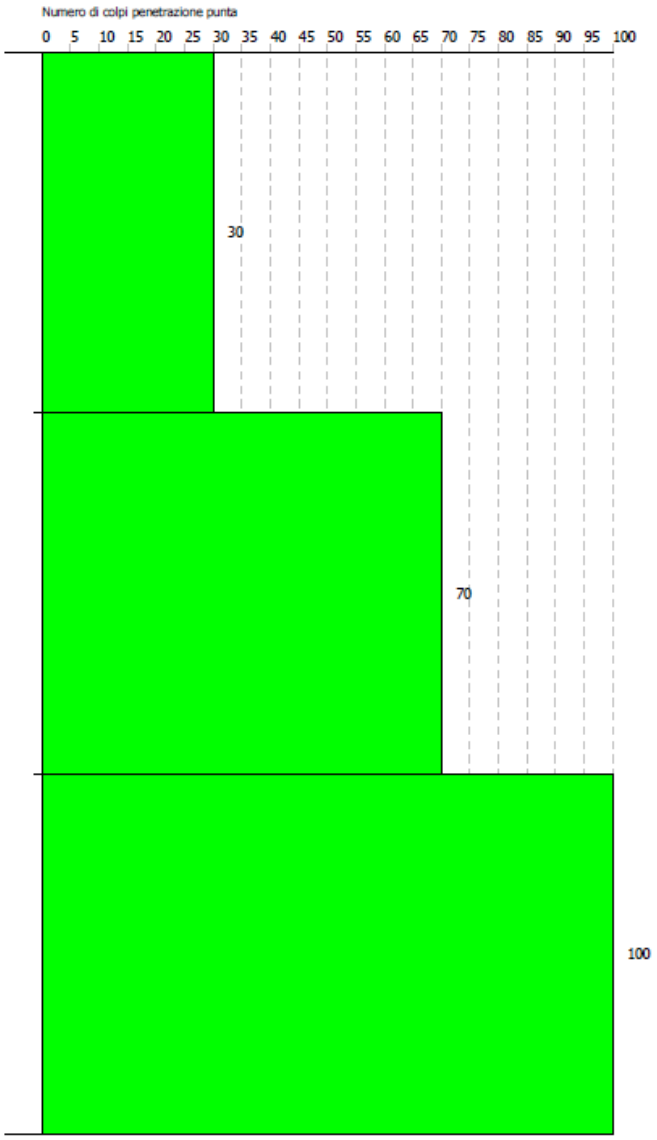
GEOSTRU
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS
COMPANY
.....

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

Committente:
Descrizione:
Località:

Data: 28/01/2020

Scala 1:2



GEOSTRU
CHANGES FROM: PREFERENCES OPTIONS
COMPANY

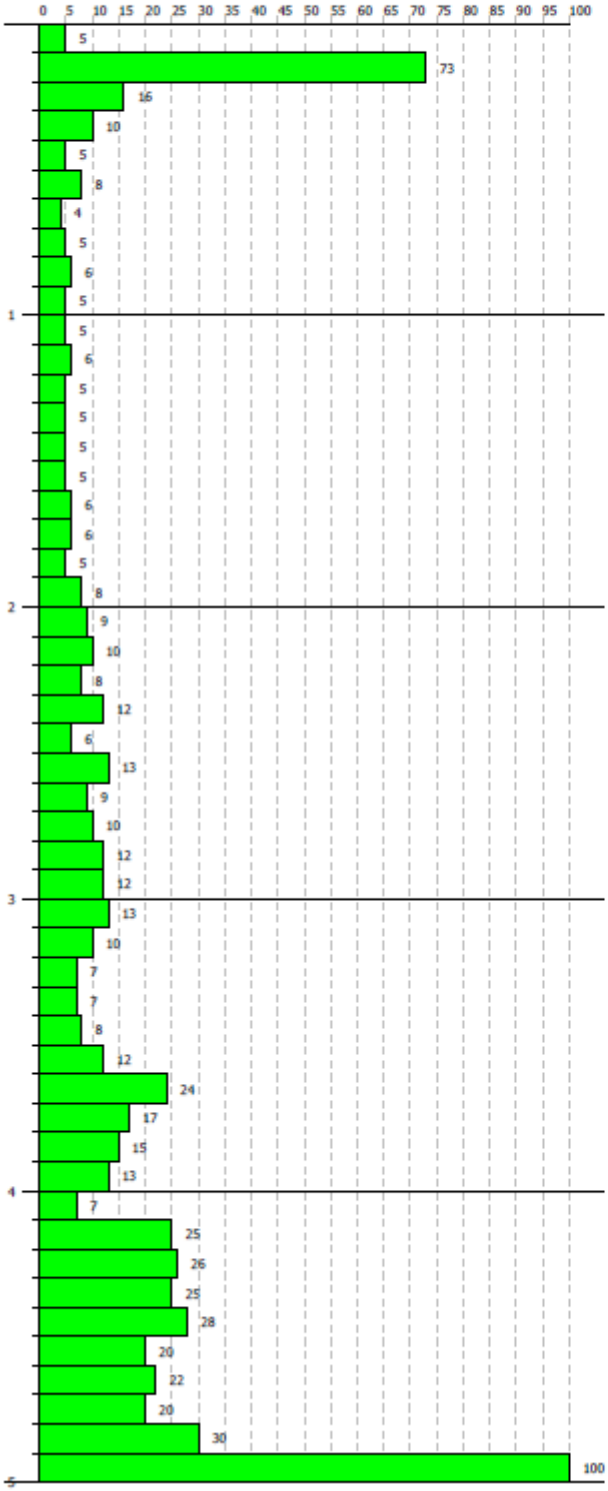
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DMP 3020 PAGANI

Committente:
Descrizione:
Località:

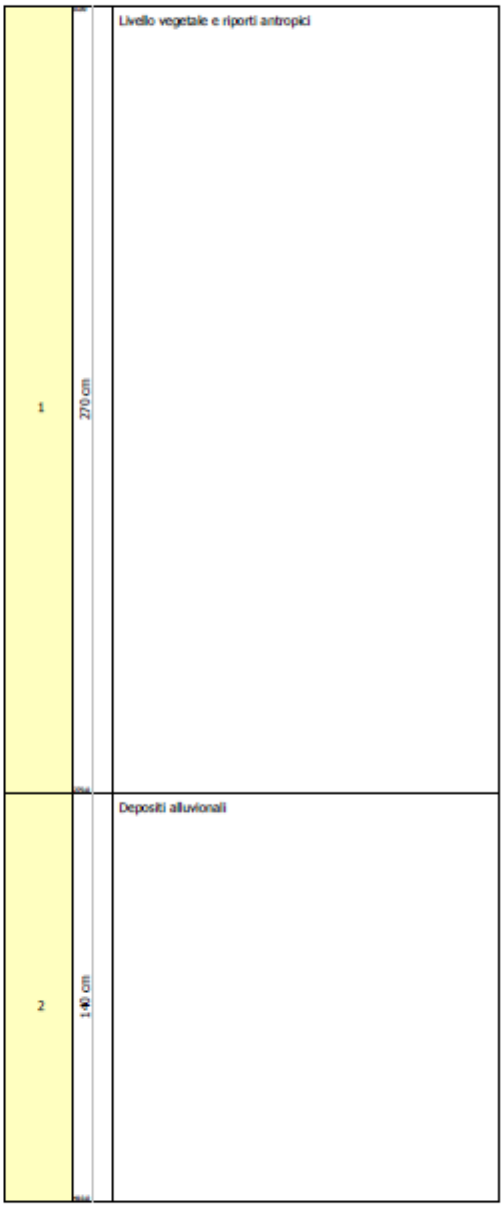
Data: 28/01/2020

Scala 1:23

Numero di colpi penetrazione punta



Interpretazione Stratigrafica

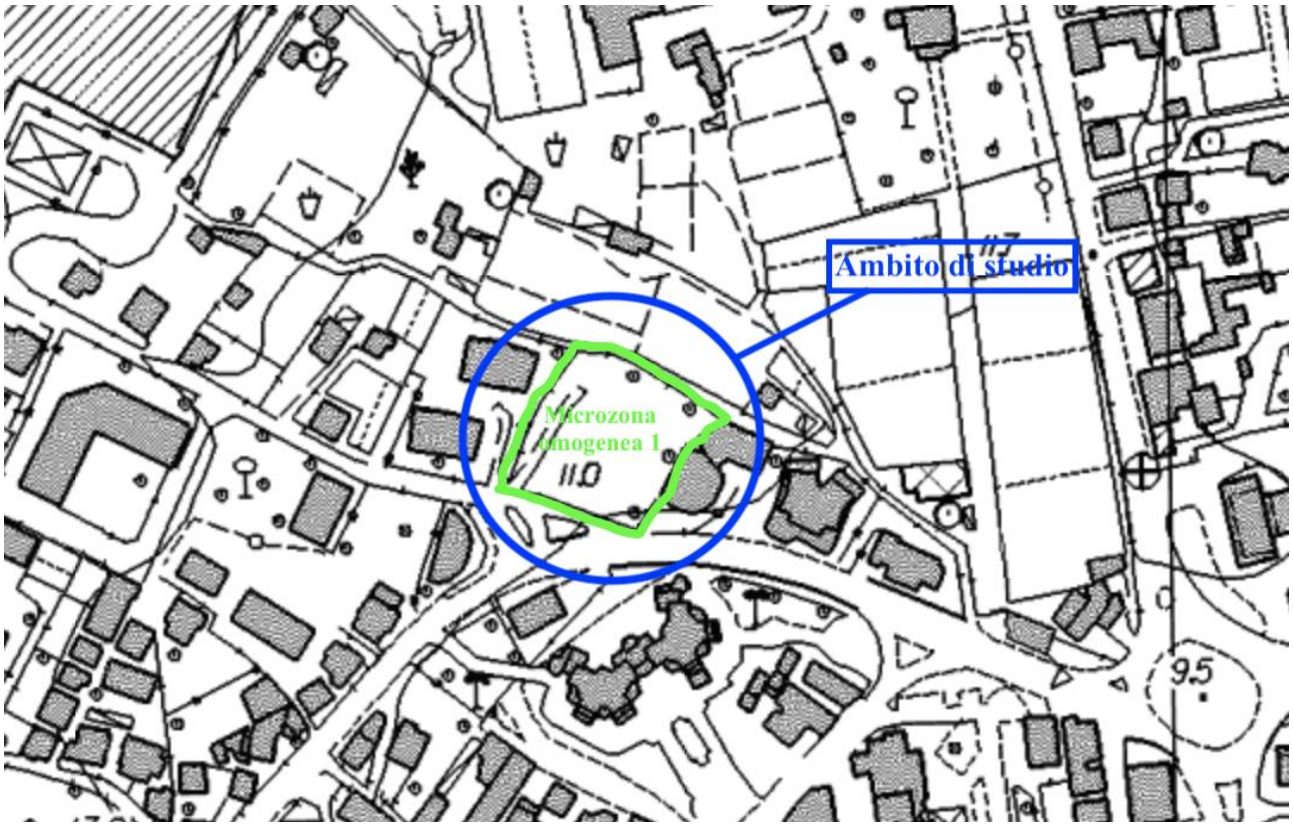


CARTE DI MICROZONAZIONE SISMICA, DI ANALISI E DI SINTESI

Attraverso l'elaborazione di tutti i dati ottenuti si sono ricavate tre carte tematiche di dettaglio per il sito oggetto di studio:

- Carta di Microzonazione Sismica
- Carta di Analisi
- Carta di Sisntesi

CARTA DI MICROZONAZIONE SISMICA



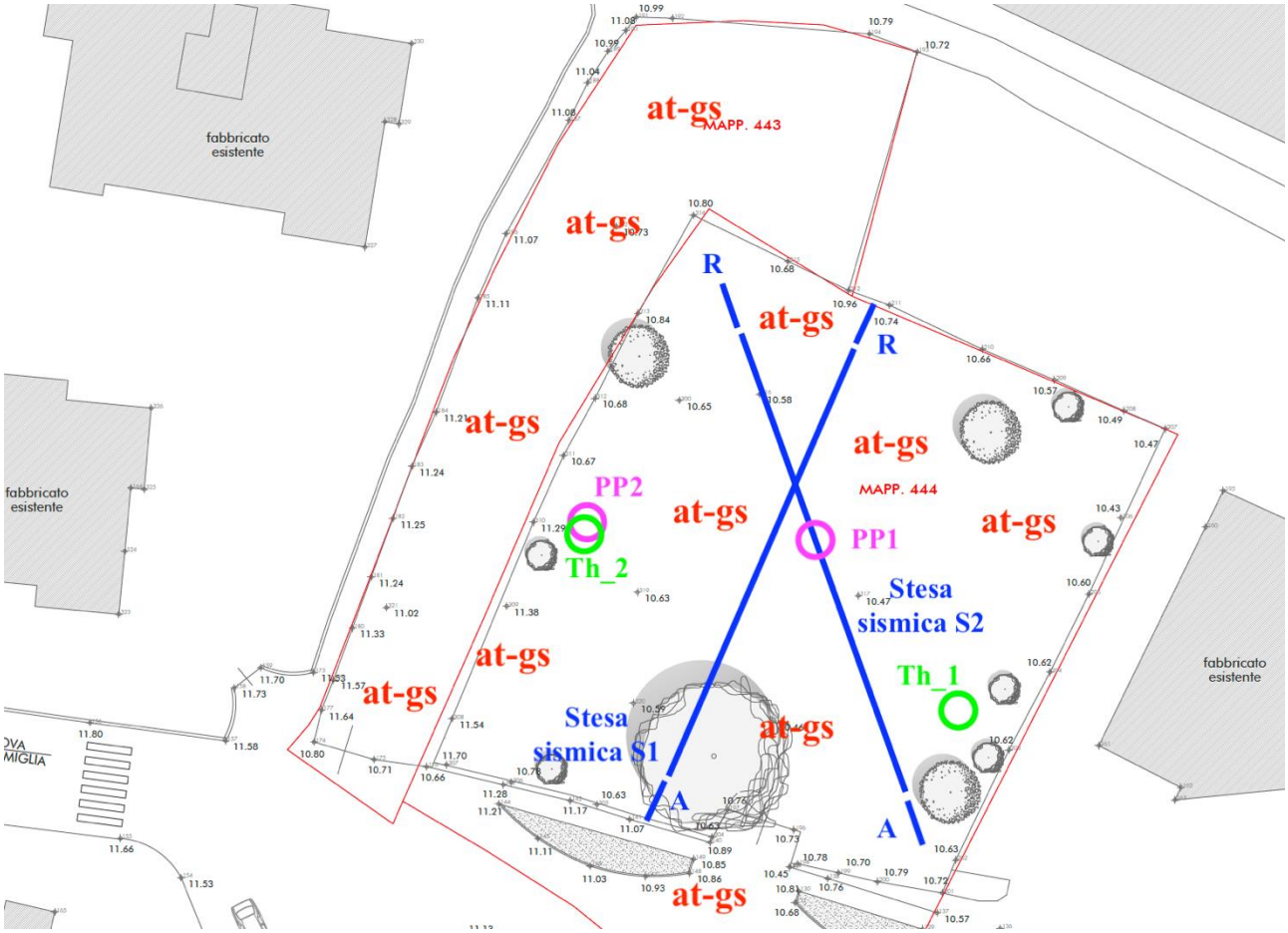
LEGENDA

Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali



Microzona omogenea 1:
Vsequivalenti = 335 m/s
Tipo di terreno: ghiaia sabbiosa
Spessore: 19-20 metri

CARTA DI ANALISI



La Carta di analisi riporta le seguenti sigle:

Th_1 = Acquisizioni HVSR (metodo di Nakamura)

PP1 = prove penetrometriche dinamiche medio leggere

Stesa sismica S1 = stendimento sismico a rifrazione e acquisizioni Masw (eseguite sullo stesso profilo)

Inoltre la sigla “at-gs” indica terreni costituiti da alluvioni terrazzate ghiaiose-sabbiose

CARTA DI SINTESI



AREA 1 – Zona a bassa suscettività al dissesto in cui l'uso del territorio è condizionato dal punto di vista geologico da fattori eliminabili con interventi di medio-bassa onerosità

E' caratterizzata dalla presenza di alluvioni terrazzati di natura prevalentemente ghiaiosa-sabbiosa, di spessore pari a circa 19-20 metri e poste al di sopra del substrato pliocenico costituito dai Conglomerati di Monte Villa. All'interno dei depositi alluvionali è presente una falda freatica che non è stata rilevata in corrispondenza dei fori delle prove penetrometriche sino alla profondità di -5,00 metri dal piano di campagna attuale. Essa è probabilmente presente a partire dalla profondità di 7-9 metri dal piano di campagna attuale.

La sigla S1 indica la posizione indicativa di un sondaggio geognostico a carotaggio continuo da eseguire a corredo della Relazione geologica esecutiva, spinto sino alla profondità almeno di 15 metri. Durante l'esecuzione del sondaggio dovranno essere eseguite delle prove penetrometriche SPT e dovranno essere prelevati dei campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio. La messa in opera all'interno della perforazione di un piezometro permetterà il monitoraggio della falda freatica per un periodo di almeno 6 mesi.

MODELLAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO

PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE DEL SITO

In considerazione della D.G.R. n. 216 del 17/03/2017 della Regione Liguria, riguardante la classificazione sismica del territorio regionale, il Comune di Taggia, in cui ricade l'area di progetto, rientra nell'elenco di classe 2 Pga = 0,25g.

Secondo quanto espresso dalle NTC 2008 e dalle nuove NTC 2018 le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

Le azioni sismiche di progetto vengono definite a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono in funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO DI FONDAZIONE E RISPOSTA SISMICA LOCALE

Verifica al rischio di "liquefazione" dei terreni di fondazione

E' stata eseguita un'analisi del rischio di liquefazione dei terreni di fondazione delle opere in progetto ai sensi delle NTC 2018, impiegando il programma Liquiter di Geostru.

Nelle NTC 2018, per quanto riguarda la "Stabilità nei confronti della liquefazione" (paragrafo 7.11.3.4 dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" – NTC 2018), è riportato che "*Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate…*".

Nell'analisi della liquefazione sono stati inserite le seguenti informazioni:

- Modello geologico del terreno;
- Tipo di suolo di fondazione;
- Magnitudo terremoto di riferimento (terremoto del 1887, Mw pari a 6,27 – da catalogo macrosismico – sito internet Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia INGV: https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15);
- Velocità delle onde S o di taglio definite con le indagini sismiche eseguite a corredo della presente;
- Profondità cautelativa della falda rispetto al piano di campagna pari ad 3 m rispetto all'attuale piano

di campagna, si mette in evidenza che il livello piezometrico non è stato rilevato sino alla profondità di circa 5 metri grazie all'esecuzione della prova penetrometrica PP2.

Come metodo calcolo è stato utilizzato quello proposto da Andrus-Stokoe che si basa sulla velocità di propagazione nel terreno delle onde S.

Si mette in evidenza che in base all'analisi eseguita, si può ritenere un Rischio di Liquefazione <u>Molto basso.</u>

Di seguito il calcolo completo:

Andrus e Stokoe *(1998)*

Il *'metodo di Andrus e Stokoe'* è basato sulle misure provenienti da prove sismiche a rifrazione, (Vs).
La velocità delle onde di taglio viene corretta dalla sovrapressione, usando l'equazione *(Robertson et alii, 1992)*:

$$V_{S1} = V_S \left(\frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^{0,25}$$

dove
V_{S1} velocità delle onde di taglio corretta dalla sovrapressione;
V_S velocità delle onde di taglio misurate in situ;
Pa pressione atmosferica (circa 100 kPa);
σ'_{vo} pressione effettiva iniziale nelle stesse unità di misura della **Pa**.

Per il calcolo della resistenza alla liquefazione, Andrus e Stokoe hanno proposto la seguente relazione:

$$CRR = 0,03 \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + 0,9 \left[\frac{1}{(V_{S1})_{cs} - V_{S1}} - \frac{1}{(V_{S1})_{cs}} \right]$$

dove la presenza di fini FC (%) interviene nel modello di calcolo tramite le seguenti indicazioni:

$(V_{S1})_{CS} = 220$ per $FC \leq 5\%$
$220 < (V_{S1})_{CS} \leq 200$ per $5\% < FC \leq 35\%$
$(V_{S1})_{CS} = 200$ per $FC > 35\%$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**$CSR_{7,5}$**) si determina dalla seguente espressione:

$$\frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} r_d$$

dove a_{max} rappresenta l'accelerazione orizzontale massima attesa in superficie contenente gli effetti amplificativi di sito. Utilizzando le raccomandazioni del **NCEER** , per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** *(Magnitudo Scaling Factor)* (vedi Tabella 1)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF}$$

Tabella 1- *Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori*

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. *(1982)*	Ambraseys N.N *(1988).*	NCEER (Seed R. B. et alii) *(1997; 2003)*
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo $\mathbf{r_d}$ vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** *(National Center for Earthquake Engineering Research)*:

per $z < 9,15$ m

$$r_d = 1,0 - 0,00765\ z$$

per $9,15 \leq z < 23$ m

$$r_d = 1,174 - 0,00267\ z$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

mentre **l'indice e il rischio di liquefazione** vengono calcolati con il metodo di **Iwasaki et alii** *(1978; 1984).*

DATI GENERALI

Data 16/10/19
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA
Profondità falda idrica 3 m

DATI SIMICI
Accelerazione Bedrock .25

Tipo Suolo: E-Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali su substrato rigido Vs30>= 800m/s
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i<=15°

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1.6	
Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1	
Magnitudo momento sismico (Mw)	6.27	
Distanza epicentro	13	Km
Peak ground acceleration (PGA)	.4	

PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc)	Peso unità volume saturo (KN/mc)	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resistenza qc (KPa)	Resistenza attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1		0	3	19	21	0	0	0	0	270
2		3	3.5	20	22	0	0	0	0	277
3		3.5	10	20	22	0	0	0	0	310
4		10	10.5	21	23	0	0	0	0	362
5		10.5	14	22	23	0	0	0	0	370
6		14	19	22	23	0	0	0	0	417
7		19	24	24	24	0	0	0	0	802
8		24	30	24	24	0	0	0	0	850

Frazione fine (%)	Validità
0	Valido
0	Valido
0	Valido
0	Valido
0	Valido
0	
0	
0	

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.58

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Velocità normalizzata Vs1 (m/s)	Valore critico di Vs1 (Vs1c) (m/s)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Suscettibilità di liquefazione	Indice di liquefazione	Rischio
3.20	61.400	59.439	315.473	220.000	0.976	0.285	0.166	1.72	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
3.40	65.800	61.877	312.318	220.000	0.974	0.279	0.170	1.64	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

3.60	70.200	64.316	346.164	220.000	0.972	0.348	0.174	2.00	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
3.80	74.600	66.755	342.958	220.000	0.971	0.341	0.178	1.91	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
4.00	79.000	69.193	339.896	220.000	0.969	0.335	0.182	1.84	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
4.20	83.400	71.632	336.965	220.000	0.968	0.329	0.185	1.78	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
4.40	87.800	74.071	334.157	220.000	0.966	0.323	0.188	1.72	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
4.60	92.200	76.509	331.462	220.000	0.965	0.317	0.191	1.66	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
4.80	96.600	78.948	328.872	220.000	0.963	0.312	0.194	1.61	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5.00	101.000	81.387	326.380	220.000	0.962	0.307	0.196	1.57	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5.20	105.400	83.825	323.980	220.000	0.960	0.302	0.198	1.52	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

5.40	109.800	86.264	321.665	220.000	0.959	0.297	0.201	1.48	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5.60	114.200	88.703	319.431	220.000	0.957	0.293	0.203	1.45	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5.80	118.600	91.141	317.273	220.000	0.956	0.289	0.204	1.41	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6.00	123.000	93.580	315.185	220.000	0.954	0.284	0.206	1.38	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6.20	127.400	96.019	313.165	220.000	0.953	0.280	0.208	1.35	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6.40	131.800	98.457	311.207	220.000	0.951	0.277	0.209	1.32	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6.60	136.200	100.896	309.309	220.000	0.950	0.273	0.211	1.30	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6.80	140.600	103.335	307.468	220.000	0.948	0.269	0.212	1.27	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7.00	145.000	105.773	305.680	220.000	0.946	0.266	0.213	1.25	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

7.20	149.400	108.212	303.944	220.000	0.945	0.262	0.214	1.22	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7.40	153.800	110.651	302.255	220.000	0.943	0.259	0.216	1.20	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7.60	158.200	113.089	300.612	220.000	0.942	0.256	0.217	1.18	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7.80	162.600	115.528	299.013	220.000	0.940	0.253	0.218	1.16	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8.00	167.000	117.967	297.455	220.000	0.939	0.250	0.218	1.14	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8.20	171.400	120.405	295.938	220.000	0.937	0.247	0.219	1.13	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8.40	175.800	122.844	294.458	220.000	0.936	0.244	0.220	1.11	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8.60	180.200	125.283	293.014	220.000	0.934	0.241	0.221	1.09	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8.80	184.600	127.721	291.606	220.000	0.933	0.238	0.222	1.08	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9.00	189.000	130.160	290.230	220.000	0.931	0.236	0.222	1.06	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9.20	193.400	132.599	288.886	220.000	0.928	0.233	0.223	1.05	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

9.40	197.800	135.037	287.573	220.000	0.923	0.231	0.222	1.04	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9.60	202.200	137.476	286.289	220.000	0.918	0.228	0.222	1.03	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9.80	206.600	139.915	285.033	220.000	0.912	0.226	0.221	1.02	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10.00	211.000	142.354	283.805	220.000	0.907	0.223	0.221	1.01	Terreno suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10.20	215.600	144.992	329.893	220.000	0.902	0.314	0.220	1.43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10.40	220.200	147.631	328.408	220.000	0.896	0.311	0.220	1.42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10.60	224.800	150.270	334.183	220.000	0.891	0.323	0.219	1.47	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10.80	229.400	152.908	332.732	220.000	0.886	0.320	0.218	1.47	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11.00	234.000	155.547	331.312	220.000	0.880	0.317	0.218	1.46	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11.20	238.600	158.186	329.921	220.000	0.875	0.314	0.217	1.45	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

11.40	243.200	160.824	328.559	220.000	0.870	0.311	0.216	1.44	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11.60	247.800	163.463	327.225	220.000	0.864	0.309	0.215	1.43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11.80	252.400	166.102	325.918	220.000	0.859	0.306	0.215	1.43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12.00	257.000	168.740	324.636	220.000	0.854	0.303	0.214	1.42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12.20	261.600	171.379	323.380	220.000	0.848	0.301	0.213	1.41	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12.40	266.200	174.018	322.147	220.000	0.843	0.298	0.212	1.41	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12.60	270.800	176.656	320.937	220.000	0.838	0.296	0.211	1.40	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12.80	275.400	179.295	319.749	220.000	0.832	0.294	0.210	1.40	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13.00	280.000	181.934	318.584	220.000	0.827	0.291	0.209	1.39	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

13.20	284.600	184.572	317.439	220.000	0.822	0.289	0.208	1.39	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13.40	289.200	187.211	316.314	220.000	0.816	0.287	0.207	1.38	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13.60	293.800	189.850	315.210	220.000	0.811	0.285	0.206	1.38	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13.80	298.400	192.488	314.124	220.000	0.806	0.282	0.205	1.38	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
14.00	303.000	195.127	313.056	220.000	0.800	0.280	0.204	1.37	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

14.20	307.600	197.766
14.40	312.200	200.404
14.60	316.800	203.043
14.80	321.400	205.682
15.00	326.000	208.320
15.20	330.600	210.959
15.40	335.200	213.598
15.60	339.800	216.236
15.80	344.400	218.875
16.00	349.000	221.514
16.20	353.600	224.152
16.40	358.200	226.791
16.60	362.800	229.430
16.80	367.400	232.068
17.00	372.000	234.707
17.20	376.600	237.346
17.40	381.200	239.984
17.60	385.800	242.623
17.80	390.400	245.262
18.00	395.000	247.900
18.20	399.600	250.539
18.40	404.200	253.178
18.60	408.800	255.816
18.80	413.400	258.455
19.00	418.000	261.094
19.20	422.800	263.932
19.40	427.600	266.771
19.60	432.400	269.610
19.80	437.200	272.448
20.00	442.000	275.287

IPL (Iwasaki)=0 Zcrit=20 m Rischio=Molto basso

Pericolosità sismica di sito (Risposta Sismica Locale)

Grazie alle indagini sismiche e alle prove penetrometriche approntate a corredo della presente è stata realizzata un'analisi della Pericolosità sismica di base, utilizzando del software RSLIII di Geostru aggiornato alle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018.

Per tali analisi si è tenuto conto di:

- coordinate geografiche dell'area di studio;
- n. 7 accelerogrammi relativi a eventi sismici della zona in oggetto (ricavati attraverso il software gratuito Rexel di Reluis), preventivamente scelti operando una disaggregazione attraverso il sito internet: http://esse1-gis.mi.ingv.itd;
- stratigrafia del sito oggetto di studio (definita attraverso le indagini eseguite), con indicazione della relativa velocità Vs.

Inoltre, per i calcoli eseguiti con il programma RSL III si è tenuto conto di:

- Vita nominale della costruzione V_N = 50 anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione C_U = 1,0 (Classe d'uso II);
- Stato Limite di Salvaguardia alla vita.

Sulla base di questi dati il software ha permesso la definizione degli spettri di accelerazione assoluta, attraverso cui è stato ricavato uno spettro medio e di conseguenza uno spettro normalizzato che è stato messo in confronto con gli spettri di normativa (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni - NTC 2018).

Di seguito lo sviluppo dell'analisi completa.

INTRODUZIONE

PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.
Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
   2.1. Stima della funzione di trasferimento;
   2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
   2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;

3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile "trasferire" l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M-1}{10}$$

dove *M* rappresenta la magnitudo del sisma.
Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l'N-esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z,t)}{\partial z \partial t}\right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \tag{1}$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = U(z)^{i\omega t} \tag{2}$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega t)\frac{d^2U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \tag{3}$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \tag{4}$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \tag{5}$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega}\xi \tag{6}$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z,t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \tag{7}$$

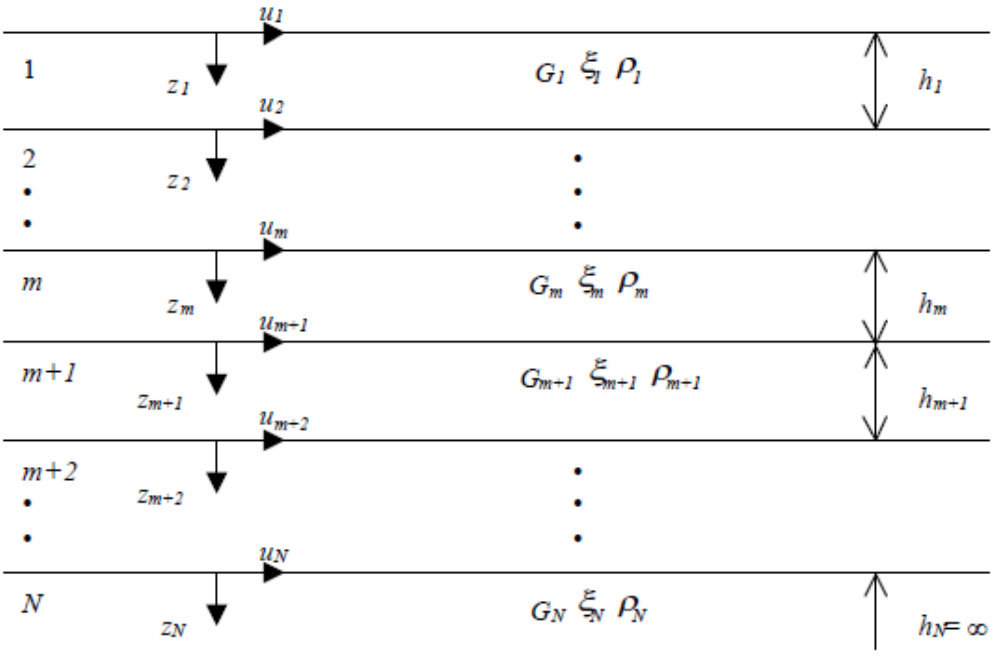


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega\sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \tag{8}$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z,t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)}\right] e^{i\omega t} \tag{9}$$

Per il generico strato *m* di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità (z = 0) ed al fondo (z = h_m), sono:

$$u_m(0,t) = (E_m + F_m)e^{i\omega t} \tag{10}$$

$$u_m(h_m,t) = \left(E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}\right)e^{i\omega t} \tag{11}$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \tag{12}$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \tag{13}$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell'*m*-esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0,t) = ik_m^* G_m^* \left[E_m - F_m\right] e^{i\omega t} \tag{14}$$

$$\tau_m(h_m,t) = ik_m^* G_m^* \left[E_m e^{ik_m^* h_m} - F e^{ik^* h_m}\right] e^{i\omega t} \tag{15}$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \tag{16}$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*}\left(E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}\right) \tag{17}$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m \left(1 + \alpha_m^*\right) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m \left(1 - \alpha_m^*\right) e^{-ik_m^* h_m} \tag{18}$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m \left(1 - \alpha_m^*\right) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m \left(1 + \alpha_m^*\right) e^{-ik_m^* h_m} \tag{19}$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati *m* ed *m+1*, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \tag{20}$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0,t) = ik_1^* G_1^* \left[E_1 - F1\right] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m. La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati *m* ed *n* è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \tag{21}$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti *m* e *n*.

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z,t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z,t) \qquad \ddot{u}(z,t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z,t) \tag{22}$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati *n* ed *m*:

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \tag{23}$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità *z* e al tempo *t* dalla relazione:

$$\gamma(z,t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* \left(E e^{ik^+ z} - F e^{-ik^+ z}\right) e^{i\omega t} \tag{24}$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z,t) = G^* \gamma(z,t) \tag{25}$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

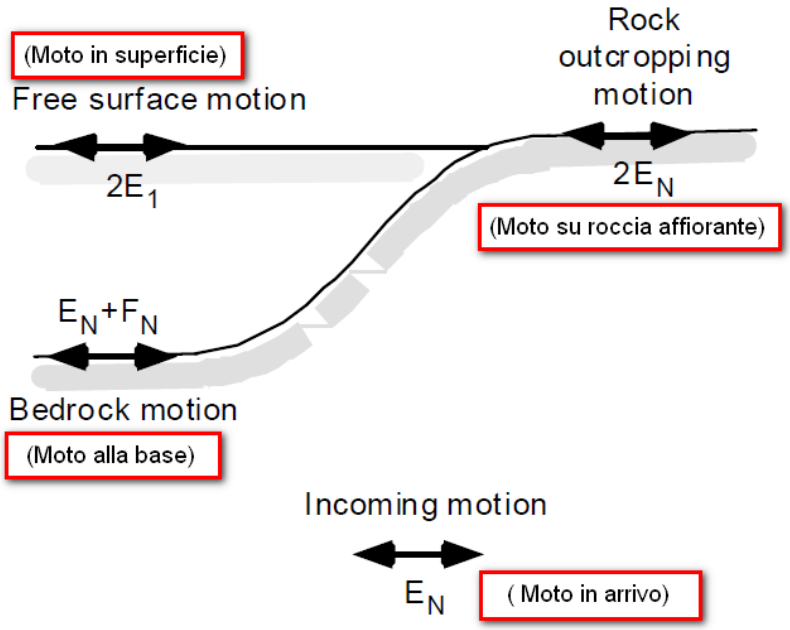


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a E_N+F_N. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \tag{26}$$

A è non lineare poiché *G* è funzione di γ. Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ. Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo *G* così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per *G(γ)* adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI)(\sigma'_m)^{m(\gamma,PI)-m_0} \tag{24}$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5\left\{1 + tanh\left[ln\left(\frac{0.000102+n(PI)}{\gamma}\right)^{0.492}\right]\right\} \tag{25}$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272\left\{1 - tanh\left[ln\left(\frac{0.000556}{\gamma}\right)^{0.4}\right]\right\}exp(-0.0145PI^{1.3}) \tag{26}$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & per\ PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & per\ 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & per\ 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & per\ PI > 70 \end{cases} \tag{27}$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \tag{28}$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

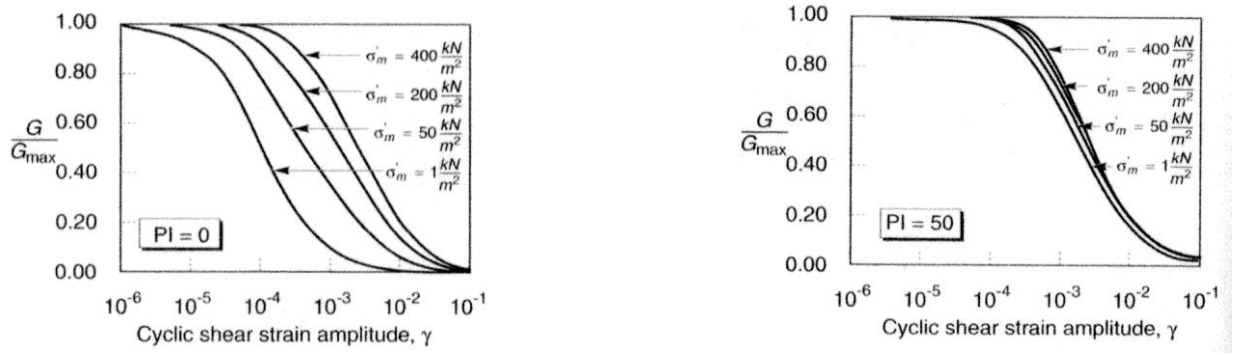


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ, in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333\,\frac{1+exp\left(-0.0145\,PI^{1.3}\right)}{2}\left[0.586\left(\frac{G}{G_{max}}\right)^2 - 1.547\frac{G}{G_{max}} + 1\right] \tag{29}$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

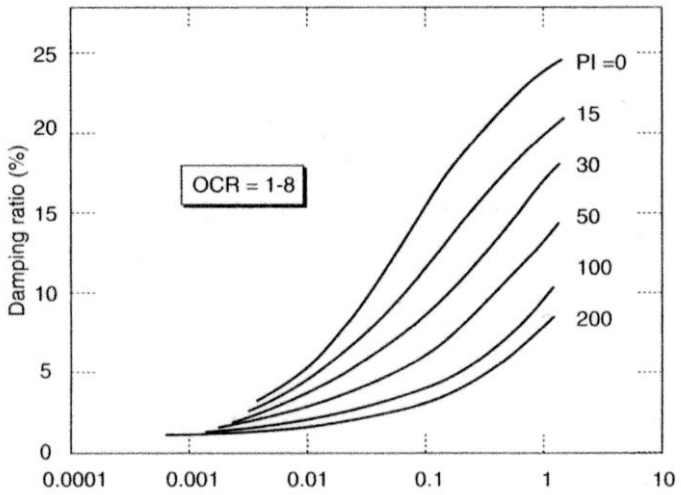


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

Dati generali

Data della prova d.C./02/2020

Via Via Aurelia Ponente, Taggia - Italia
Latitudine 43.8359146[°]
Longitudine 7.852091[°]

Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	--	3.0	Lombardia - Ghiaie	0	148.62	--	20.0	270.0	30.0	
2		3.0	0.5	Lombardia - Ghiaie	0	164.25	--	21.0	277.0	

65.3

3

3.5

6.5

Lombardia - Ghiaie

0

205.72

--

21.0

310.0

138.8

4

10.0

0.5

Lombardia - Ghiaie

0

293.88

--

22.0

362.0

210.0

5

10.5

3.5

Lombardia - Ghiaie

0

307.01

--

22.0

370.0

234.4

6

14.0

5.0

Lombardia - Ghiaie

0

389.97

--

22.0

417.0

286.2

7

19.0

5.0

Idriss (1990) Rock

0

1573.59

--

24.0

802.0

352.2

8

24.0

6.0

Idriss (1990) Rock

0

1767.58

--

24.0

850.0

430.2

9

oo

--

Idriss (1990) Rock

0

1767.58

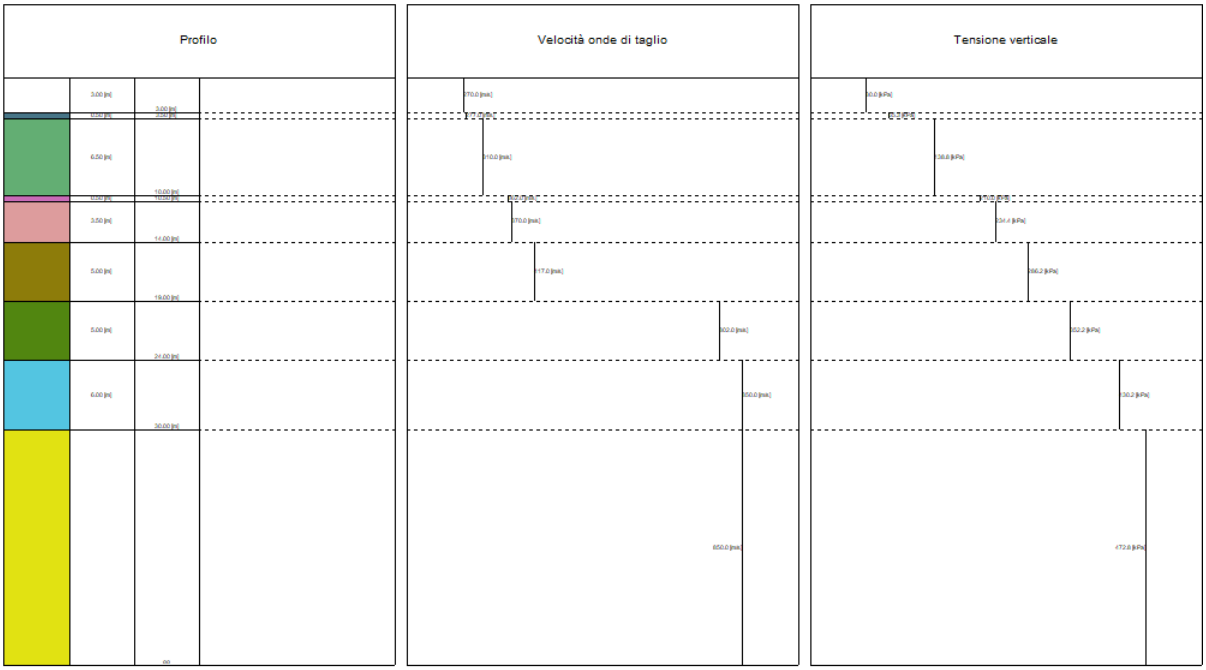
--

24.0

850.0

472.8

Strato con falda: 3
Strato rilevamento accelerogramma: 7 Affiorante



Elaborazione

Numero di iterazioni 10
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza 6.28 E-03

Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.270	[s]
Tvi	2.000	[s]
Tao	0.270	[s]
Tvo	0.270	[s]
Sami	3.365	[m/s²]
Svmi	0.193	[m/s]
Samo	6.457	[m/s²]
Svmo	0.313	[m/s]
Fa	**1.919**	**[-]**
Fv	**1.625**	**[-]**
TB	0.102	[s]
TC	0.305	[s]
TD	2.449	[s]
SA(0)	2.082	[m/s²]
SA(TB)	6.457	[m/s²]

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minino [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA

Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00									
2.5124									
0.26									
8.2957									
0.52									
2.8057									
0.98									
1.0989									
2.25									
0.4400									
0.01									
2.5126									
0.27									
8.3140									
0.53									
2.7140									
1.00									
1.0532									
2.30									
0.4282									
0.02									
2.5125									

0.28

7.8482

0.54

2.6361

1.05

0.9527

2.35

0.4186

0.03

2.5580

0.29

7.4723

0.55

2.5407

1.10

0.9050

2.40

0.4061

0.04

2.7901

0.30

7.1076

0.56

2.4337

1.15

0.8703

2.50

0.3844

0.05

3.2991

0.31

6.8761

0.57

2.3416

1.20

0.8338

2.60

0.3954

0.06

3.3741

0.32

6.5346

0.58

2.2842

1.25

0.8035

2.70

0.3956

0.07

3.7336

0.33

5.9463

0.60

2.2040

1.30

0.7770

2.80

0.3770

0.08
4.5153
0.34
5.3462
0.62
2.1646
1.35
0.7468
2.90
0.3470

0.09
4.8011
0.35
4.9186
0.64
2.1160
1.40
0.7231
3.00
0.3149

0.10
4.8167
0.36
4.5647
0.66
2.0871
1.45

0.7085

3.10

0.2846

0.11

4.5933

0.37

4.2512

0.68

2.0220

1.50

0.7076

3.20

0.2603

0.12

4.5798

0.38

4.2154

0.70

1.9078

1.55

0.6768

3.30

0.2388

0.13

4.9346

0.39

4.2178

0.72

1.7557

1.60

0.6524

3.40

0.2198

0.14

5.5470

0.40

4.1298

0.74

1.6755

1.65

0.6469

3.50

0.2066

0.15

6.0268

0.41

3.9230

0.76

1.6174

1.70

0.6402

3.60

0.1987

0.16

6.0616

0.42

3.7173

0.78

1.5860

1.75

0.6357

3.70

0.1954

0.17

6.2754

0.43

3.5484

0.80

1.5765

1.80

0.6287

3.80

0.1920

0.18

6.8331

0.44

3.3965

0.82

1.5663

1.85

0.6112

3.90

0.1897

0.19

7.3155

0.45

3.2431

0.84

1.5379

1.90

0.6218

4.00

0.1848

0.20

7.9141

0.46

3.0885

0.86

1.4827

1.95

0.6236

0.21

8.2254

0.47

3.0514

0.88

1.4049

2.00

0.6058

0.22

8.0612

0.48

2.9680

0.90

1.3201

2.05

0.5758

0.23

7.3349

0.49

2.9243

0.92

1.2431

2.10

0.5373

0.24

7.1152

0.50

2.8835

0.94

1.1875

2.15

0.4941

0.25

7.7191

0.51

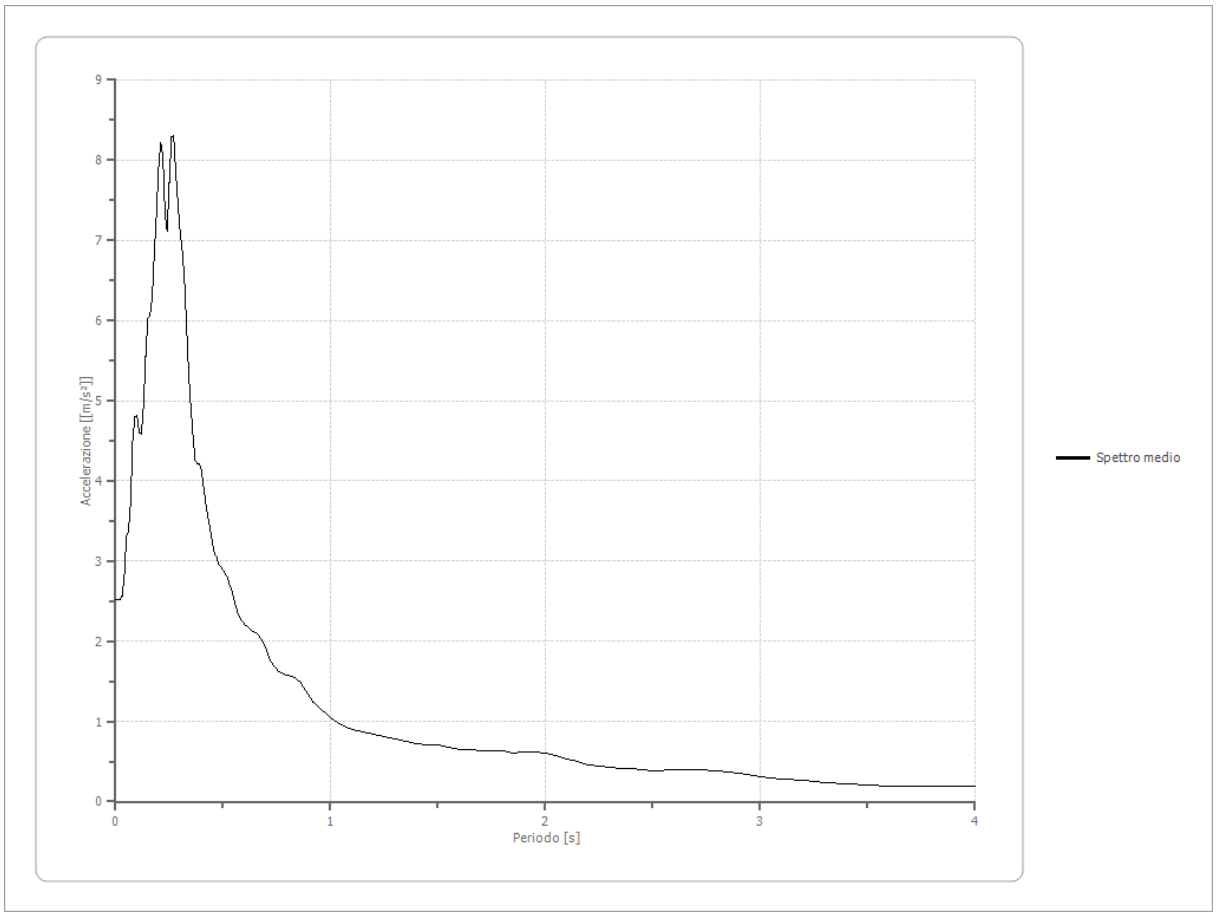
2.8496

0.96

1.1402

2.20

0.4597


Accelerazione [[m/s²]]
Periodo [s]
Spettro medio

Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00									
2.0818									
0.26									
6.4571									
0.52									
3.7833									
0.98									
2.0075									
2.25									
0.8744									
0.01									
2.5126									
0.27									
6.4571									
0.53									
3.7119									
1.00									
1.9673									
2.30									
0.8554									
0.02									
2.9434									
0.28									
6.4571									
0.54									
3.6432									

1.05

1.8736

2.35

0.8372

0.03

3.3742

0.29

6.4571

0.55

3.5769

1.10

1.7885

2.40

0.8197

0.04

3.8051

0.30

6.4571

0.56

3.5131

1.15

1.7107

2.50

0.7869

0.05

4.2359

0.31

6.3462

0.57

3.4514

1.20

1.6394

2.60

0.7567

0.06

4.6667

0.32

6.1479

0.58

3.3919

1.25

1.5739

2.70

0.7286

0.07

5.0975

0.33

5.9616

0.60

3.2789

1.30

1.5133

2.80

0.7026

0.08

5.5283

0.34

5.7862

0.62

3.1731

1.35

1.4573

2.90

0.6784

0.09

5.9592

0.35

5.6209

0.64

3.0739

1.40

1.4052

3.00

0.6558

0.10

6.3900

0.36

5.4648

0.66

2.9808

1.45

1.3568

3.10

0.6346

0.11

6.4571

0.37

5.3171

0.68

2.8931

1.50

1.3115

3.20

0.6148

0.12

6.4571

0.38

5.1772

0.70

2.8105

1.55

1.2692

3.30

0.5962

0.13

6.4571

0.39

5.0444

0.72

2.7324

1.60

1.2296

3.40

0.5786

0.14
6.4571
0.40
4.9183
0.74
2.6585
1.65
1.1923
3.50
0.5621

0.15
6.4571
0.41
4.7983
0.76
2.5886
1.70
1.1572
3.60
0.5465

0.16
6.4571
0.42
4.6841
0.78
2.5222
1.75

1.1242

3.70

0.5317

0.17

6.4571

0.43

4.5752

0.80

2.4592

1.80

1.0930

3.80

0.5177

0.18

6.4571

0.44

4.4712

0.82

2.3992

1.85

1.0634

3.90

0.5044

0.19

6.4571

0.45

4.3718

0.84

2.3421

1.90

1.0354

4.00

0.4918

0.20

6.4571

0.46

4.2768

0.86

2.2876

1.95

1.0089

0.21

6.4571

0.47

4.1858

0.88

2.2356

2.00

0.9837

0.22

6.4571

0.48

4.0986

0.90

2.1859

2.05

0.9597

0.23

6.4571

0.49

4.0149

0.92

2.1384

2.10

0.9368

0.24

6.4571

0.50

3.9346

0.94

2.0929

2.15

0.9150

0.25

6.4571

0.51

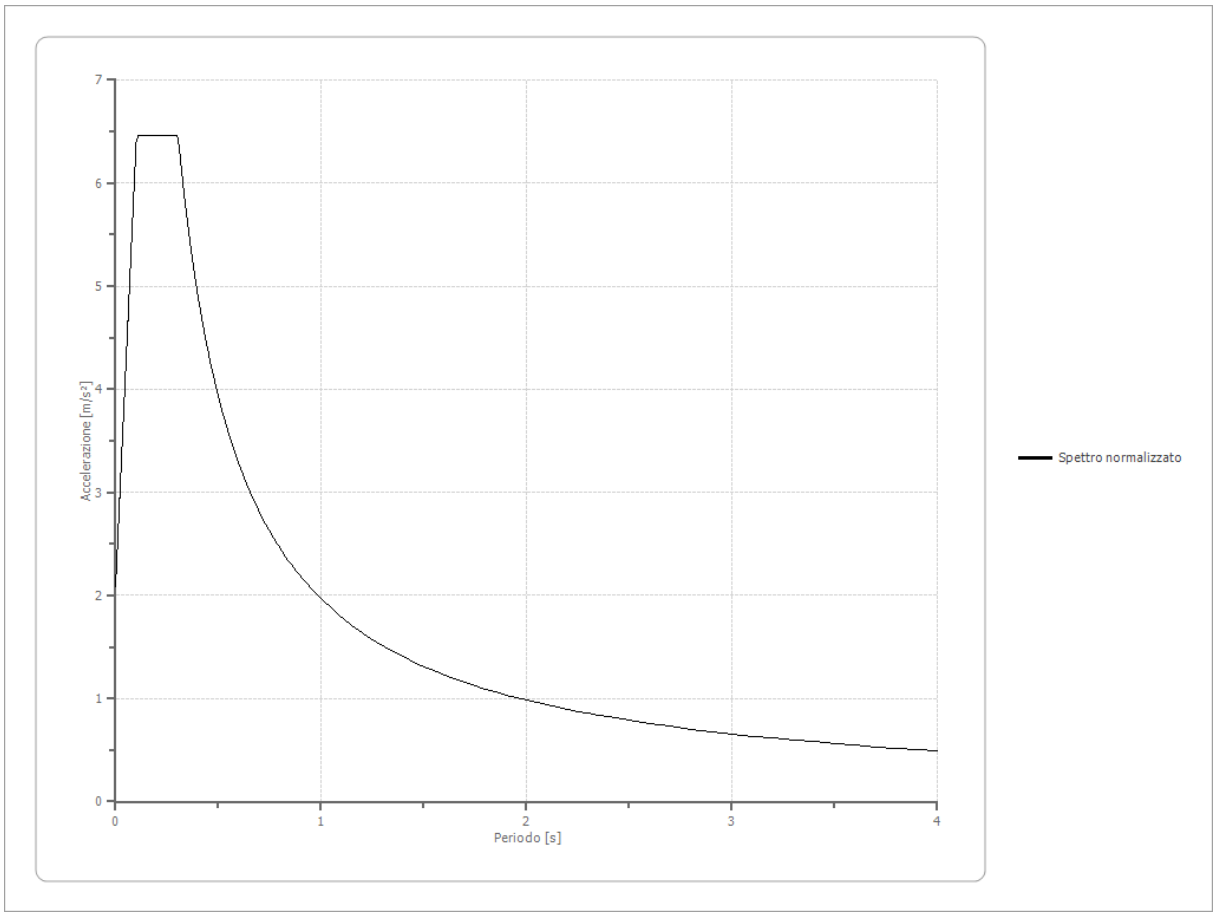
3.8575

0.96

2.0493

2.20

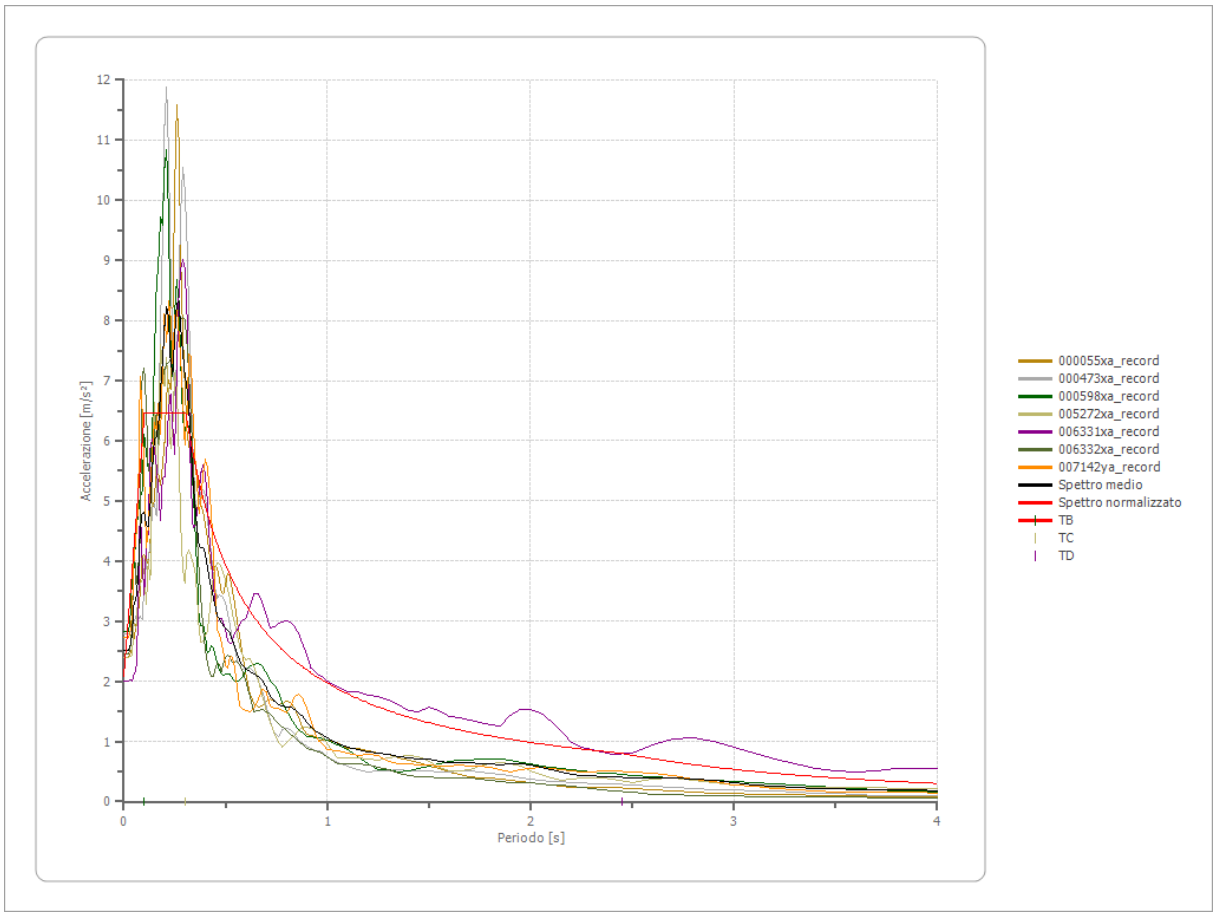
0.8942



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
2.082								
3.101732								
--								
0.102								
0.305								
2.449								
2.082								
6.457								
1.434								

Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguardia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operatività SLO Cat. E	Danno SLD Cat. E	Salvaguardia vita SLV Cat. E	Prev. collasso SLC Cat. E
Tr [anni]								
30								
50								
475								
975								
30								
50								
475								
975								

ag [m/s²]

0.265

0.383

1.452

1.962

0.265

0.383

1.452

1.962

Fo

2.573

2.634

2.435

2.474

2.573

2.634

2.435

2.474

Tc* [s]

0.187

0.208

0.29

0.305

0.187

0.208

0.29

0.305

Ss

1.00

1.00

1.00

1.00

1.60

1.60

1.60

1.46

St

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

1.00

Cc

1.00

1.00

1.00

1.00

2.25

2.16

1.89

1.85

TB [s]

0.062

0.069

0.097

0.102

0.140

0.149

0.182

0.188

TC [s]

0.187

0.208

0.290

0.305

0.421

0.448

0.547

0.564

TD [s]

1.708

1.756

2.192

2.400

1.708

1.756

2.192

2.400

Se(0) [m/s²]

0.265

0.383

1.452

1.962

0.424

0.613

2.323

2.856

Se(TB) [m/s²]

0.682

1.009

3.536

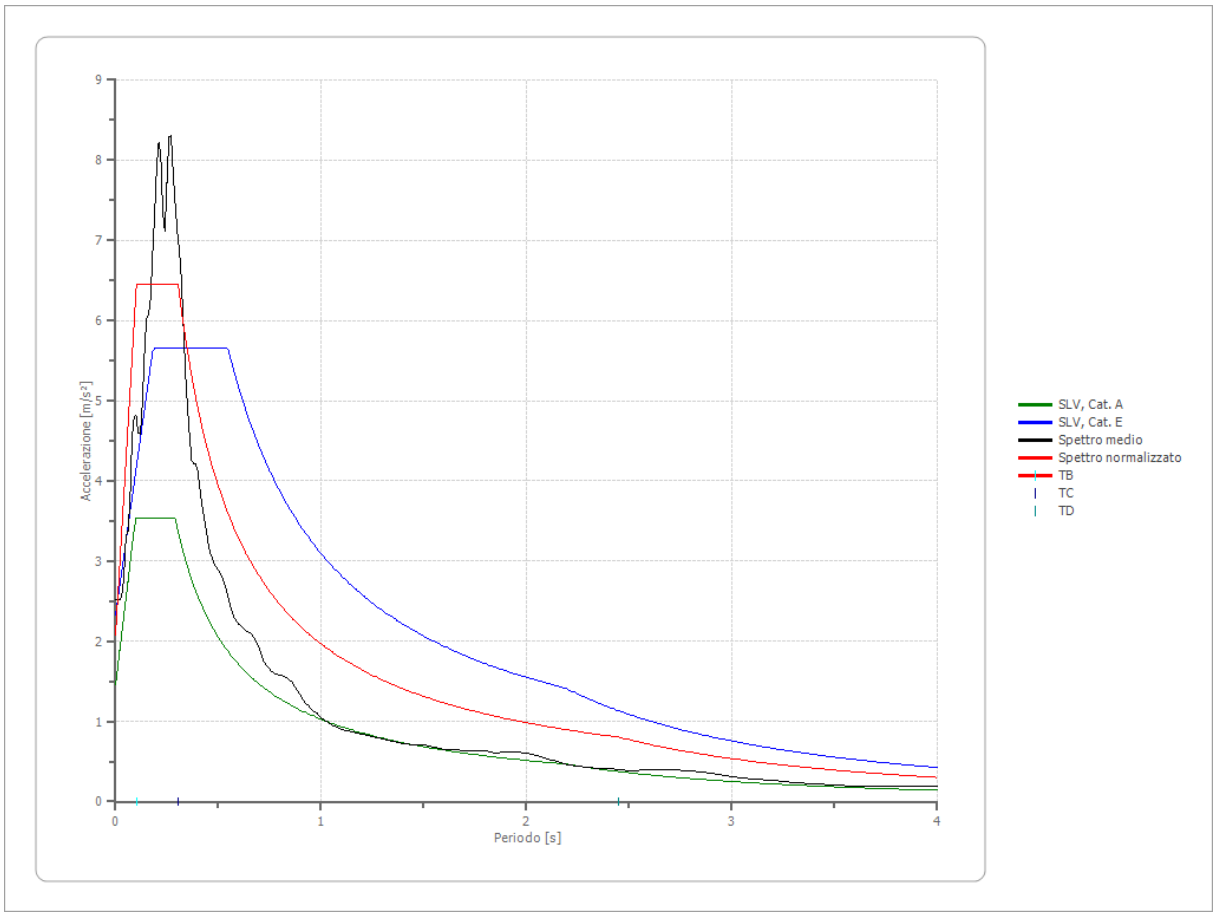
4.854

1.091

1.614

5.657

7.066



Si nota che lo spettro normalizzato, confrontato con quelli di normativa, si avvicina maggiormente, come forma e dimensioni a quello **<u>della categoria E</u> "*Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*", considerando un coefficiente di amplificazione topografica T1.**

CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI DI NATURA GEOLOGICA

Con la presente relazione si conferma a livello preliminare, la fattibilità dal punto di vista geologico, geomorfologico, idrogeologico e sismico per le opere previste nel Progetto in variante al P.R.G. vigente; si conferma, sempre a livello preliminare, la conformità delle opere in progetto anche ai sensi del vigente Piano di Bacino.

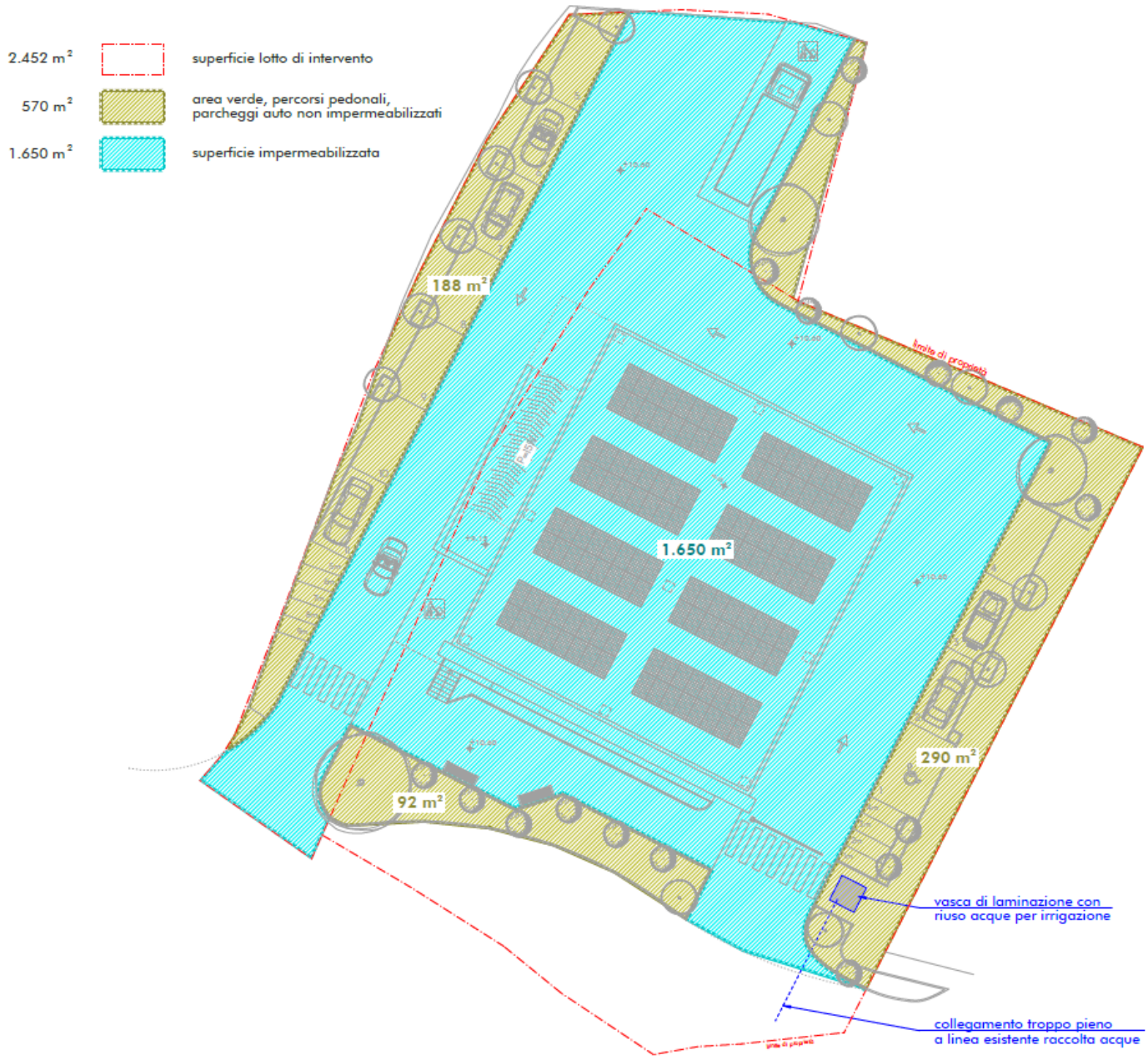
Per la progettazione esecutiva dovrà essere redatta una Relazione geologica e sismica esecutiva, a corredo della quale dovrà essere eseguito un sondaggio a carotaggio continuo, spinto sino alla profondità almeno di 15 metri. Durante l'esecuzione del sondaggio dovranno essere eseguite delle prove penetrometriche SPT e dovranno essere prelevati dei campioni da sottoporre ad analisi di laboratorio. La messa in opera all'interno della perforazione di un piezometro permetterà il monitoraggio della falda freatica per un periodo di almeno 3 mesi.

Tale sondaggio permetterà di verificare quanto desunto delle prove eseguite a corredo della presente relazione.

La Relazione Geologica e Sismica esecutiva, oltre a contenere la descrizione delle risultanze del sondaggio a carotaggio continuo, delle prove penetrometriche SPT, delle analisi di laboratorio e del monitoraggio della falda dovrà contenere:

- l'elaborazione di una nuova verifica alla liquefazione dei terreni a seguito delle risultanze del sondaggio geognostico a carotaggio continuo e delle analisi di laboratorio;
- l'elaborazione di un nuovo studio di Risposta Sismica Locale, in base alle risultanze del sondaggio geognostico a carotaggio continuo e delle analisi di laboratorio;
- l'indicazione dei parametri geotecnici medi;
- l'indicazione delle modalità esecutive, dal punto di vista geologico delle opere in progetto.

CALCOLO VASCA DI LAMINAZIONE CON RIUSO ACQUE PER IRRIGAZIONE



La superficie impermeabile prevista dal progetto è pari a Mq 1.650,00

Il progetto dovrà prevedere un sistema di compensazione consistente nella costruzione di una vasca d'accumulo per ritardare di 15 minuti l'immissione delle acque in rete. Le dimensioni della vasca in oggetto si desumono dal calcolo seguente:

- superficie impermeabile che scarica nella vasca di compensazione: **1650,00** (mq)
- pendenza media dell'area **i = 30 ‰**
- coefficiente di ritardo dovuto all'impermeabilità dell'area **y = 1**
- pioggia critica mm/h **L = 100 mm/h = 0,10 m/h** (mmm 50 in 30')

$$\mathbf{Q = y \times L \times A\ (mc/h)}$$

$$\mathbf{Q = 1 \times 0{,}10 \times 1650{,}00 = 165\ mc/h}$$

La quantità d'acqua di scarico che dovrà essere ritardata prima dell'immissione in rete sarà quindi data dalla seguente formula:

$$\frac{\mathbf{165\ mc/h \times 15'}}{\mathbf{60'}}$$

corrispondente a **41,25 mc**.

Pertanto, essendo il volume da smaltire pari a 165 mc/h, si dovrà disporre di una vasca di compensazione con una capacità non inferiore a 41,25 (~ 42) mc per ritardare di 15 minuti l'immissione delle acque meteoriche in rete.

Ventimiglia, 24 gennaio 2024

Dott. Geol. Gian Stefano Oddera

