COMUNE DI SANREMO

Provincia di Imperia

RICHIEDENTE: CANTIERI DEL MEDITERRANEO SRL – C.SO MAZZINI FOCE ARMEA – 18038 SANREMO (IM)

PROGETTO: INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI PROTEZIONE COSTIERA E RICOSTRUZIONE MOLO DI ALAGGIO DEI CANTIERI DEL MEDITERRANEO IN LOCALITA' CAPO VERDE A SANREMO

PROGETTISTA: Ing. Pierfrancesco Russo

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Indagine geologica redatta ai sensi delle Norme del Piano di Bacino, e della L.N. 64/74 e s.m.i.; della L.R. 29/83, L.R.24/87, L.R.16/2008; NTC 2008 e NTC 2018

Ing. Pierfrancesco Russo
Via Roma, 119
18038 Sanremo (IM)

Dott. Geol. Marco Martolini
C.so Garibaldi 138
18038 Sanremo (IM)

Cell. 329.2222625

Email femada@libero.it

1. Introduzione

Il Sottoscritto Dott. Geol. Marco Martolini, con studio professionale a Sanremo (IM), in C.so Garibaldi, 138, è stato incaricato da Cantieri del Mediterraneo srl con sede in C.so Mazzini – Foce Armea a Sanremo per descrivere, le principali caratteristiche geologiche e sismiche dell'area interessata dall'"Intervento di manutenzione straordinaria di protezione costiera e ricostruzione molo di alaggio dei Cantieri del Mediterraneo in Località Capo Verde a Sanremo".

Il tecnico Progettista delle opere di cui sopra l'Ing. Pierfrancesco Russo di Sanremo (IM).

In pratica le opere in progetto prevedono il rifacimento delle opere marittime di protezione costiera esistenti.

In coerenza con quanto previsto dalle NTC 2018 ("Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni") e secondo quanto disposto dal D.M. del 11.3.1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", a seguito di un accurato rilievo di superficie, alle prove eseguite ed alle conoscenze specifiche della zona, si forniscono alcune indicazioni di carattere geologico e sismico.

La zona in cui sono previste le opere in progetto ricade, nella Carta della Suscettività al Dissesto del Vigente Piano di Bacino del Torrente Armea e Rio Fonti (Ambito n. 4 "Argentina"), in una zona Pg0 (Aree a pericolosità e suscettività molto bassa). Nella Carta del Rischio Geomorfologico del succitato piano di bacino l'area è posta in corrispondenza di una zona Rg0 (Aree a rischio lieve o trascurabile)

Sulla CARTA DI SUSCETTIVITA' D'USO DEL TERRITORIO DEL PUC DI SANREMO l'area di intervento è classificata in parte in Classe 1, in Classe 3i, in Classe 5i e in Classe Zalq 1 – Zona di attenzione per liquefazioni di tipo 1.

In base alla D.G.R. del 16.05.2003 e al Decreto 14 settembre 2005 ("Norme tecniche per le costruzioni") il territorio comunale di Sanremo, secondo la Classificazione sismica dei Comuni della Regione Liguria, appartiene alla Classe Sismica 3 (p.g.a. = 0,15). In base alla D.G.R. n. 1308 del 19.11.2008 pubblicata sul B.U.R.L. n. 47/2008, il territorio comunale di Sanremo, appartiene alla Classe Sismica 3S (p.g.a. = 0,180 g). Infine, in base alla D.G.R. n. 216 del 17.03.2017, il territorio comunale di Sanremo appartiene alla Zona 2, con Pga 0,25 g.

E' stato ricavato come tipo di suolo di fondazione quello E (di seguito sarà descritto come tale classificazione è stata ricavata). E' stato inoltre considerato un coefficiente di amplificazione topografica T1 con S_t di 1.0.

Quanto sopra riportato per la "pericolosità sismica" è assolutamente indicativo e dovrà essere verificato dal tecnico progettista strutturale e/o geotecnico delle opere.

A corredo della presente Relazione geologica e sismica sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche:

- **N .1 prospezione sismica a rifrazione;**
- **N. 1 acquisizione Masw;**
- **N. 3 acquisizioni HVSR;**
- **N. 2 sondaggio a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT;**
- **N. 1 stesa sismica a rifrazione a mare.**

In allegato alla presente sono riportati i seguenti elaborati:

- **Stralcio Carta della pericolosità o suscettività al dissesto del Vigente Piano di Bacino – Non in scala;**
- **Stralcio Carta del rischio geomorfologico del Vigente Piano di Bacino – Non in scala;**
- **Stralcio Carta di zonizzazione geologica rischio sismico del PRG di Sanremo – Non in scala;**
- **Stralcio Carta di suscettività d'uso del territorio del Vigente PUC di Sanremo – Non in scala;**
- **Stralcio Carta geologica del Vigente PUC di Sanremo – Non in scala;**
- **Stralcio Carta geomorfologica del Vigente PUC di Sanremo – Non in scala;**
- **Stralcio CARG (Carta geologica regionale) – Non in scala;**
- **Ubicazione prove geognostiche eseguite;**
- **Tracce sezioni geologiche – Non in scala;**
- **Sezioni geologiche.**

Inoltre in allegato sono riportati anche i seguenti elaborati:

- ***"Indagine geognostica presso Cantieri del Mediterraneo a Bussana di Sanremo (IM)"* a cura di Injectosond Italia s.r.l. ;**
- **Elaborazione delle prove SPT (Standard Penetration Test);**
- ***"Indagine sismica a rifrazione nel tratto di mare antistante il cantiere del mediterraneo in località Capo Verde del Comune di Sanremo (IM) interessati da intervento di manutenzione straordinaria di protezione costiera e ricostruzione molo di alaggio"* a cura del Dott. Geol. Marco Zanicchi di EptaConsult s.c.r.l.;**
- **Risultanze dell'analisi granulometrica su campione prelevato in corrispondenza del sondaggio geognostico a cura di Sosperit s.r.l.;**
- **Valutazione del rischio di potenziale liquefazione.**

2. Note geomorfologiche dell'area, risultanze dei sopralluoghi e considerazioni varie

L'area oggetto di studio è ubicata in sponda destra della foce del T. Armea, in Località Bussana e ad Est del centro cittadino di Sanremo.

La zona, di intervento risulta essere da subpianeggiante a debolmente degradante verso il mare e dal punto di vista altimetrico si sviluppa tra circa + 2 m a -5,00 metri dal livello del mare.

L'area è caratterizzata dalla presenza di potenti livelli riporto di origine antropica, di spessore maggiore in direzione verso monte dove sono presenti i fabbricati principali dei cantieri navali, posti al di sopra di depositi fluvio-marini di natura prevalentemente sabbiosa e sabbiosa-ghiaiosa, a loro volta posti al di sopra del substrato roccioso costituito dal Flysch di Sanremo.

Attualmente, a protezione del molo di alaggio, è presente un pennello, costituito da massi ciclopici litoidi, che si sviluppa parallelamente alla linea di costa.

Le opere in progetto hanno il fine di migliorare la protezione del cantiere navale dal moto ondoso e di agevolare e di rendere più sicure le operazioni di movimentazione dei natanti da parte degli operatori.

A seguito dell'esame degli studi geologici disponibili per la zona oggetto di intervento, nell'area di interesse non sono riportati movimenti franosi e/o erosivi in atto, sia negli elaborati relativi alla pianificazione comunale, sia negli elaborati del Vigente Piano di Bacino e sia nella Carta Geologica D'Italia (Foglio Sanremo) realizzata dalla Regione Liguria. L'area non è menzionata come instabile neppure sull'"Atlante dei Centri Instabili della Liguria" redatto dalla Regione Liguria e dall'Università degli Studi di Pisa nell'anno 2007.

3. Note geologiche

Il substrato geologico dell'area in esame è rappresentato dalle propaggini più occidentali del Flysch ad Helmintoidi (F. di Sanremo che appartiene all'Unità di Sanremo-Monte Saccarello) che si accavalla sul Grés d'Annot (Flysch di Ventimiglia che appartiene alla Zona Delfinese) generando i "lembi interposti" ("Lambeaux de charriage").

Questi assetti tettonici, sono stati rimodellati da dislocazioni tettoniche intervenute a partire del Pliocene superiore sino al Pleistocene, che hanno dato origine alla formazione dei depositi pliocenici presenti nella Liguria occidentale (Conglomerati di M. Villa, Argille di Ortovero, ecc.), dando vita all'attuale assetto tettonico.

Nella zona oggetto di studio sono presenti, come evidenziato a seguito dell'esecuzione delle indagini di seguito riportate, dei livelli di riporti antropici, posti al di sopra dei depositi alluvionali fluvio-marini, a loro volta sormontanti il Flysch di Sanremo, rappresentato, nella zona oggetto di studio dal Membro FSM_4 di San Lorenzo, costituito da strati arenaceo-argillitici, con intercalazioni di calcilutiti e rari strati marnoso-arenacei – Maastrichtiano superiore.

Lungo il versante presente ad Ovest della zona di intervento gli strati rocciosi immergono verso ENE con angoli di circa 20°.

4. Note idrogeologiche

La zona di intervento, come indicato nel paragrafo 2 della presente, interessa sia una parte emersa, dove attualmente sono presenti i riporti antropici sormontanti i depositi alluvionali, sia una parte a mare dove si sviluppano prevalentemente i depositi alluvionali di seguito descritti nel dettaglio e coinvolti nella dinamica marina.

All'interno dei riporti antropici e dei depositi alluvionali presenti nella zona di monte degli interventi in progetto, a partire da una quota di -1,00/-2,00 m dall'esistente piazzale del cantiere navale, si sviluppa una falda freatica di acqua salata le cui oscillazioni sono direttamente influenzate dal moto ondoso.

Inoltre, sia i riporti antropici, sia i depositi alluvionali, data la loro natura prevalentemente sabbiosa e ghiaiosa sono dotati di una permeabilità medio-alta ($K=10^{-5}\div10^{-2}$ m/s, da "Geotecnica" di Renato Lancellotta – Zanichelli – Seconda Edizione).

I deflussi profondi essendo il Flysch semipermeabile per fratturazione, sono limitati e localizzati (le vie preferenziali di drenaggio seguono l'immersione della stratificazione, quindi in direzione ENE) nei meati delle stratificazioni arenacee e calcareo-marnose, che presentano una fratturazione persistente compartimentati dai livelli marnosi e argilloso-scistosi impermeabili.

5. Stesa sismica a rifrazione

In corrispondenza dell'allineamento predisposto per l'acquisizione Masw (di seguito descritta), è stata eseguita un'indagine sismica a rifrazione, per definire l'andamento delle velocità delle onde P (longitudinali).

L'allineamento sismico ha 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 a 19 metri dalla battuta di andata.

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 le acquisizioni Masw pari a 2 s.

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

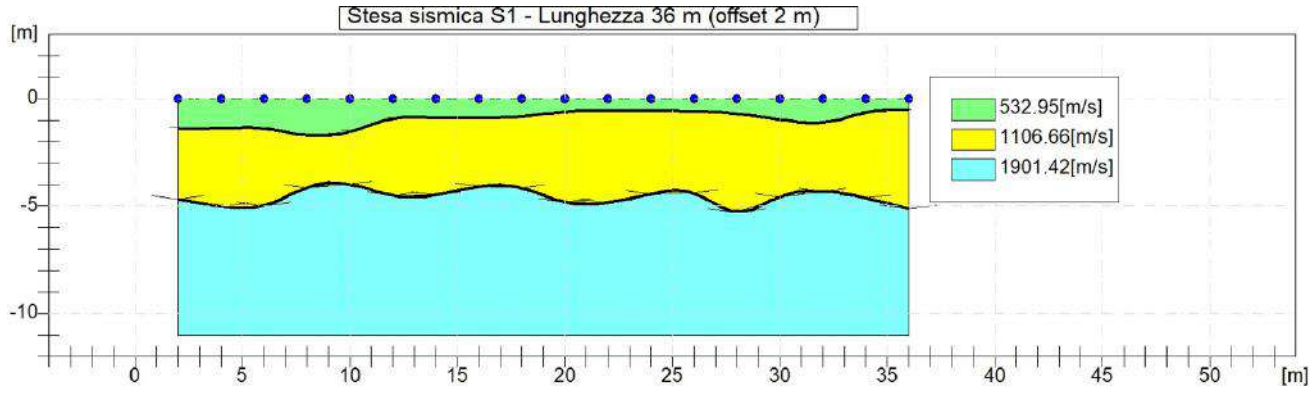
Il sismografo è collegato ad un pc Windows compatibile, tramite porta USB, su cui è installato il software di gestione omonimo DoReMi che consente di controllare le numerose possibilità di acquisizione dello strumento.

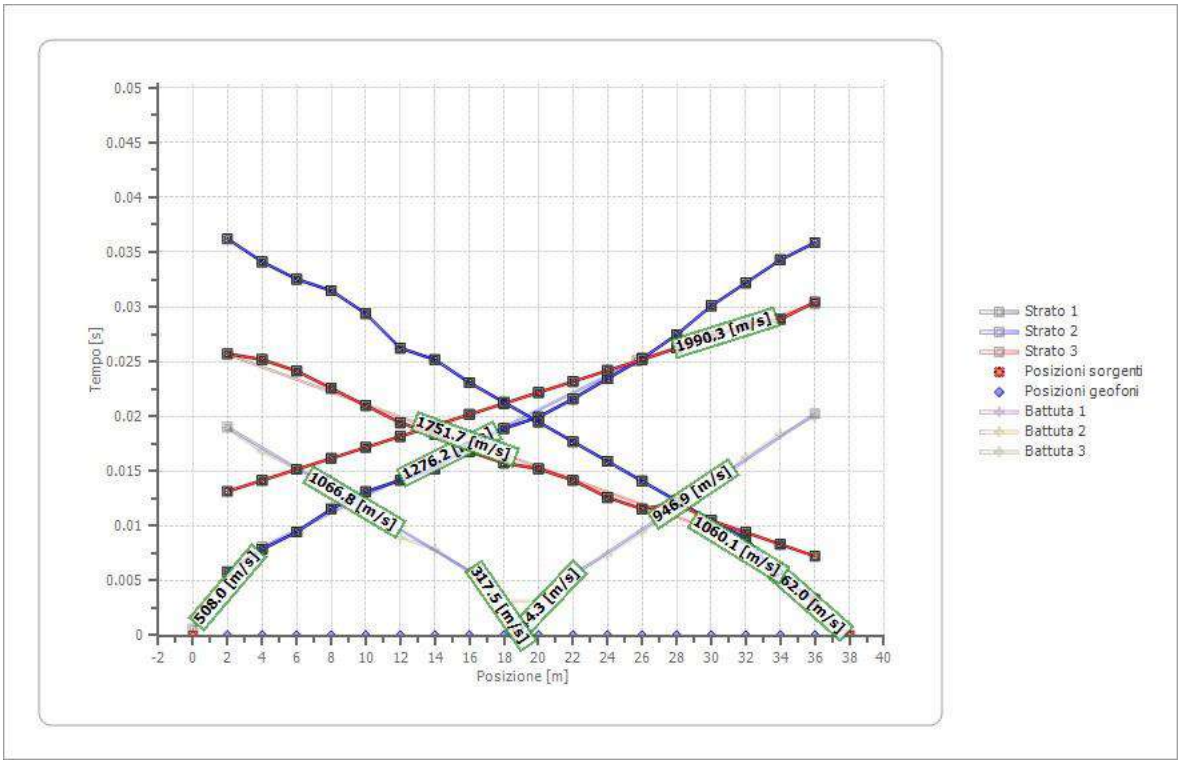
Per l'elaborazione della stesa sismica a rifrazione è stato utilizzato il software Easyrefract di Geostru (metodo GRM o di Palmer).

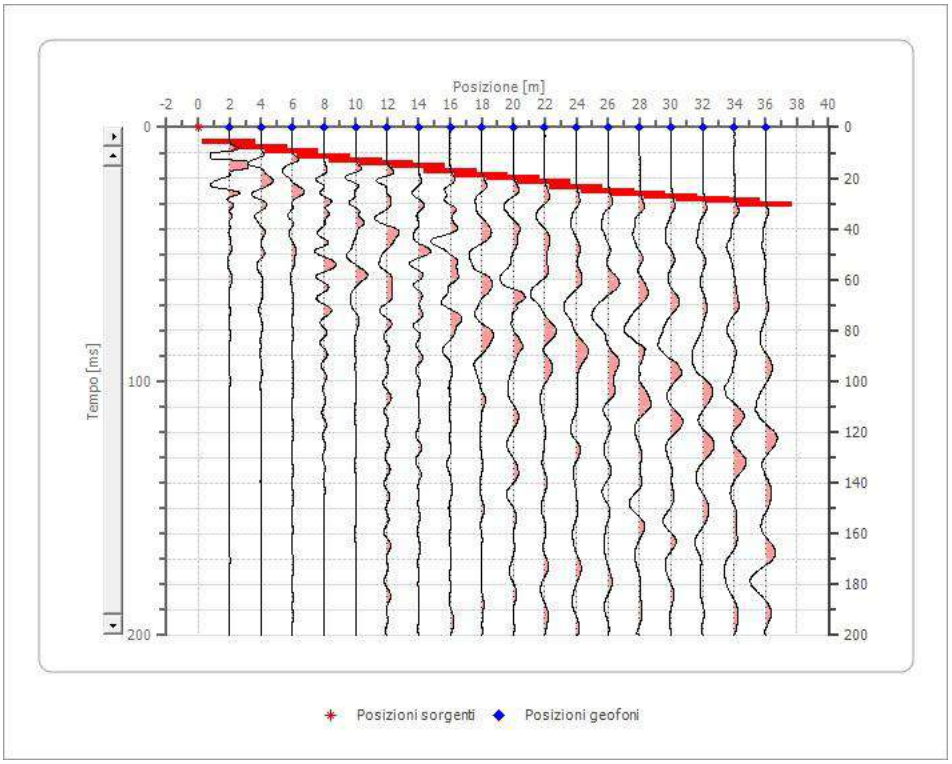
La prospezione sismica a rifrazione si basa sulla determinazione delle velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) nel terreno.

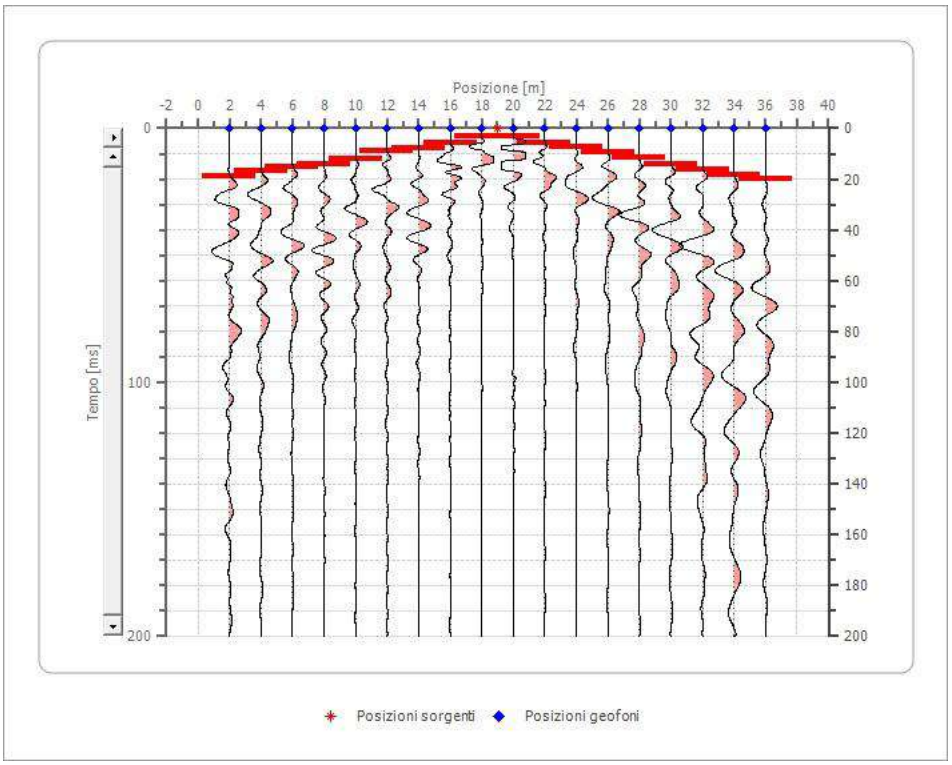
Le onde generate da una massa battente si propagano nel terreno e vengono rilevate dai geofoni, mentre i tempi di arrivo delle onde sono registrati e visualizzati sul sismografo.

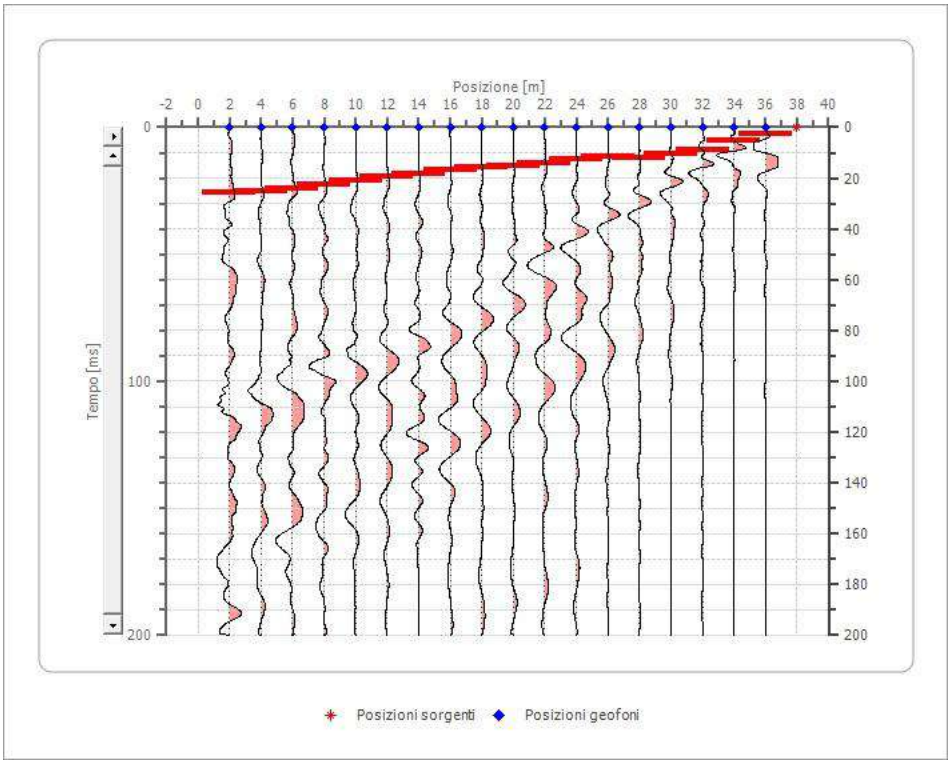
Dall'elaborazione matematica dei dati si risale alla geometria dei mezzi attraversati e quindi si opera l'interpretazione grafica mediante sezioni interpretative. La profondità di investigazione è pari a circa 1/3 dello stendimento, quindi corrisponde ad una profondità di 12/13 metri dal piano di campagna.






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



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

Per cui possono essere definiti i seguenti sismostrati:

- da 0 a -1,50/-1,00 m dal piano di campagna rappresentato dal piazzale – Riporti antropici (Strato 1), caratterizzati da una velocità delle onde sismiche longitudinali (Vp) pari a 0,53 km/s;

- da -1,50/-1,00 a -5,00 m dal p.c. – Riporti antropici/depositi alluvionali da parzialmente a totalmente saturi, caratterizzati da una velocità delle onde sismiche longitudinali (Vp) pari a 1,11 km/s (Strato 1 e Strato 2);

- da -5,00 m dal p.c. in poi – Depositi alluvionali saturi, caratterizzati da una velocità delle onde sismiche longitudinali pari a 1,90 km/s (Strato 2 e Strato 3).



Foto 1 – Stesa sismica a rifrazione e acquisizione MASW (Coordinate WGS84 Andata: Lat 43,819209; Lon 7,837263 – Ritorno: Lat 43,819334; Lon 7,837676)

6. 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 piazzale), 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 andata e di una di ritorno:

Acquisizione di andata

"**1 - Dati sperimentali**

Nome del file delle tracceX:\Marco Martolini\bussana 07-09-2019\bussana\andata\masw2.drm
Numero di ricevitori..... 18
Distanza tra i sensori:..... 0m
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)

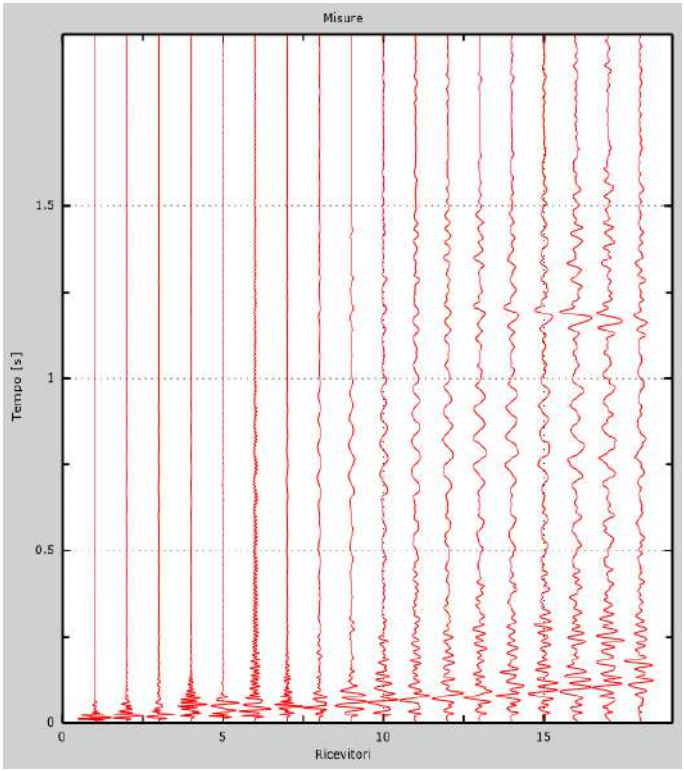


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

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

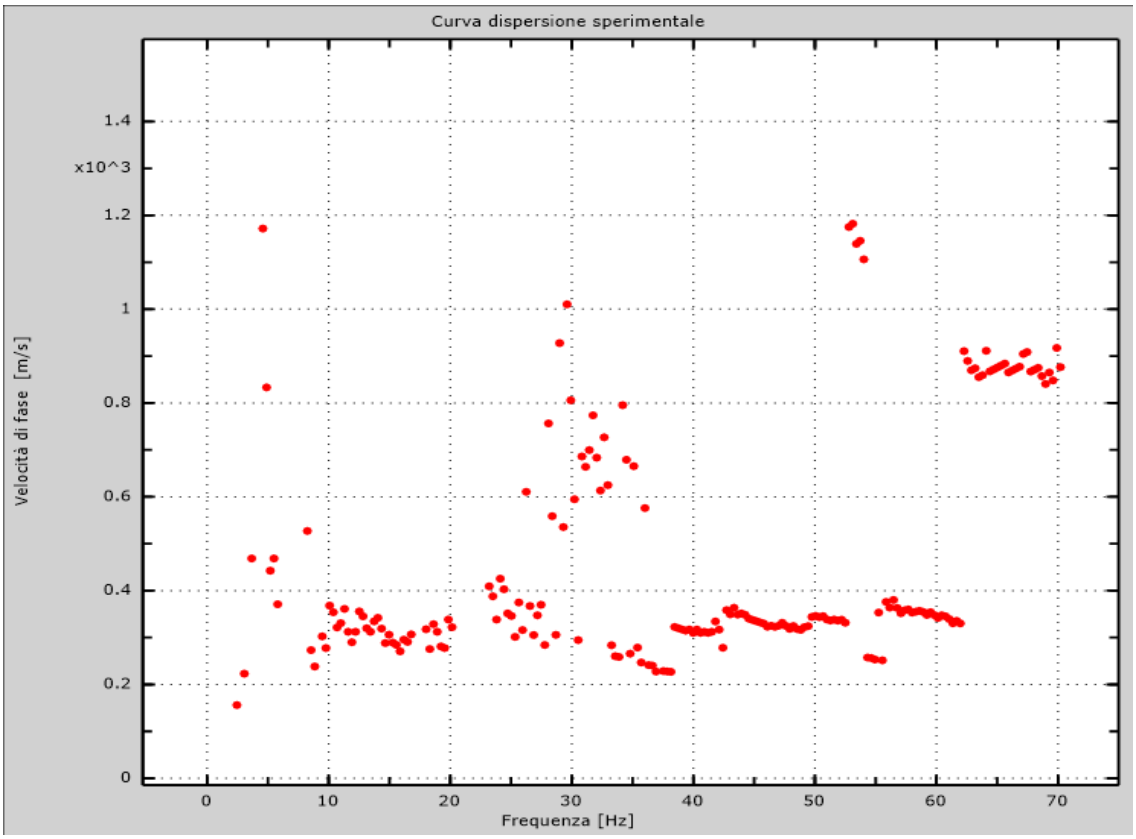


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

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]
5.25376	835.795	828.404	843.185
7.99648	529.093	510.617	547.569
9.82496	377.59	362.809	392.371
12.5677	344.333	311.076	377.59
18.396	311.076	299.991	322.162
23.8814	318.467	296.295	340.638
28.3383	292.6	263.038	322.162
36.5665	270.429	218.696	322.162
49.023	285.21	226.086	344.333

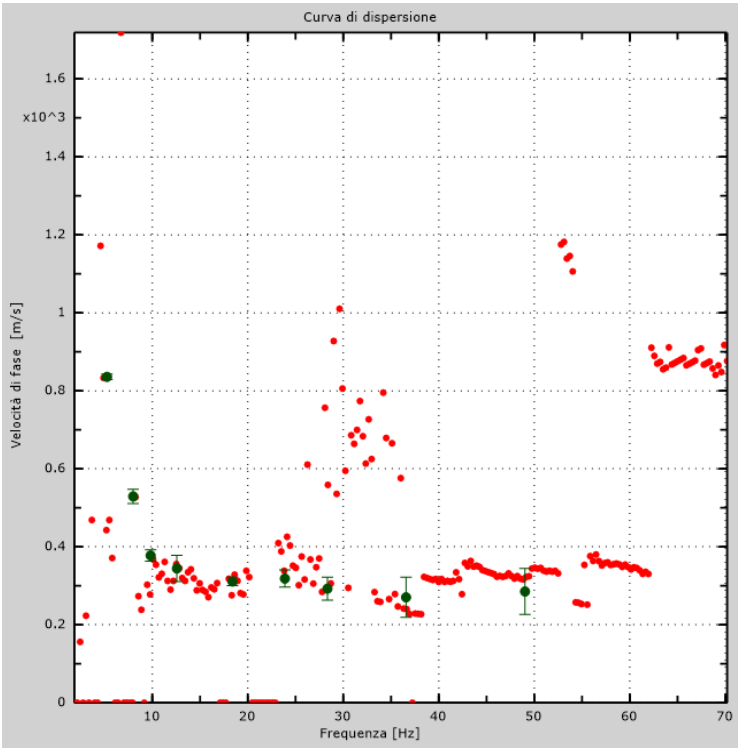


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

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

Strato 1

h [m] 0,4
z [m] ..... -0.4
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson 0.33
Vs [m/s] 141
Vp [m/s] 280
Vs min [m/s] 101
Vs max [m/s] 212
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 141

Strato 2

h [m] 0,6
z [m] ..... -1
Densità [kg/m^3] 2000
Poisson 0.40
Vs [m/s] 217
Vp [m/s] 532
Vs min [m/s] 150
Vs max [m/s] 326
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 217

Strato 3

h [m] 3,5
z [m] ..... -4.5
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson 0.45
Vs [m/s] 333
Vp [m/s] 1104
Vs min [m/s] 173
Vs max [m/s] 500
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 333

Strato 4

h [m] 0,5
z [m] ..... -5
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson 0.48
Vs [m/s] 353
Vp [m/s] 1800
Vs min [m/s] 191
Vs max [m/s] 530
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 353

Strato 5

h [m] 4
z [m] ..... -9
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson 0.48
Vs [m/s] 373
Vp [m/s] 1902
Vs min [m/s] 210
Vs max [m/s] 560
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 373

Strato 6

h [m] 8
z [m] ..... -17
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson 0.48
Vs [m/s] 382
Vp [m/s] 1948
Vs min [m/s] 210
Vs max [m/s] 573
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 382

Strato 7

h [m] 5
z [m] ..... -22
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson 0.48
Vs [m/s] 510
Vp [m/s] 2600
Vs min [m/s] 294
Vs max [m/s] 765
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 510

Strato 8

h [m] 6
z [m] ..... -28
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 520
Vp [m/s] 1112
Vs min [m/s] 294
Vs max [m/s] 780
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 520

Strato 9

h [m] 0
z [m] ..... -oo
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1000
Vp [m/s] 2138
Vs min [m/s] 464
Vs max [m/s] 1500
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1000

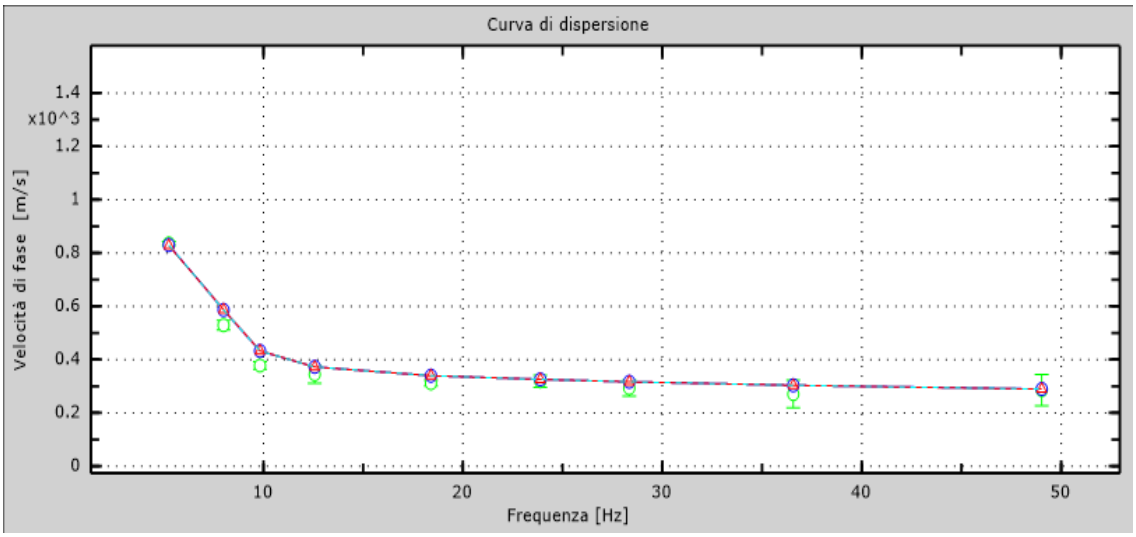


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

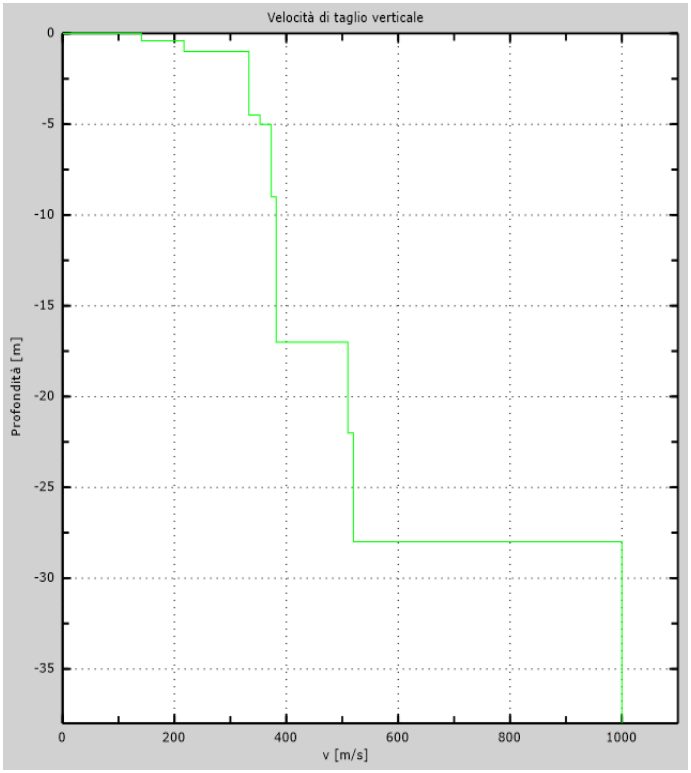


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0
Vs30 (NTC 2008)[m/s] 413
Vsequivalenti (NTC 2018)[m/s] 394”

Acquisizione di ritorno

“1 - Dati sperimentali

Nome del file delle tracce .....
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)

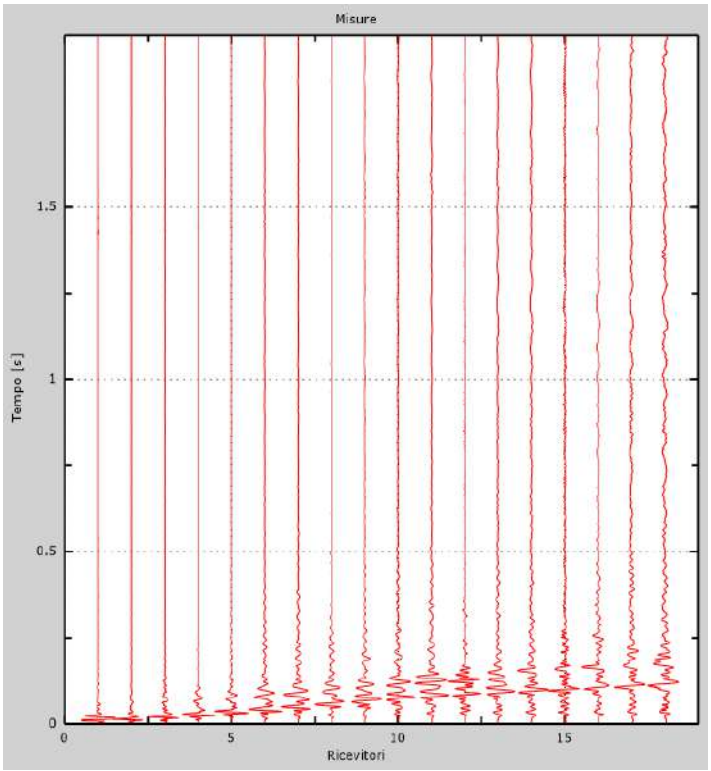


Figura 1: Tracce sperimentali

2 - Risultati delle analisi

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

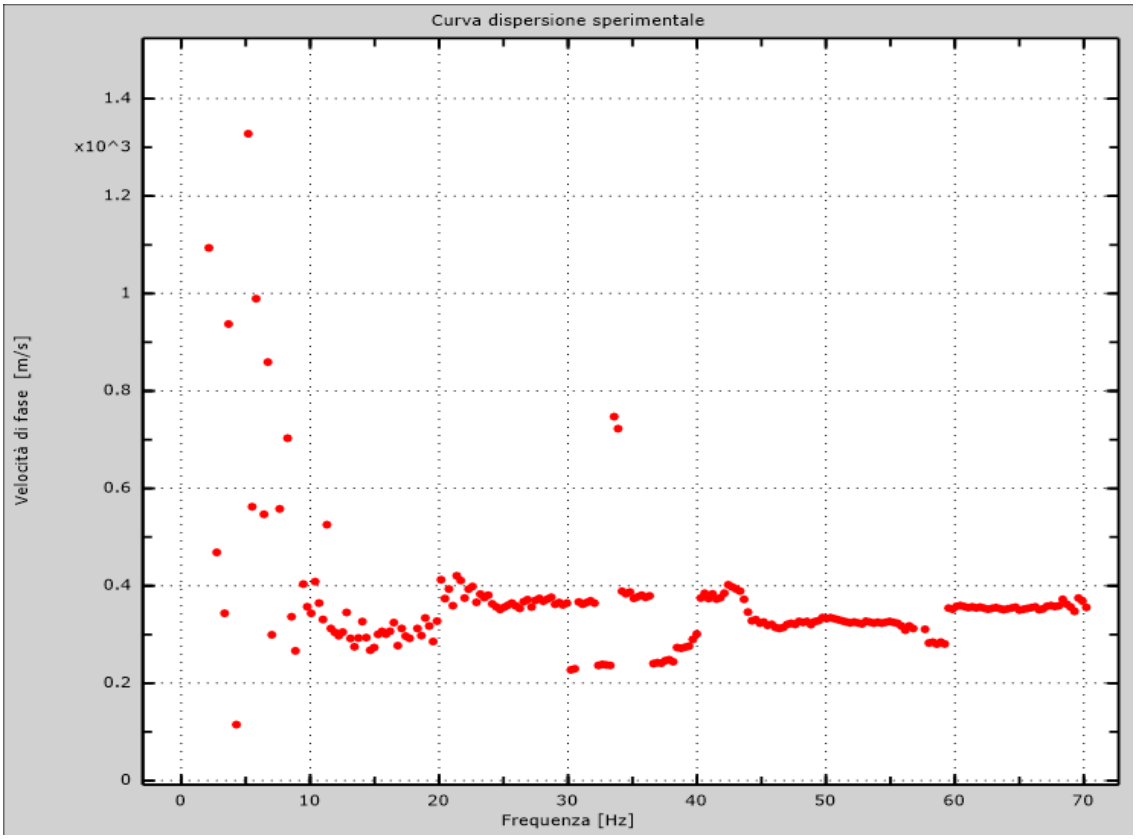


Figura 2: Curva dispersione sperimentale

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]
6.82871	859.898	852.532	867.265
8.8981	568.921	550.505	587.337
11.4602	344.243	292.677	395.808
17.964	329.51	303.727	355.293
24.1722	344.243	318.46	370.026
32.5483	362.659	255.845	469.473
39.7418	351.609	263.211	440.007
47.4282	322.143	288.994	355.293

53.3407	322.143	266.895	377.392

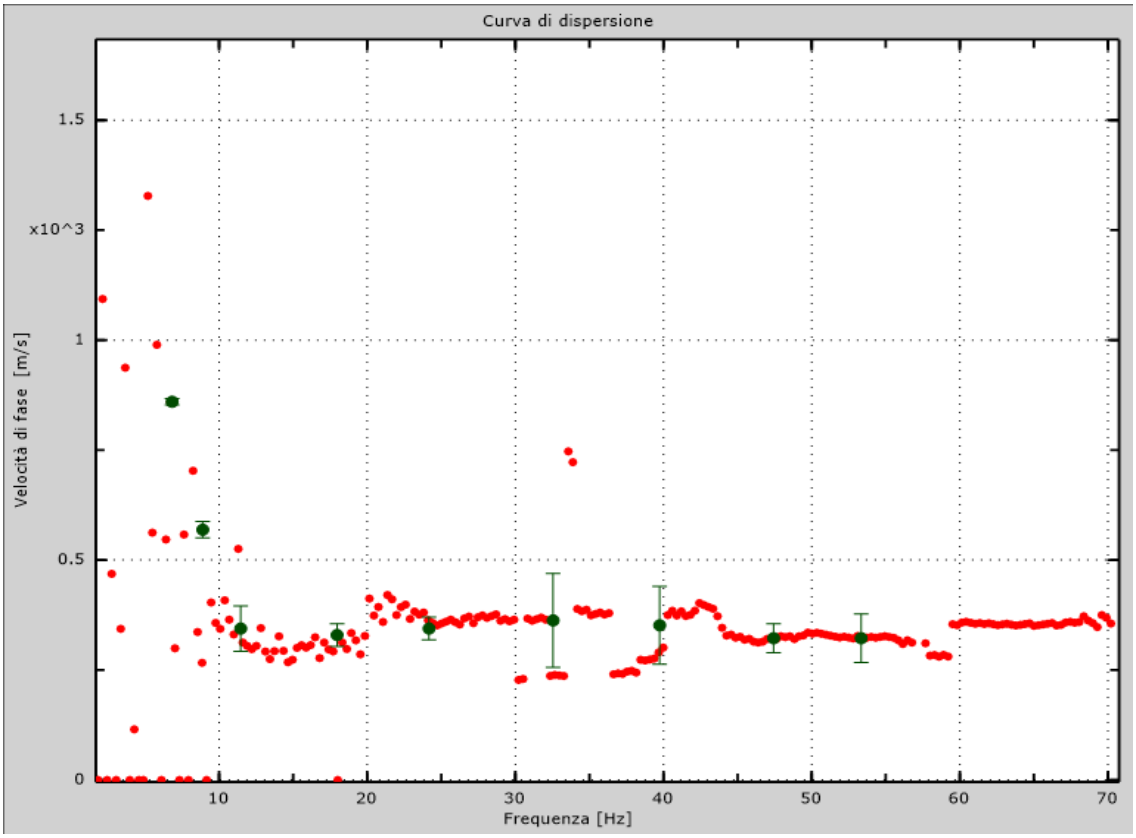


Figura 3: Curva di dispersione

4 - Profilo in sito

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

Strato 1

h [m] 0,4
z [m] ..... -0.4
Densità [kg/m^3] 1800
Poisson 0.33
Vs [m/s] 141
Vp [m/s] 280
Vs min [m/s] 94
Vs max [m/s] 716
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 141

Strato 2

h [m] 0,6
z [m] ..... -1
Densità [kg/m^3] 2000
Poisson 0.4
Vs [m/s] 217

Vp [m/s] 532
Vs min [m/s] 195
Vs max [m/s] 326
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 217

Strato 3

h [m] 3,5
z [m] ..... -4.5
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson 0.45
Vs [m/s] 333
Vp [m/s] 1104
Vs min [m/s] 191
Vs max [m/s] 500
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 333

Strato 4

h [m] 0,5
z [m] ..... -5
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson 0.48
Vs [m/s] 360
Vp [m/s] 1836
Vs min [m/s] 191
Vs max [m/s] 540
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 360

Strato 5

h [m] 4
z [m] ..... -9
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson 0.48
Vs [m/s] 373
Vp [m/s] 1902
Vs min [m/s] 191
Vs max [m/s] 560
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 373

Strato 6

h [m] 8
z [m] ..... -17
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson 0.48
Vs [m/s] 382
Vp [m/s] 1948

Vs min [m/s] 191
Vs max [m/s] 573
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 382

Strato 7

h [m] 7
z [m] ..... -24
Densità [kg/m^3] 2100
Poisson 0.48
Vs [m/s] 632
Vp [m/s] 3223
Vs min [m/s] 316
Vs max [m/s] 1264
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 632

Strato 8

h [m] 6
z [m] ..... -30
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 632
Vp [m/s] 1351
Vs min [m/s] 316
Vs max [m/s] 1264
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 632

Strato 9

h [m] 0
z [m] ..... -oo
Densità [kg/m^3] 2400
Poisson 0.36
Vs [m/s] 1100
Vp [m/s] 2352
Vs min [m/s] 478
Vs max [m/s] 1650
Falda non presente nello strato
Strato non alluvionale
Vs fin.[m/s] 1100

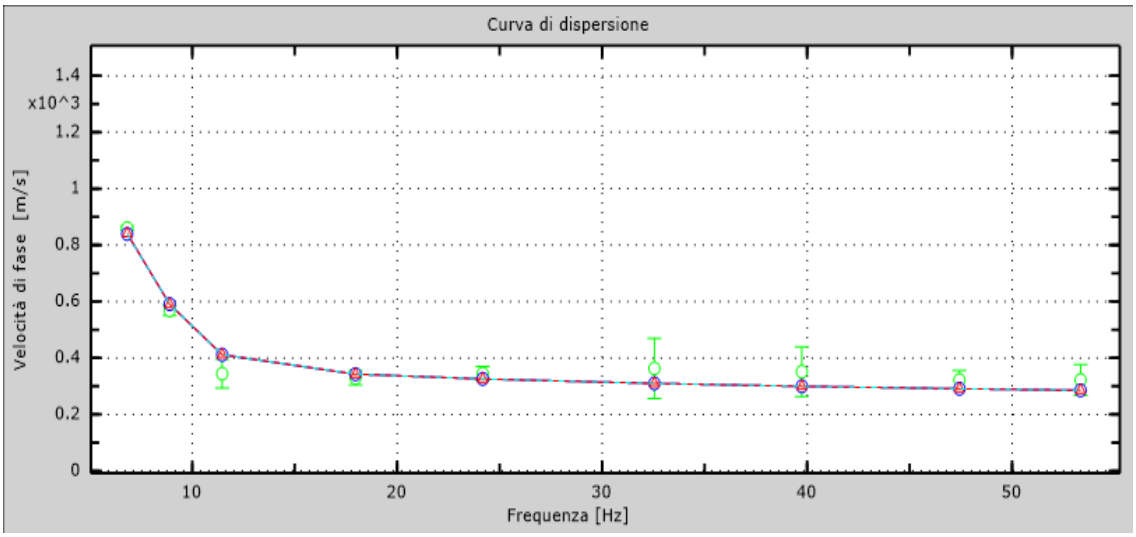


Figura 4: Velocità numeriche – punti sperimentali (verde), modi di Rayleigth (ciano), curva apparente(blu), curva numerica (rosso)

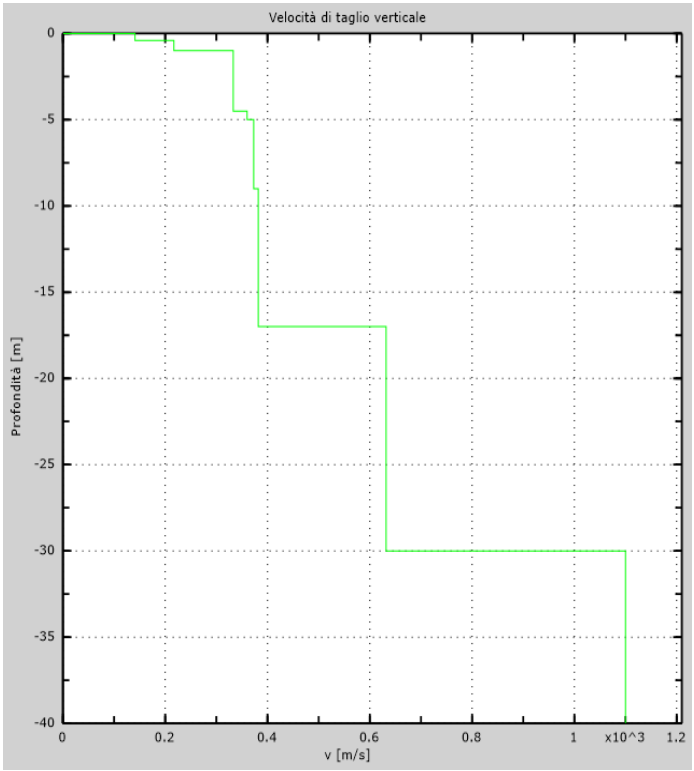


Figura 5: Profilo Vs numerico

5 - Risultati finali

Piano di riferimento z=0 [m] 0

Vs30 (NTC 2008) [m/s] 430
Vsequivalenti (NTC 2018) [m/s] 430”

7. 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. Il metodo HVSR 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 del terreno investigato (nel nostro caso grazie al rilevamento geologico-geomorfologico di superficie, alle altre indagini sismiche e al sondaggio geognostico a carotaggio continuo). 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 (grazie alla "taratura sopra indicata"). Esistono però casi con anomalie stratigrafiche, rumori più modi di vibrazione, rumori ambientali, imprecisioni del metodo di calcolo che possono far ottenere risultati completamente errati. Nel caso delle acquisizioni di seguito riportate tali problematiche sono in parte superate, come già illustrato, grazie a quanto sopra riportato.

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

- scheda madre Theremino master, con uscita USB;
- adc 24 bit;
- n. 2 geofoni orizzontali da 4,5 hz;
- n. 1 geofono verticale da 4,5 hz;
- Frequenza di campionamento 125, 150, 200, 250, 333, 500 Hz;
- Durata acquisizione 10, 20, 30 minuti;
- Registrazione dei dati acquisiti in formato *.SAF;
- 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.

Sono state eseguite tre misurazioni, Th_1, Th_2 e Th_3 come indicato nella carta di ubicazione delle prove, di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni.



Foto 2 – Esecuzione prova Th_1 con lo strumento 1 (coordinate WGS84: Lat 43,82087°, Lon 7,791670°)



Foto 3 – Esecuzione prova Th_2 con lo strumento 2 (coordinate WGS84: Lat 43,820989°, Lon 7,791696°)



Foto 4 – Esecuzione prova Th_2 con lo strumento 2 (coordinate WGS84: Lat 43,820989°, Lon 7,791696°)

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 figure sottoriportate).

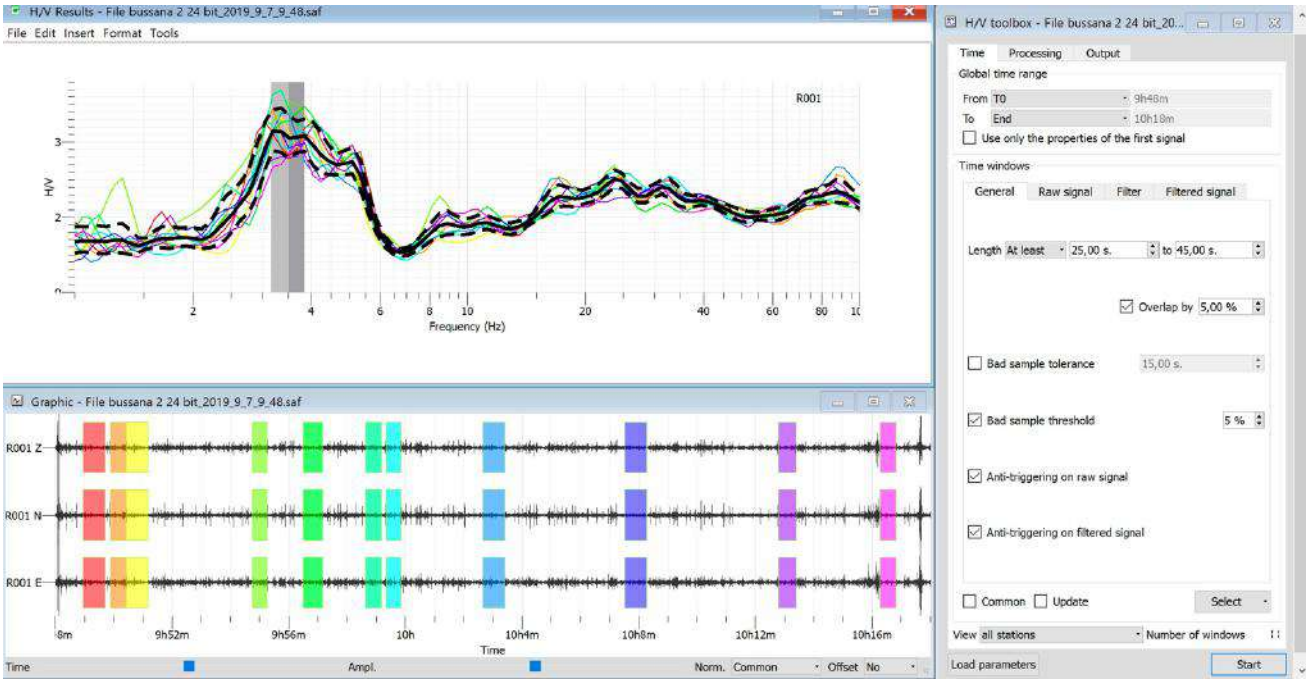


Figura 1 - Grafico HVSR della registrazione Th_1

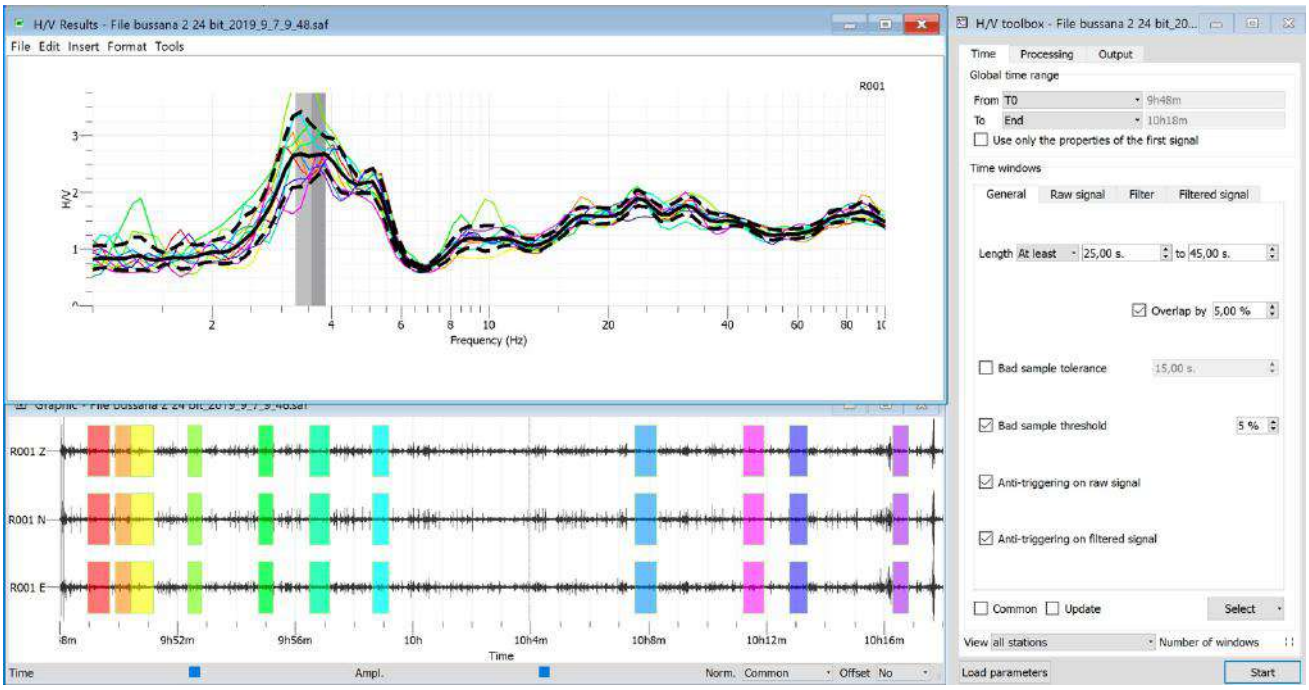


Figura 2 - Grafico HVSR della registrazione Th_2

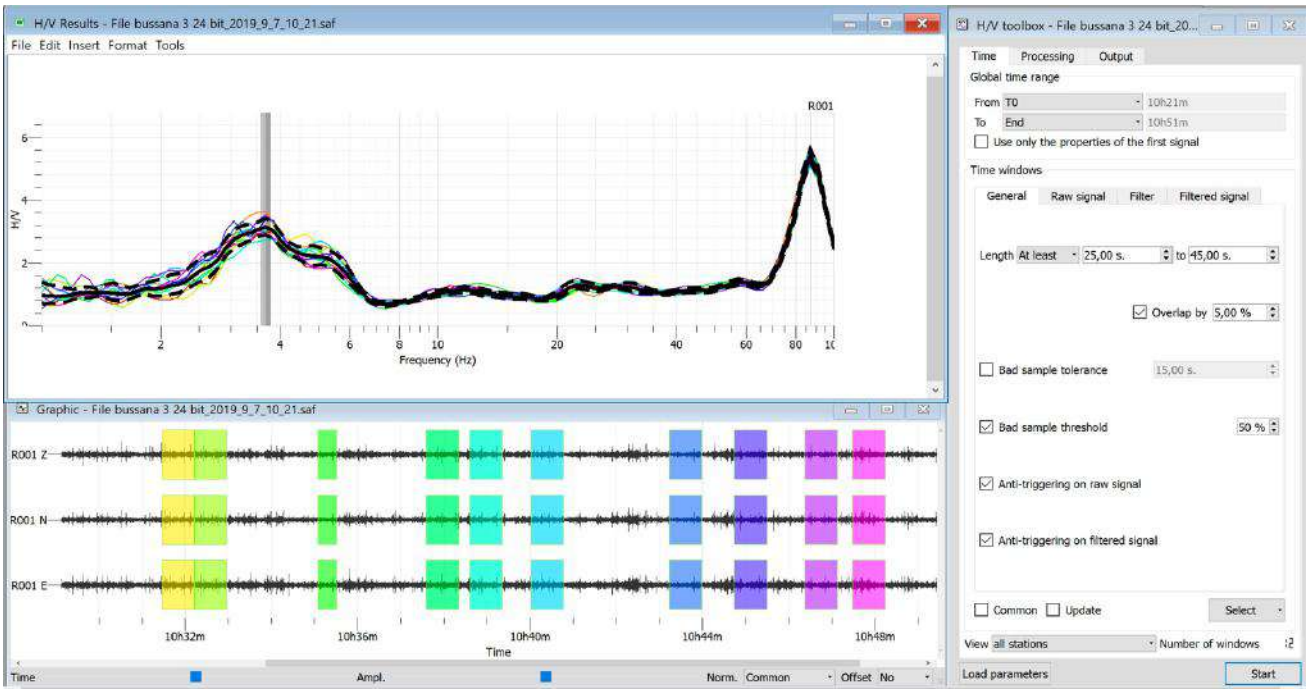


Figura 3 - Grafico HVSR della registrazione Th_3

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 indicativa delle velocità delle onde di taglio S e delle onde longitudinali P, come sotto riportato:

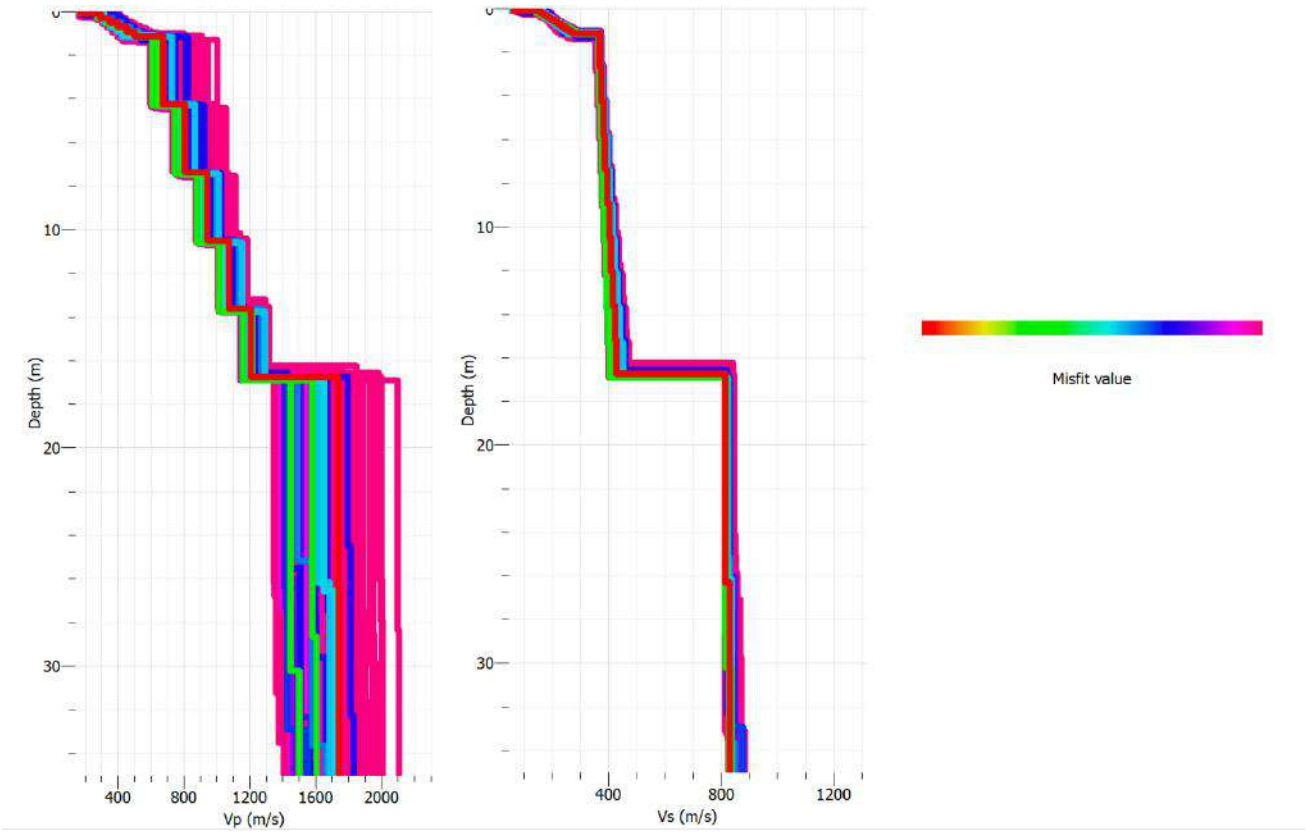


Figura 4 - Elaborazione con Dinver della prova con il theremino Th_1 (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)

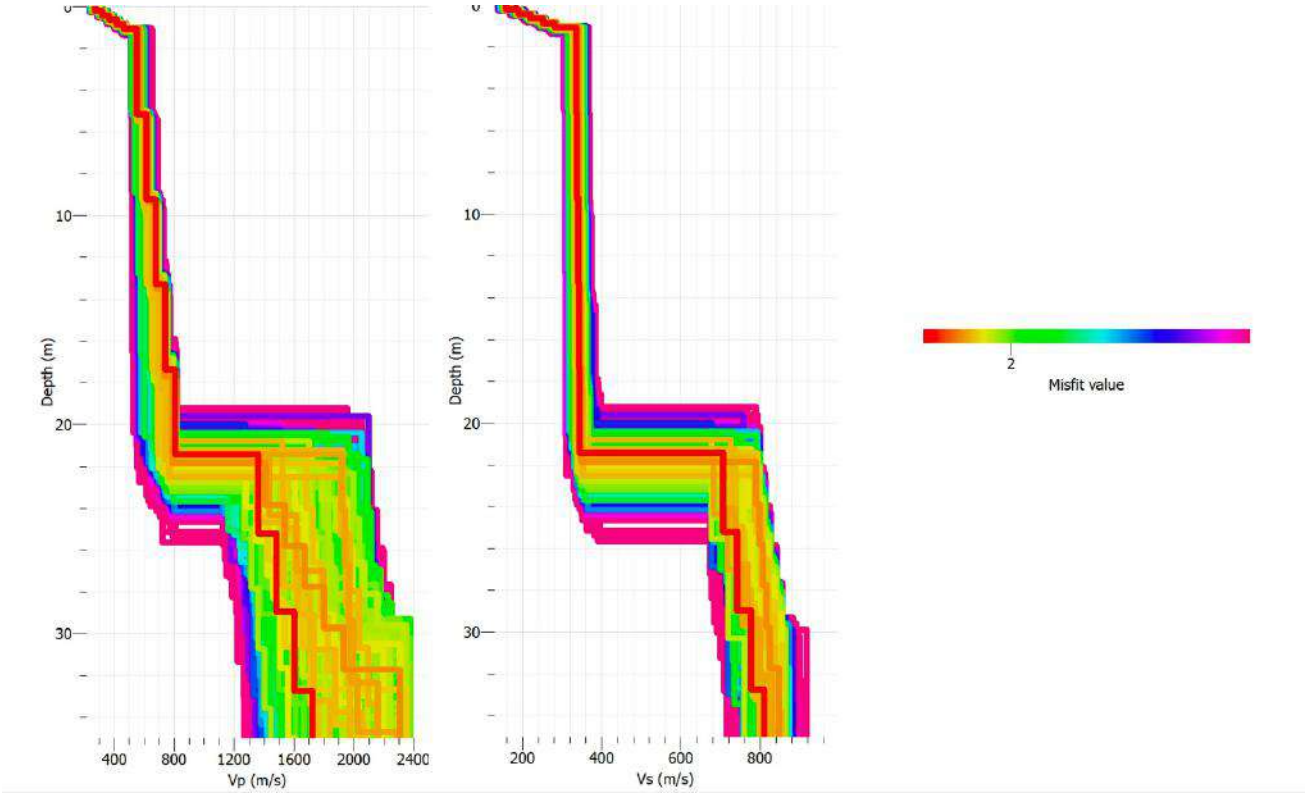


Figura 5 - Elaborazione con Dinver della prova con il theremino Th_2 (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)

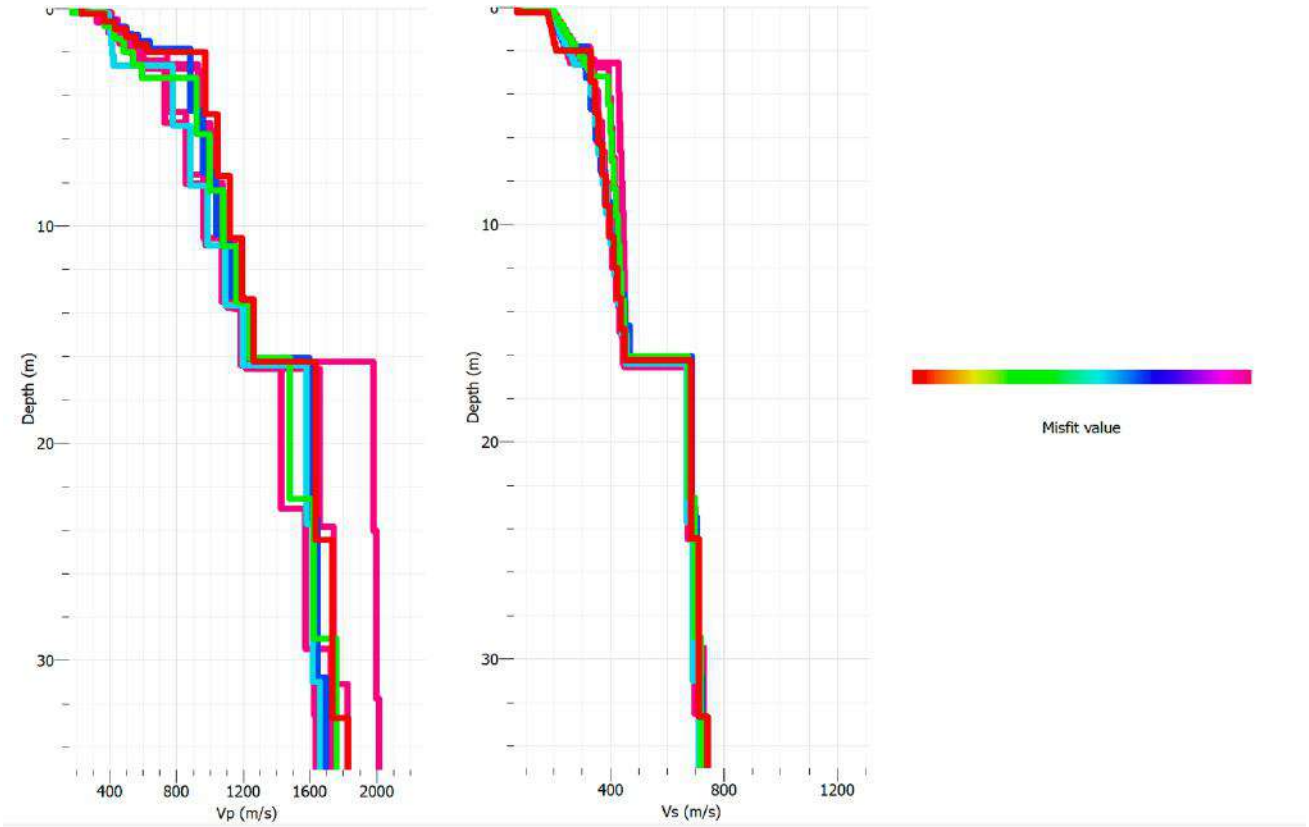


Figura 6 - Elaborazione con Dinver della prova con il theremino Th_3 (il colore rosso indica i valori più probabili e con errore più basso)

Come si può notare il valore di Vs30 (NTC 2008) per Th_1 ottenuto con l'acquisizione sopra riportata, tenuto conto della "taratura" eseguita, è pari a 486 m/s. Il valore delle Vsequivalenti (NTC 2018) è pari a 364 m/s.

Il valore di Vs30 (NTC 2008) per Th_2 ottenuto con l'acquisizione sopra riportata, tenuto conto della "taratura" eseguita, è pari a 412 m/s. Il valore delle Vsequivalenti (NTC 2018) è pari a 412 m/s.

Il valore di Vs30 (NTC 2008) per Th_3 ottenuto con l'acquisizione sopra riportata, tenuto conto della "taratura" eseguita, è pari a 442 m/s. Il valore delle Vsequivalenti (NTC 2018) è pari a 442 m/s.

8. Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

Nel mese di ottobre 2019 è stato eseguito un sondaggio geognostico a carotaggio continuo dalla Ditta Injectosond Italia s.rl. di Arenzano (GE), incaricata dalla committenza (vedere in allegato il report dettagliato contenente l'ubicazione, le stratigrafie e la documentazione fotografica, redatto a cura della stessa ditta).

Tale sondaggio ha permesso di individuare la seguente stratigrafia:

- **da 0,00 a -2,50 m dal p.c.** – Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico costituito da ghiaia ciottolosa e sabbioso-limosa; molto addensata (SPT valore di N pari a 65 a 1.50 m di profondità);
- **da -2,50 a -9,00 m dal p.c.** – Blocchi litoidi alternati a livelli prevalentemente sabbioso-limosi debolmente ghiaiosi; da molto addensato ad addensato (SPT valori di N pari a 51 e 38 rispettivamente a 6.40 m e 7.50 m di profondità); colore grigio-marrone;

- **da -9,00 a -12,00 m dal p.c.** – Limo sabbioso; da poco addensato ad addensato (SPT valori di N pari a 6 e 40 rispettivamente a 9.00 m e 11.00 m di profondità); colore grigio scuro;
- **da -12,00 a -15,00 m dal p.c. -** Ghiaia prevalentemente media sabbioso-limosa; molto addensata (SPT valore di N pari a 61 a 13.50 m di profondità); colore marrone nocciola;
- **da -15,00 a -25,00 m dal p.c. -** blocchi litoidi alternati a livelli prevalentemente sabbioso-limosi e debolmente ghiaiosi; colore grigio-marrone e ghiaia eterometrica sabbioso-limosa, localmente presenza di blocchi lapidei di colore marrone.



Foto 5 – Esecuzione sondaggio a carotaggio continuo (Coordinate WGS84: Lat 43,819209; Lon 7,837263)

9. Prove penetrometriche SPT (Standard Penetration Test)

Durante l'esecuzione del sondaggio geognostico a carotaggio continuo sono state eseguite delle prove penetrometriche in foro di tipo SPT (Standard Penetration Test) i cui colpi sono indicati nel precedente paragrafo.

I risultati delle prove sono stati elaborati con il programma Dynamic Probing di Geostru e sono riportati in allegato (dove sono anche indicate le caratteristiche tecniche dell'attrezzatura impiegata per l'esecuzione delle stesse) ed hanno consentito di ottenere le informazioni necessarie per la definizione dei parametri geotecnici medi riportati nei paragrafi successivi.

10. Analisi granulometrica su campione prelevato

Alla profondità di -10,50 m dal p.c. è stato prelevato un campione di depositi alluvionali che è stato sottoposto ad una analisi granulometrica (riportata in allegato) che ha permesso di identificare il sedimento come "sabbia".

Essendo la curva granulometrica del campione in esame (indicata in blu) compresa tra i limiti della normativa (NTC 2018) indicati con le linee di colore verde, si è proceduto all'esecuzione di una valutazione del rischio di liquefazione dei terreni di fondazione, come di seguito riportato.



Foto 5 – Prelievo di campione di sedimenti dalla profondità di -10,50 m alla profondità di -11,00 m dal piano di campagna.

11. Sismica a rifrazione a mare

Il giorno 18 ottobre 2019 è stata eseguita da parte della ditta EptaConsult, incaricata dal committente, una prospezione geofisica a rifrazione.

Essa ha una lunghezza di 110 m, con passo tra i 12 idrofoni (di frequenza propria pari a 4,5 Hz) di 10 metri.

Per una descrizione dettagliata della prova si rimanda agli elaborati a firma del Dott. Geol. Marco Zanicchi.

Tale indagine ha permesso di confermare già quanto desunto a seguito dell'esecuzione delle altre indagini geofisiche a terra e dell'esecuzione del sondaggio geognostico e quindi di estendere la ricostruzione stratigrafica dei terreni di fondazione anche nella zona a mare.



Foto 6 – Esecuzione della sismica a mare (Coordinate WGS84: Posizione primo idrofono lato Nord Lat. 43,819863°, Lon. 7,837047° - Posizione ultimo idrofono lato Sud Lat. 43,818036°, Lon. 7,837521)

12. Verifica al rischio di "liquefazione" dei terreni di fondazione

E' stata eseguita una verifica del rischio di liquefazione dei terreni di fondazione delle opere in progetto ai sensi delle NTC 2018, utilizzando il programma Liquiter di Geostru (riportata in allegato).

In particolare 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…*".

Nella verifica eseguita con il software sono stati considerati i seguenti dati di input:

- 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 determinate con le acquisizioni Masw;
- Profondità della falda rispetto al piano di campagna pari ad 1 m rispetto al piano di campagna su cui sono state eseguite le acquisizioni Masw.

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

In base alle risultanze della verifica eseguita si può ritenere un Rischio di Liquefazione Molto basso.

13. Pericolosità sismica

Lo scrivente, con il supporto delle indagini sismiche eseguite (e sopra descritte), utilizzando il software gratuito On-Line Geostru PS, fornisce le seguenti indicazioni:

"Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 43,820178

longitudine: 7,838203

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 19343 Lat: 43,7976 Lon: 7,8074 Distanza: 3523,529

Sito 2 ID: 19344 Lat: 43,8009 Lon: 7,8765 Distanza: 3742,398

Sito 3 ID: 19122 Lat: 43,8508 Lon: 7,8719 Distanza: 4350,251

Sito 4 ID: 19121 Lat: 43,8475 Lon: 7,8028 Distanza: 4158,463

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	*81*	*%*
Tr:	*30*	*[anni]*
ag:	*0,026 g*	
Fo:	*2,561*	
Tc:*	*0,190*	*[s]*

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	*63*	*%*
Tr:	*50*	*[anni]*
ag:	*0,038 g*	
Fo:	*2,629*	
Tc:*	*0,207*	*[s]*

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	*10*	*%*
Tr:	*475*	*[anni]*
ag:	*0,146 g*	
Fo:	*2,436*	
Tc:*	*0,290*	*[s]*

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	*5*	*%*
Tr:	*975*	*[anni]*
ag:	*0,197 g*	
Fo:	*2,474*	
Tc:*	*0,305*	*[s]*

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,600

Cc: 2,240

St: 1,000

Kh: 0,008

Kv: 0,004

Amax: 0,412

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,600

Cc: 2,160

St: 1,000

Kh: 0,012

Kv: 0,006

Amax: 0,604

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,600

Cc: 1,890

St: 1,000

Kh: 0,056

Kv: 0,028

Amax: 2,295

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,460

Cc: 1,850

St: 1,000

Kh: 0,069

Kv: 0,035

Amax: 2,821

Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.819191

longitudine: 7.837144"

Per quanto riguarda la Categoria di Suolo di fondazione, ai sensi delle NTC 2018, essa può essere considerata quella di Tipo E *"Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.",* con coefficiente di amplificazione topografica T1, rispetto all'attuale piano di campagna costituito dal piazzale/banchina.

14. Cenni sulle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione

In base all'osservazione dello stato di conservazione della roccia in corrispondenza degli affioramenti nelle zone circostanti, alle acquisizioni con il tromografo digitale, alla stesa sismica a rifrazione, all'acquisizione Masw, alle indagini sismiche a mare e al sondaggio geognostico eseguiti a corredo della presente, i parametri geotecnici medi indicativi dei terreni presenti nell'area in cui saranno realizzate le opere in progetto possono essere così schematizzati, ai fini della ricostruzione del **modello geologico (NTC 2018)**(per quanto riguarda l'angolo di attrito dei vari strati si fa riferimento, per le prove SPT, alle correlazioni di Sowers (1961) e di Meyerof (1965)):

- **Strato 1 (da 0,00 a -2,50 m dal p.c.)** – Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico costituito da ghiaia ciottolosa e sabbioso-limosa; molto addensata (valore di N pari a 65 a 1.50 m di profondità); colore grigio-bruno. Per tale livello, le caratteristiche geotecniche, possono essere così cautelativamente valutate: **γ_n (peso di volume secco o peso di volume della parte solida) = 18-20 kN/m^3, γ_s (peso di volume totale o peso di volume saturo) = 18-21 kN/m^3; ϕ =30°-32°; c =0;**
- **Strato 2 (da -2,50 a -9,00 m dal p.c.)** – Blocchi litoidi alternati a livelli prevalentemente sabbioso-limosi debolmente ghiaiosi; da molto addensato ad addensato (valori di N pari a 51 e 38 rispettivamente a 6.40 m e 7.50 m di profondità); colore grigio-marrone. Per tale livello, le caratteristiche geotecniche, possono essere così cautelativamente valutate: **γ_n (peso di volume secco o peso di volume della parte solida) = 17-19 kN/m^3, γ_s (peso di volume totale o peso di volume saturo) = 18-20 kN/m^3; ϕ =33°-35°; c =0;**
- **Strato 3 (da -9,00 a -12,00 m dal p.c.)** – Limo sabbioso; da poco addensato ad addensato (valori di N pari a 6 e 40 rispettivamente a 9.00 m e 11.00 m di profondità); colore grigio scuro. Per tale livello, le caratteristiche geotecniche, possono essere così cautelativamente valutate: **γ_n (peso di volume secco o peso di volume della parte solida) = 16-18 kN/m^3, γ_s (peso di volume totale o peso di volume saturo) = 18-20 kN/m^3; ϕ =30°-32°; c =0;**
- **Strato 4 (da -12,00 a -28,00 m dal p.c. circa)** – Ghiaia prevalentemente media sabbioso-limosa; molto addensata (valore di N pari a 61 a 13.50 m di profondità); colore marrone nocciola; blocchi litoidi alternati a livelli prevalentemente sabbioso-limosi e debolmente ghiaiosi; colore grigio-marrone e ghiaia

eterometrica sabbioso-limosa, localmente presenza di blocchi lapidei di colore marrone. Per tale livello, le caratteristiche geotecniche, possono essere così cautelativamente valutate: **γ_n (peso di volume secco o peso di volume della parte solida) = 17-19 kN/m^3, γ_s (peso di volume totale o peso di volume saturo) = 19-21 kN/m^3; ϕ =34°-36°; c =0;**

- **Strato 5 (da -28,00 m dal p.c. in poi circa) –** Flysch di Sanremo - substrato roccioso da poco a mediamente alterato e fratturato (livello caratterizzato da una velocità delle onde sismiche traversali superiori a 1,00 km/s, come desunto a seguito dell'esecuzione delle acquisizioni con il tromografo digitale e dell'acquisizione Masw). Le caratteristiche geotecniche di tale strato possono essere così cautelativamente valutate**: γ (peso di volume, semplificando, il peso di volume della parte solida coincide approssimativamente con il peso di volume totale, considerando anche quanto riportato nella Tabella 3.2 – Geoingegneria di Luis I. Gonzalez de Vallejo – Pearson 2005) = 23-25 kN/m^3; ϕ =30°-32°; c =25-30 kN/m^2.**

Si mette in evidenza che i valori dei parametri geotecnici sopra indicati sono valori medi e assolutamente indicativi, dovranno essere impiegati dal tecnico progettista delle opere strutturali secondo norma di legge e dovranno essere scelti, sempre dal tecnico progettista e negli intervalli indicati, quei valori che garantiscono la massima sicurezza per tutte le opere in progetto.

Per quanto riguarda il tipo di suolo di fondazione ai sensi delle NTC 2018, esso appartiene alla categoria E *"Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m"* (rispetto al piano di campagna attuale costituito dalla banchina/piazzale esistente). Il coefficiente topografico St è T1.

Infine si sottolinea che le profondità degli strati precedentemente indicate sono riferite al sondaggio geognostico eseguito, nelle altre aree di intervento occorre fare riferimento alle stratigrafie riportate nelle sezioni geologiche.

Una stima indicativa della Capacità portante ultima dei terreni di fondazione (q_{ult} in kN/m^2 o kPa) in funzione della velocità delle onde di taglio definite per lo Strato 4 (considerando un valore medio delle Vs di 446 m/s tra quello riscontrato alla profondità di 9 m dal p.c. pari a 382 m/s e quello riscontrato alla profondità di 17 m dal p.c., pari a 510 m/s) è indicata in *"Stima dei parametri geotecnici in geofisica applicata – Correlazione tra i parametri sismici e geotecnici per la pratica professionale"* di Francesco Roccaforte – Caterina Cucinotta – Dario Flaccovio Editore 2015, può essere ricavata dalla relazione di Keceki (2012):

$$q_{ult} = 0,1 \cdot \gamma \cdot Vs$$

e sostituendo al posto del peso du volume la relazione riportata dallo stesso autore ($\gamma = 4,3 \cdot Vs^{0,25}$), si ottiene:

$$q_{ult} = 0,43 \cdot Vs^{1,25} = 0,43 \cdot 446^{1,25} = 874 \text{ kN/m}^2 = 8,91 \text{ kg}_p/\text{cm}^2$$

Si mette in evidenza che il valore ottenuto è indicativo dal momento che non tiene conto della geometria delle opere fondazionali.

15. Terre e rocce da scavo

L'intervento in progetto, prevede dei volumi di scavo e di riporto come indicato nella documentazione tecnica del progettista.

Si ritiene, allo stato attuale, che l'area interessata dal progetto non ricade, per quanto possibile desumere da osservazioni visive ed olfattive, all'interno di siti di produzione con potenziale inquinamento del suolo superficiale, di siti di produzione interessati da attività potenzialmente contaminanti o affioramenti delle Pietre verdi.

Per quanto riguarda le "terre e rocce da scavo" occorre fare riferimento alla pagina internet: http://www.arpal.gov.it/2-contenuti-generali-non-categorizzati/2213-terre-e-rocce-da-scavo.html, aggiornata in data 22 Maggio 2019.

Per cui è onere del committente e/o del progettista (o altro tecnico incaricato) provvedere alla predisposizione della documentazione ed all'espletamento di quanto richiesto dalla normativa vigente in materia.

16. Conclusioni e modalità esecutive

Il Sottoscritto Dott. Geol. Marco Martolini, con studio professionale a Sanremo (IM), in C.so Garibaldi, 138, è stato incaricato da Cantieri del Mediterraneo srl con sede in C.so Mazzini – Foce Arema a Sanremo per descrivere, le principali caratteristiche geologiche e sismiche dell'area interessata dall'"Intervento di manutenzione straordinaria di protezione costiera e ricostruzione molo di alaggio dei Cantieri del Mediterraneo in Località Capo Verde a Sanremo".

A corredo della presente relazione sono state eseguite una prospezione sismica a rifrazione, delle acquisizioni Masw e un sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prove SPT e prelievo di campione sottoposto ad analisi granulometrica (zona a terra) e una stesa sismica a rifrazione nella zona a valle delle opere in progetto (zona a mare).

Nelle zone circostanti alle opere in progetto non sono stati rilevati, sempre al momento del sopralluogo eseguito il mese di Ottobre 2019, fenomeni erosivi e/o di instabilità in atto. Ai sensi dell'Art. 16 Ter del Cap. 6 del Vigente Piano di Bacino, per una fascia di rispetto di 100 m attorno alla zona oggetto di studio non vi sono pericoli di possibili interferenze per eventuali fenomeni di arretramento o di espansione di corpi o cigli di frana (ciglio, piede, fianchi).

Secondo le attuali previsioni progettuali le fondazioni di alcune opere di sostegno sono appoggiate in corrispondenza di pali di fondazione di diametro medio-grande, a tale proposito risulterà opportuno, con tali pali, raggiungere una profondità superiore a 12 metri rispetto all'attuale piano di campagna rappresentato dalla quota del piazzale/banchina (come definito negli elaborati progettuali). In pratica tali pali di fondazione dovranno raggiungere (e attraversare per almeno 3 metri) lo Strato 4 ("Ghiaia prevalentemente media-sabbiosa-

limosa) rilevato a seguito dell'esecuzione del sondaggio a carotaggio e che, a seguito dell'approntamento delle prove penetrometriche SPT è risultato maggiormente addensato (e quindi dotato di migliori caratteristiche geotecniche) rispetto allo Strato 3 ("Limo sabbioso" che, per quanto riguarda il campione prelevato, è risultato "sabbia").

Tale approfondimento è anche necessario a causa degli elevati carichi concentrati previsti per le lavorazioni del cantiere navale ed in particolare nelle zone circostanti alla "vasca di alaggio" in progetto e per ovviare anche a possibili fenomeni erosivi a causa del moto ondoso.

Dove è prevista la formazione della scogliera, occorrerà eseguire una adeguata rullatura del piano di posa dei blocchi lapidei o in cemento, verificando, in fase esecutiva, l'assenza di livelli molli e compressibili e asportando eventuale materiale di prevalente natura limosa e/o argillosa.

I riporti dovranno essere realizzati a strati successivi utilizzando materiale ghiaioso e ciottoloso che dovrà essere adeguatamente rullato e costipato.

Tutto il materiale impiegato per la formazione delle scogliere e dei riporti dovrà essere a norma di legge.

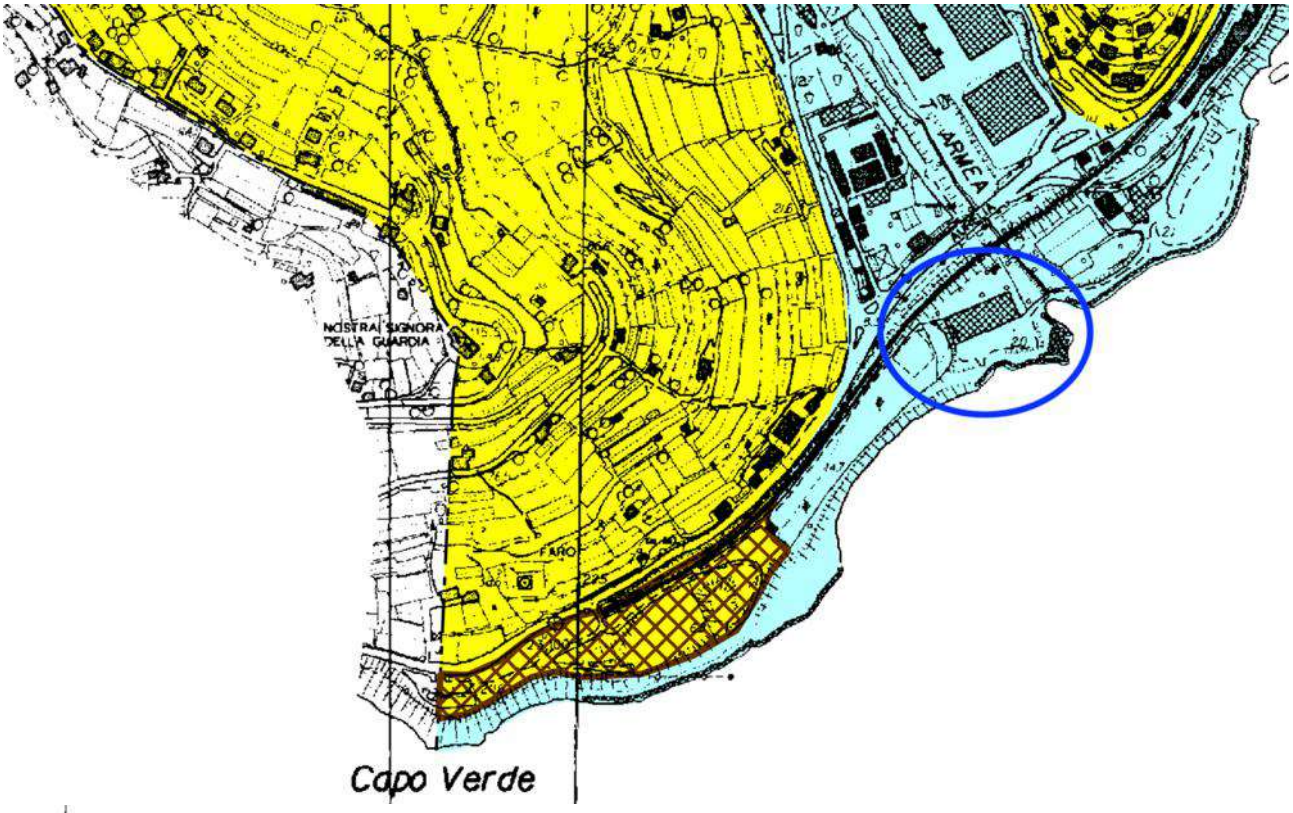
Le opere in progetto dovranno essere eseguite con tutti gli accorgimenti tecnici necessari al fine di assicurare la massima sicurezza nel cantiere ed evitare possibili danni alla proprietà del richiedente e/o alla proprietà circostante. A tale proposito, per eseguire gli scavi e le demolizioni dovranno essere utilizzati dei macchinari che causino minori vibrazioni possibili. Nel caso in cui fossero previsti degli sterri per l'esecuzione delle opere in progetto, gli scavi stessi dovranno essere "sbatacchiati" (ovvero dovranno essere puntellati), disponendo, in caso di pioggia dei teli impermeabili. Durante l'esecuzione dei lavori dovrà essere prevista l'assistenza geologica di tecnici abilitati.

Risulterà opportuno il mantenimento, a norma di legge, di una corretta regimazione delle acque meteoriche, di scolo e subsuperficiali al fine di evitare il possibile instaurarsi di fenomeni erosivi.

Si attesta pertanto, anche in osservanza delle norme del Vigente PUC, assumendosene la piena responsabilità e con l'intesa di sgravare completamente dalla stessa il Comune di Sanremo, la fattibilità degli interventi previsti in progetto sotto il profilo geologico, idrogeologico e sismico. Si conferma la fattibilità geologica delle opere in progetto anche ai sensi del Vigente Piano di Bacino.

Sanremo 31 ottobre 2019 **Dott. Geol. Marco Martolini**

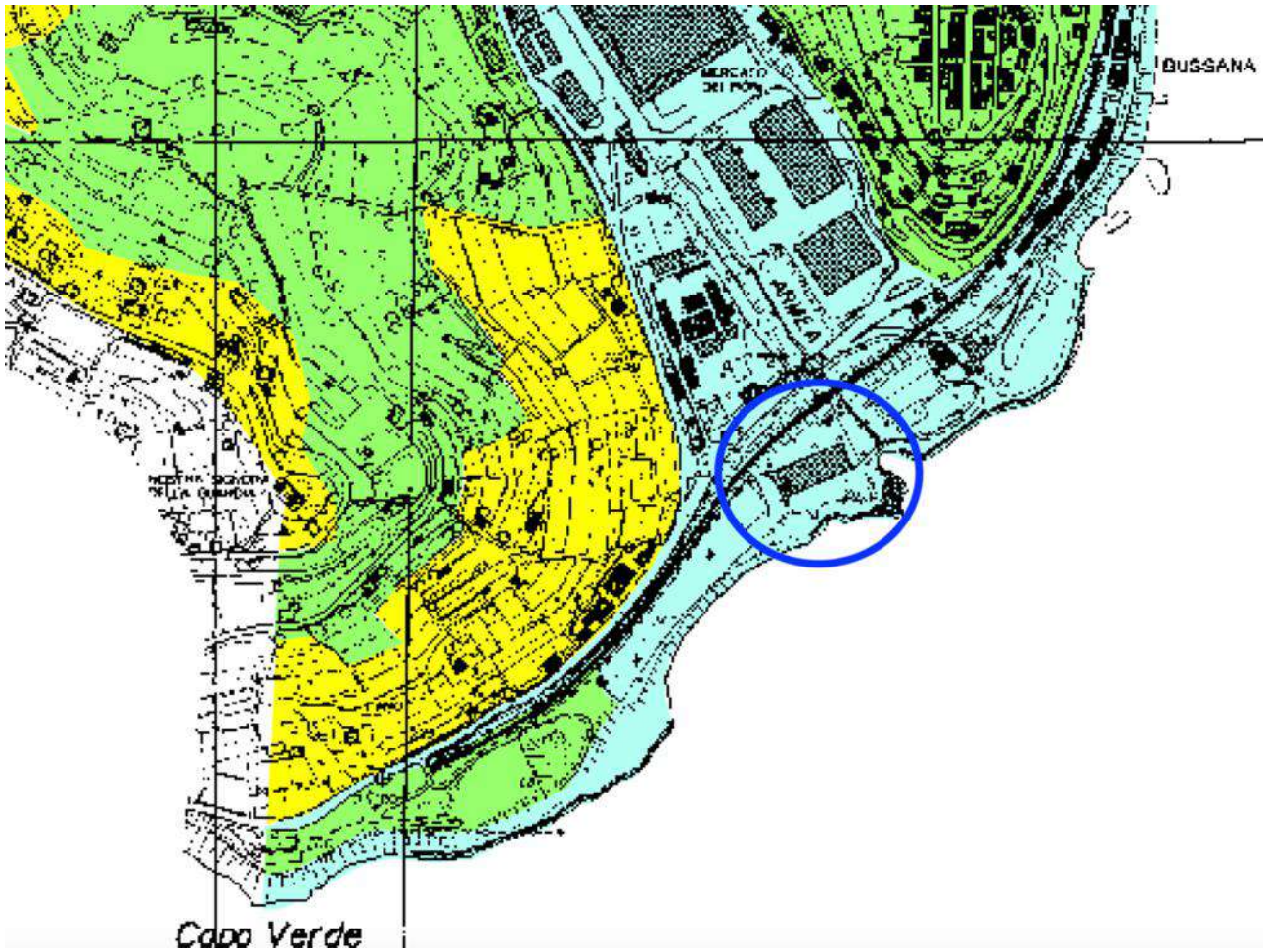
STRALCIO CARTA DELLA PERICOLOSITA' O SUSCETTIVITA' AL DISSESTO DEL VIGENTE PIANO DI BACINO



LEGENDA

Pg0	Aree a pericolosita' e suscettivita' molto bassa
Pg1	Aree a pericolosita' e suscettivita' bassa
Pg2	Aree a pericolosita' e sucettivita' media
Pg3B / Pg3A	Aree a pericolosita' e suscettivita' alta
Pg4	Aree a pericolosita' e suscettivita' molto alta
A	Aree speciali di tipo A – corrispondenti alle aree di cave attive, miniere attive
A	Aree speciali di tipo A – corrispondenti alle aree di discariche in esercizio
B1	Aree speciali di tipo B1 – corrispondenti ad areali sedi cave attualmente cessate o in corso di sistemazione, i cui limiti sono derivati dagli elaborati del Piano Territoriale Regionale delle attivita' di cava o, qualora non oggetto di tale piano, desunti da rilievi di terreno
B2	Aree speciali di tipo B2 – corrispondenti alle aree di discariche dismesse e di riporti antropici
_ . _ . _	LIMITI DELL'AMBITO DI BACINO

STRALCIO CARTA DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO DEL VIGENTE PIANO DI BACINO



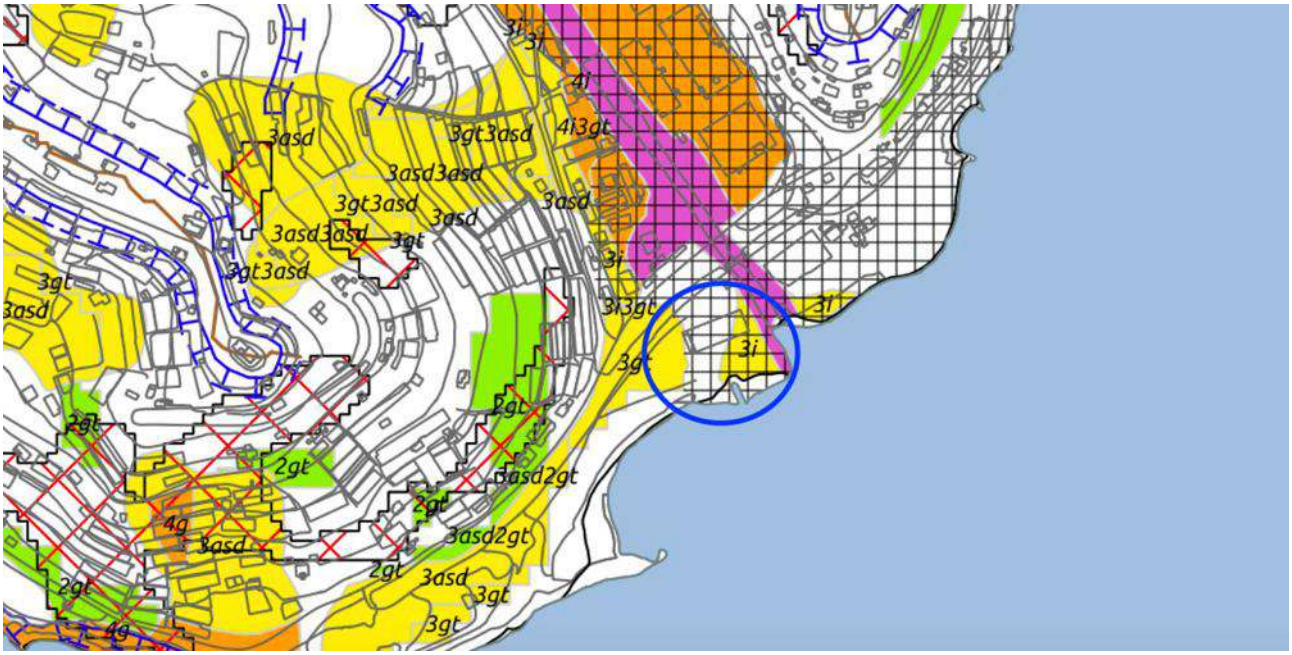
LEGENDA

Rg0	Aree a rischio lieve o trascurabile
Rg1	Aree a rischio moderato
Rg2	Aree a rischio medio
Rg3	Aree a rischio elevato
Rg4	Aree a rischio molto elevato
S	Classe speciale: cave,discariche e riporti
_ . _ . _	LIMITI DELL'AMBITO DI BACINO

STRALCIO CARTA DI ZONIZZAZIONE GEOLOGICA RISCHIO SISMICO DEL PRG DI SANREMO



STRALCIO CARTA DI SUSCETTIVITA' D'USO DEL TERRITORIO DEL VIGENTE PUC DI SANREMO



LEGENDA

Classi di suscettività

- Classe 5 - Suscettività d'uso limitata (5cm, 5g, 5i, 5ri)
- Classe 4 - Suscettività d'uso parzialmente limitata (4g, 4i)
- Classe 3 - Suscettività d'uso condizionata (3asd, 3c, 3gt, 3i, 3idr)
- Classe 2 - Suscettività d'uso moderatamente condizionata (2gt)
- Classe 1 - Suscettività d'uso non condizionata

Forme di superficie

- Orlo di terrazzo
- Crinali principali

Aree ad elevata acclività (MOPS)

- Acclività > 15°

Zone di attenzione per liquefazione

- ZAlq1 - Zona di attenzione per liquefazioni di tipo 1

Altro

- Mare

STRALCIO CARTA GEOLOGICA DAL VIGENTE PUC DI SANREMO



QUATERNARIO (PLEISTOCENE-OLOCENE)

- Aree in frana attiva
- **h – Deposito antropico**: accumuli di materiale eterogeneo ed eterometrico di origine antropica – Olocene
- **a1a – Depositi di frana recente**: accumuli gravitativi di materiale eterogeneo ed etero metrico con e senza segni di riattivazione – Olocene
- **a1b – Depositi di frana antica**: accumuli gravitativi di materiale eterogeneo ed etero metrico,antichi, talora coinvolgenti porzioni di substrato – Pleistocene/Olocene
- **b2 – Coltre eluvio colluviale:** coperture detritiche di spessore medio ed elevato, dovute ad alterazione in situ ed in seguito mobilizzate da processi di versante, costituite da clasti etero metrici di varia litologia, in matrice pelitica e sabbiosa/ghiaiosa – Olocene
- **b – Depositi alluvionali**: depositi ciottolosi, ghiaiosi e sabbiosi, mai monogranulari, accumulati lungo le principali aste torrentizie, attualmente in parte soggetti alla dinamica fluviale – Olocene
- **bn1-4 – Depositi alluvionali terrazzati:** depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi. I terrazzi sono numerati in ordine crescente a partire dal più recente (bn1). I depositi terrazzati più vecchi (bn1-bn4) presentano una marcata ferretizzazione e un accenno di cementazione – Pleistocene medio superiore/Olocene?
- **g2 – Depositi di spiaggia:** Depositi ghiaiosi e sabbioso-ghiaiosi di spiaggia emersa – Olocene
- **gn1-2 – Depositi fluvio-marini terrazzat:** Depositi sabbioso-ghiaiosi, talora ciottolosi di ambiente di transizione marino-continentale e sospesi. Due le superfici terrazzate: la più bassa e recente (gn1), la più alta e antica (gn2) - Pleistocene

DEPOSITI PLIOCENICI (PLIOCENE)

- **CMVa – Conglomerati di M. Villla:** Conglomerati immaturi disorganizzati clastosostenuti o
- **FSM3 – Flysch di Sanremo:** Strati arenaceo-argillitici e calcilutitici nei quali si intercalano, ad intervalli regolari, "megaritmi" costituiti da megatorbiditi marnoso-arenacee (membro di "San Michele") – Maastrichtiano superiore
- **FSM4 – Flysch di Sanremo:** Strati arenaceo-argillitici, con intercalazioni di calcilutiti e rari strati marnoso-arenacei (membro di "San Lorenzo") – Maastrichtiano superiore

ARENARIE DI BORDIGHERA

- **ABG – Arenarie di Bordighera:** arenarie torbiditiche spesso grossolane, sino a conglomerati che, in strati spessi, localmente amalgamati. Sono inoltre presenti, nelle facies di lobo, anche livelletti di argille siltose e straterelli calcarenitici e marnosi, oltre ad arenarie calcareee e calcareniti fini e rare calcilutiti con al tetto argilliti scure – Campaniano superiore/Maastrichtiano medio e superiore

FORMAZIONE DI SAN BARTOLOMEO

- **SBAb – Formazione di San Bartolomeo:** Peliti manganesifere: alternanze ritmiche di argilliti grigio/verdastre e subordinate siltiti in strati sottili, con diffuse spalmature di ossidi metallici, sostituite da areniti fini e finissime – Hauteriviano superiore/Campaniano Superiore
- **SBAd – Formazione di San Bartolomeo:** Quarzoareniti: strati arenaceo/quarzosi a grana media e fine gradati con al tetto argilliti verdi e rosse; nella parte superiore della serie si possono avere intercalazioni di straterelli di calcisiltiti nocciola chiaro – Hauteriviano superiore/Campaniano Superiore
- **SBAe – Formazione di San Bartolomeo:** Sottili strati calcarei: successione di sottili strati calcarei alternati con livelli marnoso-argillosi, nella parte alta della serie prevalgono strati di calcisiltiti di color nocciola chiaro con più o meno significativi livelli pelitici grigi, nei quali compaiono sempre più

STRALCIO CARTA GEOMORFOLOGICA DAL VIGENTE PUC DI SANREMO



LEGENDA

Litologie

- Rb
- Rd
- Rf
- Coltre eluvio colluviale
- Depositi alluvionali
- Depositi alluvionali terrazzati
- Depositi di spiaggia
- Depositi fluvio-marini terrazzati
- Deposito antropico

Movimenti franosi

- Aree in frana attiva
- Aree in frana quiescente
- Aree in paleofrane o frane stabilizzate

Elementi grafici morfologici puntuali e lineari

- Orlo di terrazzo

Cave

- attiva
- inattiva
- Area calanchiva
- Erosione concentrata di fond
- Erosione spondale
- Tratti di costa in erosione
- Crinali principali

Altro

- Mare

Descrizione litologie

Substrato roccioso

- **Rb** – *Roccia affiorante e subaffiorante con coperture detritiche discontinue fino ad 3 m di spessore:* in buone condizioni di conservazione;
- **Rd** – *Roccia affiorante e subaffiorante con coperture detritiche discontinue fino ad 3 m di spessore:* in discrete condizioni di conservazione;
- **Rf** – *Roccia affiorante e subaffiorante con coperture detritiche discontinue fino ad 3 m di spessore:* in scadenti condizioni di conservazione, alterata e/o particolarmente fratturata rispetto al pendio.

Coltri, coperture detritiche e depositi eluvio-colluviali

- **Coltre eluvio colluviale**: coperture detritiche di spessore medio ed elevato, dovute ad alterazione in situ ed in seguito mobilizzate da processi di versante, costituite da clasti etero metrici di varia litologia, in matrice pelitica e sabbiosa/ghiaiosa;

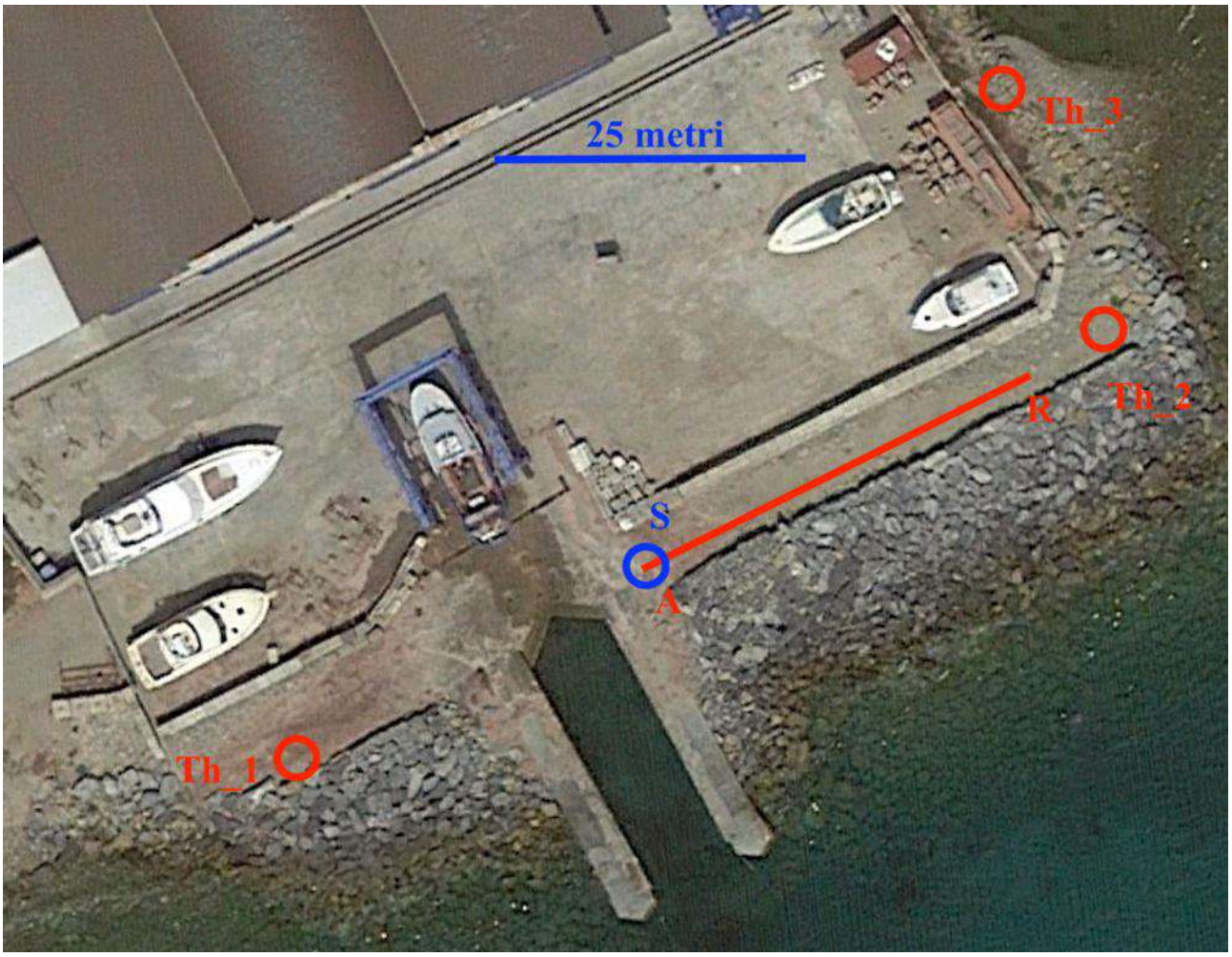
Depositi alluvionali, di spiaggia e antropici

- **Depositi alluvionali**: depositi ciottolosi, ghiaiosi e sabbiosi, mai monogranulari, accumulati lungo le principali aste torrentizie, attualmente in parte soggetti alla dinamica fluviale;
- **Depositi alluvionali terrazzati**: depositi ghiaiosi, sabbiosi e limosi.
- **Depositi di spiaggia**: Depositi ghiaiosi e sabbioso-ghiaiosi di spiaggia emersa;
- **Depositi fluvio-marini terrazzati**: Depositi sabbioso-ghiaiosi, talora ciottolosi di ambiente di transizione marino-continentale e sospesi. Due le superfici terrazzate: la più bassa e recente (g_{m1}), la più alta e antica (g_{m2});
- **Deposito antropico**: accumuli di materiale eterogeneo ed eterometrico di origine antropica (riporti e/o riempimenti e/o discariche).

STRALCIO CARG (CARTA GEOLOGICA REGIONALE)

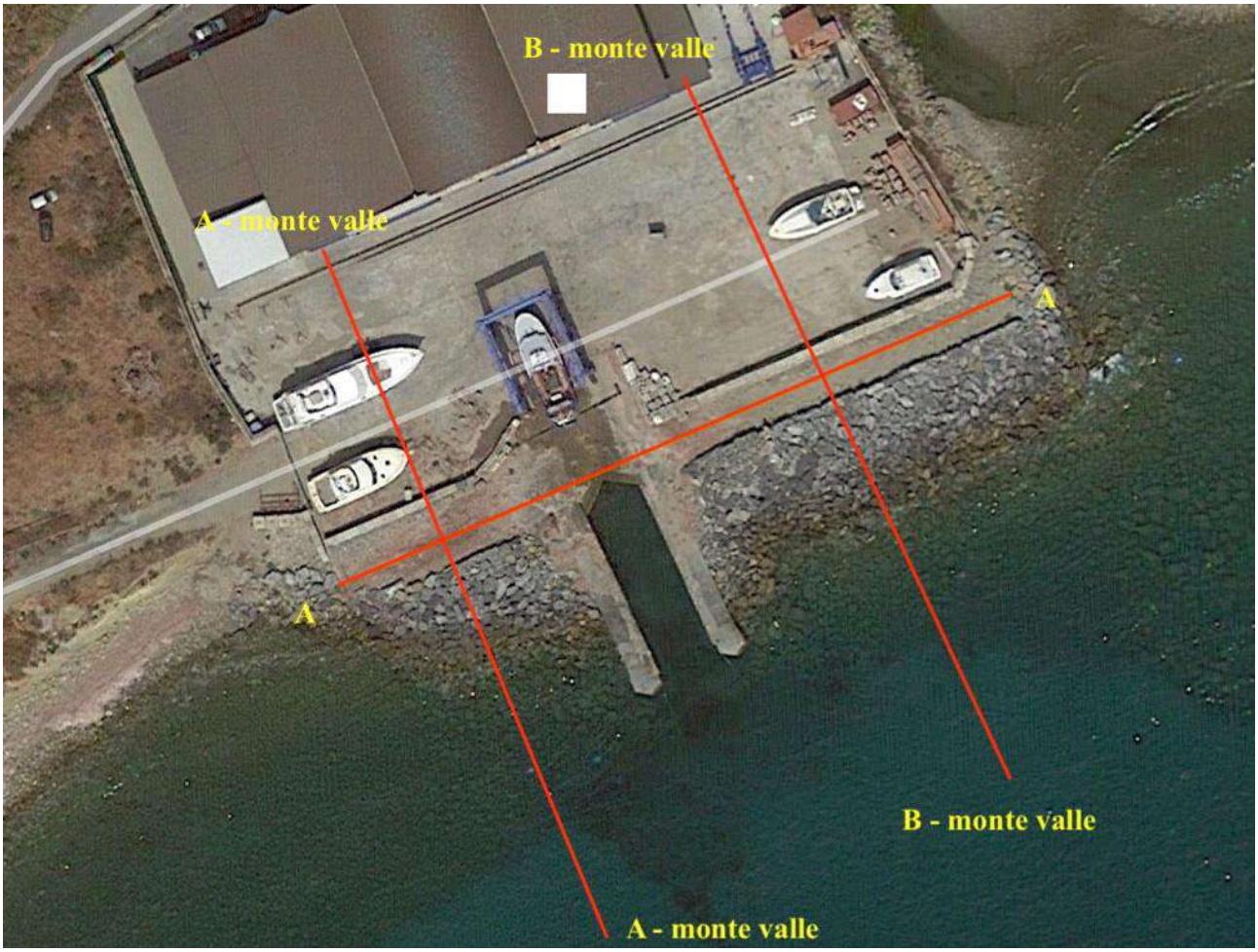


UBICAZIONE PROVE GEOGNOSTICHE ESEGUITE (per le sismiche a mare occorre fare riferimento agli elaborati di Eptaconsult)

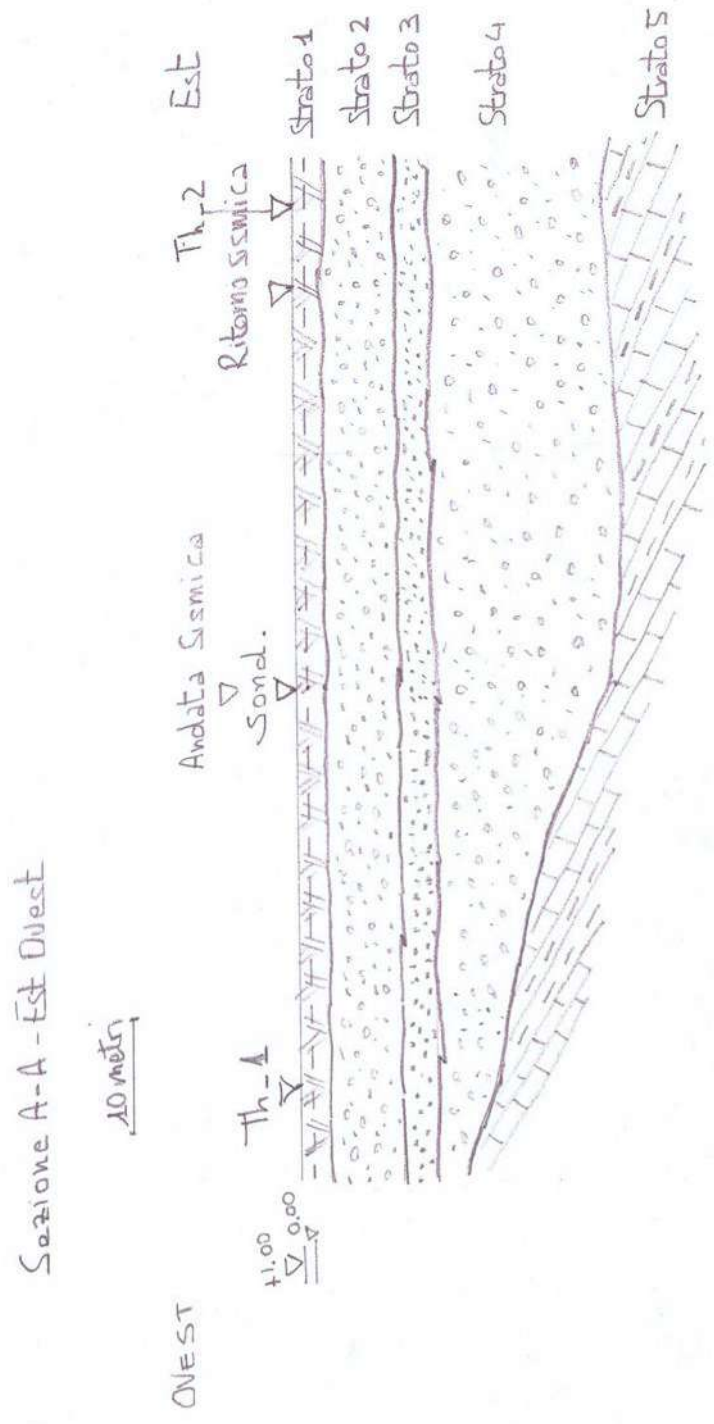


Th_1 = Acquisizione HVSR
A-R = Stesa sismica a rifrazione e acquisizioni Masw
S = sondaggio geognostico a carotaggio continuo

TRACCE SEZIONI GEOLOGICHE

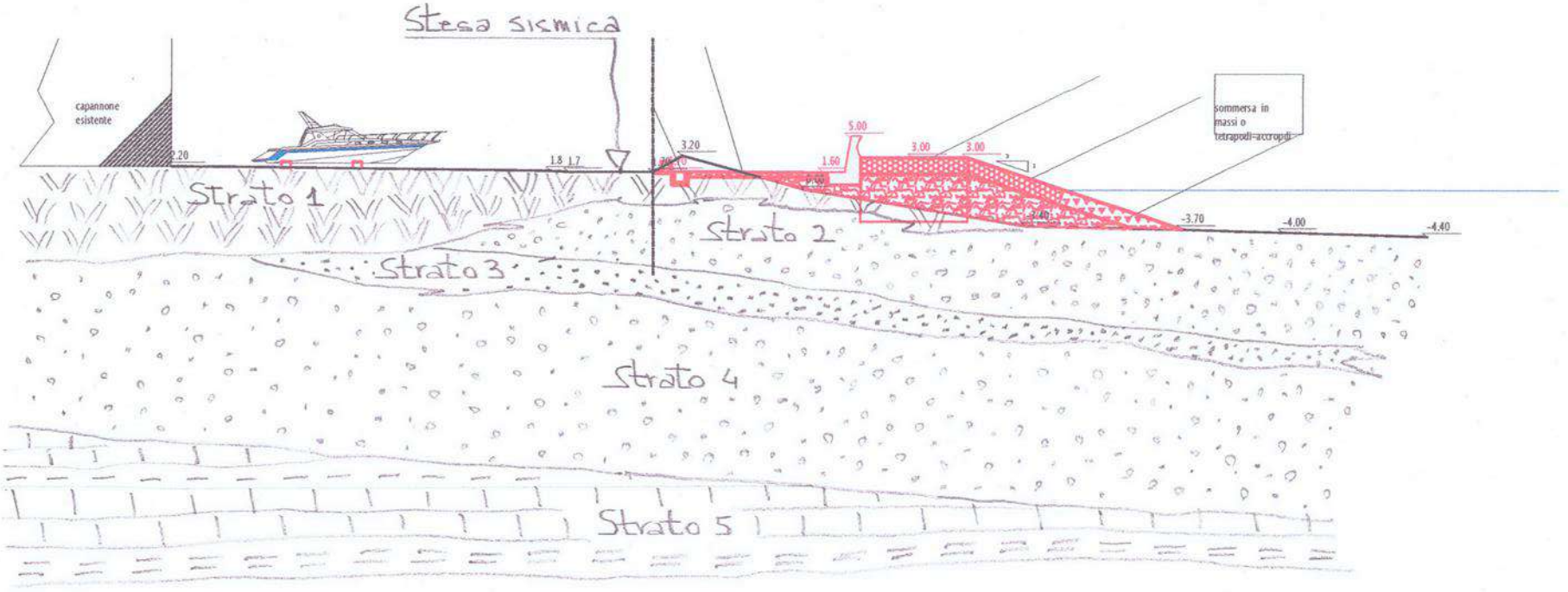


SEZIONI GEOLOGICHE

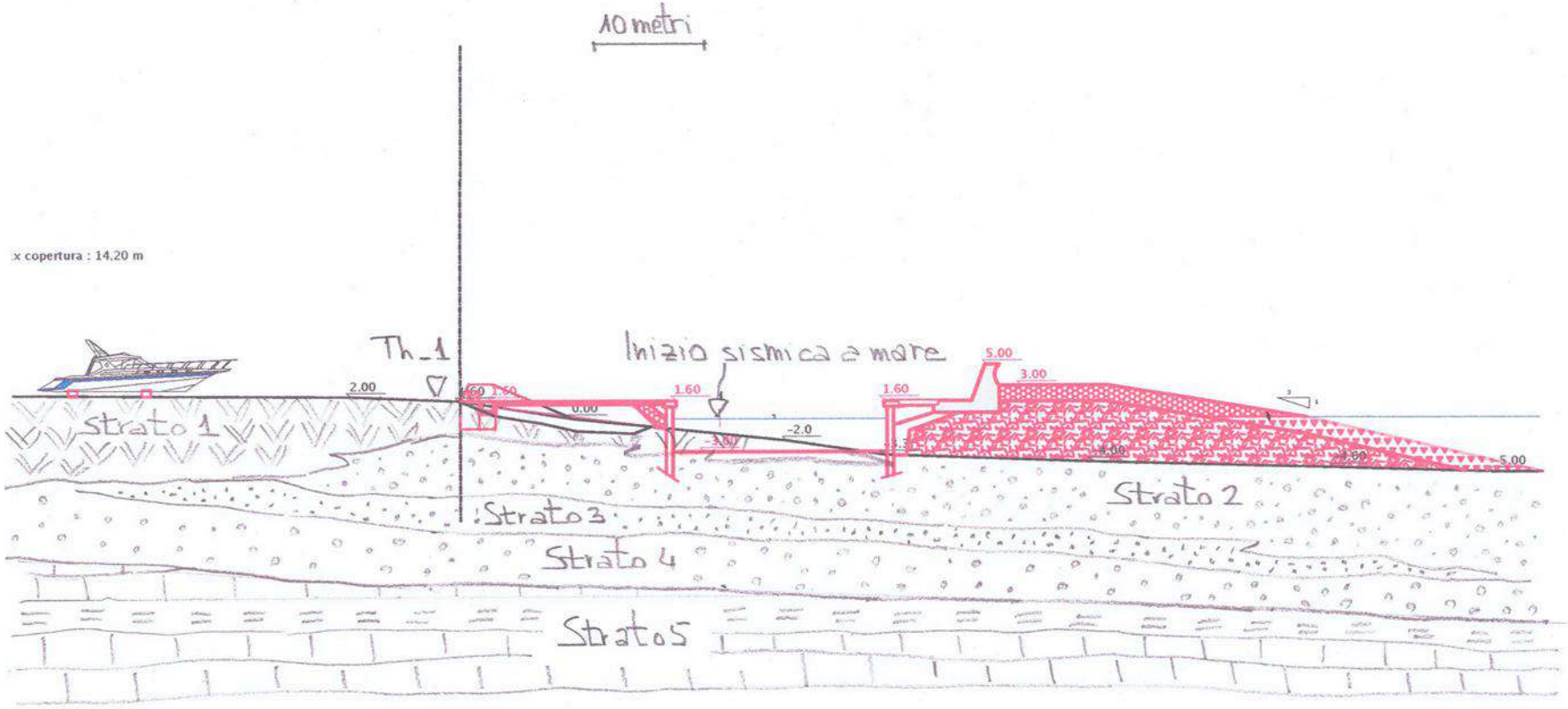


Sezione B-B - monte valle

10 metri



Sezione A-A - monte valle



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Descrizione: Località:	

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: PROVE SPT IN FORO

Rif. Norme	DIN 4094	
Peso Massa battente	63,5	Kg
Altezza di caduta libera	0,76	m
Peso sistema di battuta	4,2	Kg
Diametro punta conica	50,46	mm
Area di base punta	20	cm²
Lunghezza delle aste	1	m
Peso aste a metro	7	Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80	m
Avanzamento punta	0,30	m
Numero colpi per punta	N(30)	
Coeff. Correlazione	1	
Rivestimento/fanghi	No	

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:

Dove:

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:

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	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:

(Liao e Whitman 1986)

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:

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:

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 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** (EY)*

- 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... PROVE SPT IN FORO
Prova eseguita in data 03/10/19
Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
1,65	13
1,80	37
1,95	28

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	65	1,95	72,81	100	100	72,37

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] -	65	1,95	40	38,43	31,43	39,2	34,95	41,47	42	35-38	39,49	39	50,59	43,28

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	65	1,95	40	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] -	65	1,95	40	Terzaghi-Peck 1948	1,78

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] -	65	1,95	40	Terzaghi-Peck 1948	2,11

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato... PROVE SPT IN FORO
Prova eseguita in data 03/10/19
Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
3,15	22

3,30	35
3,45	50

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	85	3,45	75,71	100	100	80,36

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] -	85	3,45	50	41,29	34,29	42	34,01	42,47	42	35-38	42,39	42	52,04	46,62

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	85	3,45	50	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] -	85	3,45	50	Terzaghi-Peck 1948	1,85

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] -	85	3,45	50	Terzaghi-Peck 1948	2,15

PROVA ... Nr.3

Strumento utilizzato... PROVE SPT IN FORO
Prova eseguita in data 03/10/19
Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
4,65	9
4,80	50
4,95	50

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	100	4,95	89,33	100	100	100

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] -	100	4,95	100	55,57	48,57	56	33,5	35,47	42	>38	53,73	57	56,85	59,72

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	100	4,95	100	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] -	100	4,95	100	Terzaghi-Peck 1948	1,95

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] -	100	4,95	100	Terzaghi-Peck 1948	2,21

PROVA ... Nr.4

Strumento utilizzato... PROVE SPT IN FORO
Prova eseguita in data 03/10/19
Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
6,55	7
6,70	24
6,85	27

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	51	6,85	54,61	100	98,52	66,41

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] -	51	6,85	33	36,43	29,43	37,24	31,32	40,29	42	32-35	37,25	36,9	46,71	40,69

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI

[1] -	51	6,85	33	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] -	51	6,85	33	Terzaghi-Peck 1948	1,73

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] -	51	6,85	33	Terzaghi-Peck 1948	2,07

PROVA ... Nr.5

Strumento utilizzato... PROVE SPT IN FORO
Prova eseguita in data 07/10/19
Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
7,65	12
7,80	15
7,95	23

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	38	7,95	47,69	87,26	85,95	59,73

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] -	38	7,95	26,5	34,57	27,57	35,42	30,7	38,85	40,22	32-35	34,94	34,95	44,44	38,02

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	38	7,95	26,5	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] -	38	7,95	26,5	Terzaghi-Peck 1948	1,66

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] -	38	7,95	26,5	Terzaghi-Peck 1948	2,04

PROVA ... Nr.6

Strumento utilizzato... PROVE SPT IN FORO
Prova eseguita in data 03/10/19
Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
9,15	5
9,30	3
9,45	3

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	6	9,45	22,64	48,52	50,46	23,45

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] -	6	9,45	6	28,71	21,71	29,68	29,77	32,09	0	<30	24,49	28,8	33,03	25,95

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	6	9,45	6	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] -	6	9,45	6	Terzaghi-Peck 1948	1,43

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] -	6	9,45	6	Terzaghi-Peck 1948	1,89

PROVA ... Nr.7

Strumento utilizzato... PROVE SPT IN FORO
Prova eseguita in data 03/10/19
Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
11,15	5
11,30	14
11,45	26

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	40	11,45	47,93	87,68	86,35	60,86

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] -	40	11,45	27,5	34,86	27,86	35,7	30,65	39,1	40,28	32-35	35,31	35,25	44,6	38,45

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	40	11,45	27,5	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] -	40	11,45	27,5	Terzaghi-Peck 1948	1,67

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] -	40	11,45	27,5	Terzaghi-Peck 1948	2,04

PROVA ... Nr.8

Strumento utilizzato... PROVE SPT IN FORO
Prova eseguita in data 03/10/19
Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi
13,65	18
13,80	37
13,95	24

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] -	61	13,95	52,21	95,54	94,19	70,75

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	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki

											SPECIFICATION)			
[1] -	61	13,95	38	37,86	30,86	38,64	30,62	41,17	41,38	35-38	38,87	38,4	46,44	42,57

Classificazione AGI

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] -	61	13,95	38	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO

Peso unità di volume

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
[1] -	61	13,95	38	Terzaghi-Peck 1948	1,77

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
[1] -	61	13,95	38	Terzaghi-Peck 1948	2,10

Indice

1.PROVA ... Nr.1	10
2.PROVA ... Nr.2	11
3.PROVA ... Nr.3	12
4.PROVA ... Nr.4	13
5.PROVA ... Nr.5	14
6.PROVA ... Nr.6	15
7.PROVA ... Nr.7	15
8.PROVA ... Nr.8	16
Indice	18

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 ≤ 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 09/10/19
Normativa: Norme Tecniche Costruzioni 2018, Decreto 17 Gen. 2018

Fattore sicurezza normativa 1,25

FALDA
Profondità falda idrica 1 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	20	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	2,5	19	20	0	0	0	0	217
2		2,5	9	18	19	0	0	0	0	333
3		9	12	17	19	6	0	0	0	382
4		12	28	18	20	0	0	0	0	382

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

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
1,20	23,000	21,039	320,409	220,000	0,991	0,295	0,178	1,66	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
1,40	27,000	23,077	313,086	220,000	0,989	0,280	0,190	1,47	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
1,60	31,000	25,116	306,529	220,000	0,988	0,267	0,200	1,33	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
1,80	35,000	27,155	300,607	220,000	0,986	0,256	0,209	1,22	Terreno suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
2,00	39,000	29,193	295,215	220,000	0,985	0,245	0,216	1,13	Terreno suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
2,20	43,000	31,232	290,275	220,000	0,983	0,236	0,222	1,06	Terreno suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
2,40	47,000	33,271	285,722	220,000	0,982	0,227	0,228	1,00	Terreno suscettibile di liquefazione	0,08	Basso
2,60	50,900	35,209	432,295	220,000	0,980	0,552	0,233	2,37	Terreno	0.00	Molto

									non suscetti bile di liquefaz ione		basso
2,80	54,700	37,048	426,828	220,000	0,979	0,538	0,237	2,27	Terreno non suscetti bile di liquefaz ione	0.00	Molto basso
3,00	58,500	38,887	421,691	220,000	0,977	0,525	0,242	2,17	Terreno non suscetti bile di liquefaz ione	0.00	Molto basso
3,20	62,300	40,725	416,848	220,000	0,976	0,513	0,245	2,09	Terreno non suscetti bile di liquefaz ione	0.00	Molto basso
3,40	66,100	42,564	412,272	220,000	0,974	0,501	0,249	2,02	Terreno non suscetti bile di liquefaz ione	0.00	Molto basso
3,60	69,900	44,403	407,936	220,000	0,972	0,490	0,252	1,95	Terreno non suscetti bile di liquefaz ione	0.00	Molto basso
3,80	73,700	46,241	403,819	220,000	0,971	0,480	0,254	1,89	Terreno non suscetti bile di liquefaz ione	0.00	Molto basso
4,00	77,500	48,080	399,902	220,000	0,969	0,471	0,257	1,83	Terreno non suscetti bile di liquefaz ione	0.00	Molto basso
4,20	81,300	49,919	396,167	220,000	0,968	0,462	0,259	1,78	Terreno non suscetti bile di liquefaz ione	0.00	Molto basso
4,40	85,100	51,757	392,601	220,000	0,966	0,453	0,261	1,73	Terreno non suscetti	0.00	Molto basso

									bile di liquefazione		
4,60	88,900	53,596	389,189	220,000	0,965	0,445	0,263	1,69	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
4,80	92,700	55,435	385,921	220,000	0,963	0,437	0,265	1,65	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5,00	96,500	57,273	382,786	220,000	0,962	0,430	0,266	1,61	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5,20	100,300	59,112	379,774	220,000	0,960	0,423	0,268	1,58	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5,40	104,100	60,951	376,877	220,000	0,959	0,416	0,269	1,55	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5,60	107,900	62,789	374,087	220,000	0,957	0,410	0,270	1,52	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
5,80	111,700	64,628	371,398	220,000	0,956	0,404	0,271	1,49	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6,00	115,500	66,467	368,802	220,000	0,954	0,398	0,273	1,46	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6,20	119,300	68,305	366,295	220,000	0,953	0,392	0,273	1,43	Terreno non suscettibile di liquefaz	0.00	Molto basso

									ione		
6,40	123,100	70,144	363,870	220,000	0,951	0,387	0,274	1,41	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6,60	126,900	71,983	361,524	220,000	0,950	0,382	0,275	1,39	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
6,80	130,700	73,821	359,252	220,000	0,948	0,377	0,276	1,37	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7,00	134,500	75,660	357,049	220,000	0,946	0,372	0,277	1,34	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7,20	138,300	77,499	354,912	220,000	0,945	0,367	0,277	1,32	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7,40	142,100	79,337	352,838	220,000	0,943	0,363	0,278	1,31	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7,60	145,900	81,176	350,822	220,000	0,942	0,358	0,278	1,29	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
7,80	149,700	83,015	348,863	220,000	0,940	0,354	0,279	1,27	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8,00	153,500	84,853	346,958	220,000	0,939	0,350	0,279	1,25	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
8,20	157,300	86,692	345,104	220,000	0,937	0,346	0,280	1,24	Terreno	0,00	Molto

									suscettibile di liquefazione		basso
8,40	161,100	88,531	343,298	220,000	0,936	0,342	0,280	1,22	Terreno suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
8,60	164,900	90,369	341,538	220,000	0,934	0,338	0,280	1,21	Terreno suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
8,80	168,700	92,208	339,822	220,000	0,933	0,335	0,280	1,19	Terreno suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
9,00	172,500	94,047	338,149	220,000	0,931	0,331	0,281	1,18	Terreno suscettibile di liquefazione	0,00	Molto basso
9,20	176,300	95,885	386,034	220,000	0,928	0,438	0,281	1,56	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9,40	180,100	97,724	384,205	220,000	0,923	0,433	0,280	1,55	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9,60	183,900	99,563	382,419	220,000	0,918	0,429	0,279	1,54	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
9,80	187,700	101,402	380,673	220,000	0,912	0,425	0,278	1,53	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10,00	191,500	103,240	378,967	220,000	0,907	0,421	0,277	1,52	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10,20	195,300	105,079	377,298	220,000	0,902	0,417	0,275	1,51	Terreno non	0.00	Molto basso

									suscettibile di liquefazione		
10,40	199,100	106,918	375,665	220,000	0,896	0,414	0,274	1,51	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10,60	202,900	108,756	374,067	220,000	0,891	0,410	0,273	1,50	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
10,80	206,700	110,595	372,503	220,000	0,886	0,406	0,272	1,49	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11,00	210,500	112,434	370,971	220,000	0,880	0,403	0,271	1,49	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11,20	214,300	114,272	369,469	220,000	0,875	0,399	0,270	1,48	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11,40	218,100	116,111	367,998	220,000	0,870	0,396	0,268	1,48	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11,60	221,900	117,950	366,555	220,000	0,864	0,393	0,267	1,47	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
11,80	225,700	119,788	365,140	220,000	0,859	0,390	0,266	1,46	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12,00	229,500	121,627	363,753	220,000	0,854	0,387	0,265	1,46	Terreno non suscettibile di	0.00	Molto basso

									liquefazione		
12,20	233,500	123,666	362,244	220,000	0,848	0,383	0,263	1,46	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12,40	237,500	125,704	360,766	220,000	0,843	0,380	0,262	1,45	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12,60	241,500	127,743	359,318	220,000	0,838	0,377	0,260	1,45	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
12,80	245,500	129,782	357,899	220,000	0,832	0,374	0,259	1,44	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13,00	249,500	131,820	356,507	220,000	0,827	0,371	0,257	1,44	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13,20	253,500	133,859	355,142	220,000	0,822	0,368	0,256	1,44	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13,40	257,500	135,898	353,802	220,000	0,816	0,365	0,254	1,43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13,60	261,500	137,936	352,488	220,000	0,811	0,362	0,253	1,43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
13,80	265,500	139,975	351,197	220,000	0,806	0,359	0,251	1,43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

14,00	269,500	142,014	349,930	220,000	0,800	0,356	0,250	1,43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
14,20	273,500	144,052	348,685	220,000	0,795	0,354	0,248	1,43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
14,40	277,500	146,091	347,462	220,000	0,790	0,351	0,247	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
14,60	281,500	148,130	346,261	220,000	0,784	0,348	0,245	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
14,80	285,500	150,168	345,079	220,000	0,779	0,346	0,243	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
15,00	289,500	152,207	343,918	220,000	0,774	0,343	0,242	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
15,20	293,500	154,246	342,776	220,000	0,768	0,341	0,240	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
15,40	297,500	156,284	341,653	220,000	0,763	0,339	0,239	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
15,60	301,500	158,323	340,547	220,000	0,757	0,336	0,237	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
15,80	305,500	160,362	339,460	220,000	0,752	0,334	0,236	1,42	Terreno non	0.00	Molto basso

									suscettibile di liquefazione		
16,00	309,500	162,400	338,389	220,000	0,747	0,332	0,234	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
16,20	313,500	164,439	337,336	220,000	0,741	0,330	0,232	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
16,40	317,500	166,478	336,298	220,000	0,736	0,327	0,231	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
16,60	321,500	168,516	335,276	220,000	0,731	0,325	0,229	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
16,80	325,500	170,555	334,270	220,000	0,725	0,323	0,228	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
17,00	329,500	172,594	333,278	220,000	0,720	0,321	0,226	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
17,20	333,500	174,632	332,302	220,000	0,715	0,319	0,224	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
17,40	337,500	176,671	331,339	220,000	0,709	0,317	0,223	1,42	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
17,60	341,500	178,710	330,390	220,000	0,704	0,315	0,221	1,43	Terreno non suscettibile di	0.00	Molto basso

									liquefazione		
17,80	345,500	180,748	329,454	220,000	0,699	0,313	0,220	1,43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
18,00	349,500	182,787	328,532	220,000	0,693	0,311	0,218	1,43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
18,20	353,500	184,826	327,622	220,000	0,688	0,310	0,216	1,43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
18,40	357,500	186,864	326,725	220,000	0,683	0,308	0,215	1,43	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
18,60	361,500	188,903	325,839	220,000	0,677	0,306	0,213	1,44	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
18,80	365,500	190,942	324,966	220,000	0,672	0,304	0,211	1,44	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
19,00	369,500	192,980	324,105	220,000	0,667	0,302	0,210	1,44	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
19,20	373,500	195,019	323,254	220,000	0,661	0,301	0,208	1,44	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
19,40	377,500	197,058	322,415	220,000	0,656	0,299	0,207	1,45	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

19,60	381,500	199,096	321,586	220,000	0,651	0,297	0,205	1,45	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
19,80	385,500	201,135	320,768	220,000	0,645	0,296	0,203	1,45	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso
20,00	389,500	203,174	319,961	220,000	0,640	0,294	0,202	1,46	Terreno non suscettibile di liquefazione	0.00	Molto basso

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

Cantieri del Mediterraneo

Indagine geognostica presso
Cantieri del Mediterraneo
A Bussana di Sanremo (IM)

Planimetria con ubicazione indagini
Stratigrafie
Documentazione Fotografica

Ottobre 2019

INJECTOSOND ITALIA s.r.l.
Piazza C. Golgi, 25/C - 16011 ARENZANO (GE)
Tel: +390109131047 - Fax: +390109110650


Capannone
1519
A
B
Piazzale
Piazzale
Piazzale
LARGHEZZA COMPLESSIVA CONCESSIONE : 88.50 M
MURO TIPO 1

INJECTOSOND ITALIA s.r.l. - Piazza C. Golgi 25/c, 16011 ARENZANO (GE) - Tel: +390109131047 - Fax: +390109110650

Committente: ***CANTIERI DEL MEDITERRANEO*** Sondaggio: ***SA*** Data inizio: ***02/10/2019***

Cantiere: ***Bussana di Sanremo (IM)*** Quota caposaldo: ***p.c.*** Data termine: ***07/10/2019***

Quote

Quota assoluta (m)	Profondità (m)	Potenza strato (m)
	0,00	
		2.50
	2.50	
		6.50
	9.00	
		3.00
	12.00	
		3.00
	15,00	
		5.00
	(20,00)	

Risultato dei sondaggi

Stratigrafia	Campioni (Tipo... / Sigla e profondità)	Percentuale di carotaggio (20% 40% 60% 80%)	Rock Quality Designation (20% 40% 60% 80%)	Descrizione dei litotipi
		100		Materiale di riporto eterogeneo ed eterometrico costituito da ghiaia ciottolosa e sabbioso-limosa; molto addensata (valore di N_{SPT} pari a 65 a 1.50 m di profondità); colore grigio-bruno.
		100		Blocchi litoidi alternati a livelli prevalentemente sabbioso-limosi debolmente ghiaiosi; da molto addensato ad addensato (valori di N_{SPT} pari a 51 e 38 rispettivamente a 6.40 m e 7.50 m di profondità); colore grigio-marrone.
	C.I. 01 10.50-11.00 m	100		Limo sabbioso; da poco addensato ad addensato (valori di N_{SPT} pari a 6 e 40 rispettivamente a 9.00 m e 11.00 m di profondità); colore grigio scuro.
		100		Ghiaia prevalentemente media sabbioso-limosa; molto addensata (valore di N_{SPT} pari a 61 a 13.50 m di profondità); colore marrone nocciola.
		100		Blocchi litoidi alternati a livelli prevalentemente sabbioso-limosi debolmente ghiaiosi; colore grigio-marrone.

Idrogeologia

Livello della falda	Prove di permeabilità LUGEON (profondità e U.L.)	Prove di permeabilità LEFRANC (profondità e K (cm/s))

Geotecnica

Prove pressiometriche tipo Menard	Standard Penetration Test (0 10 20 30 40 50)	N	Pocket Penetrometer (kg/cm²)	Torvane Shear Test (kg/cm²)
	Prof.: 1.50 m 19 - 37 - 28	65		
	Prof.: 3.00 m 22 - 35 - R 12 cm	R		
	Prof.: 4.50 m 9 - R 6 cm	R		
	Prof.: 6.40 m 7 - 24 - 27	51		
	Prof.: 7.50 m 12 - 15 - 23	38		
	Prof.: 9.00 m 5 - 3 - 3	6		
	Prof.: 11.00 m 5 - 14 - 26	40		
	Prof.: 13.50 m 18 - 37 - 24	61		

Strumentazione

Inclinometro	Piezometro A tubo aperto	Piezometro Casagrande	Assestimetro	Estensimetro

Perforazione

Rivestimento	Metodo e diametro	Fluido	Utensili: Carotiere semplice Corona di Widia	Utensili: Carotiere doppio Corona di Widia	Utensili: Carotiere doppio Corona diamantata
127 mm	Perforazione diametro 101: a carotaggio continuo da 0.00 m a 25.00 m di profondità	Acqua limpida	4.70 – 5.60; 15.00 – 16.30; 17.30 – 18.60		4.85 – 6.30; 15.20 – 16.60; 17.70 – 19.00

Annotazioni

Computo metrico

N° casse: 5
Rivest.(127): 23.5 m
Cor. Diam.: 2.75 m
Car. Doppio: 2.75 m

INJECTOSOND ITALIA s.r.l. - Piazza C. Golgi 25/c, 16011 ARENZANO (GE) - Tel: +390109131047 - Fax: +390109110650

Committente: ***CANTIERI DEL MEDITERRANEO*** Sondaggio: ***SA*** Data inizio: ***02/10/2019***

Cantiere: ***Bussana di Sanremo (IM)*** Quota caposaldo: ***p.c.*** Data termine: ***07/10/2019***

Quote

Quota assoluta (m)

Profondità (m)

Potenza strato (m)

Risultato dei sondaggi

Stratigrafia

Campioni — CR campione rimaneggiato. CI campione indisturbato. Tipo... Sigla e profondità

Percentuale di carotaggio — 20% 40% 60% 80%

Rock Quality Designation — 20% 40% 60% 80%

Descrizione dei litotipi

Idrogeologia

Livello della falda

Prove di permeabilità — LUGEON profondità e U.L. | LEFRANC profondità e K (cm/s)

Geotecnica

Prove pressiometriche tipo Menard

Standard Penetration Test — 0 10 20 30 40 50 N

Pocket Penetrometer (kg/cm²)

Torvane Shear Test (kg/cm²)

Strumentazione

Inclinometro

Piezometro Casagrande

Assestimetro

Estensimetro

Perforazione

Rivestimento

Metodo e diametro

Fluido

Utensili — Carotiere semplice Corona di Widia | Carotiere doppio Corona di Widia | Carotiere doppio Corona diamantata

Annotazioni

Computo metrico

N° casse: 5

Rivest.(127): 23.5 m

Cor. Diam.: 2.75 m

Car. Doppio: 2.75 m

Quota assoluta (m)	Profondità (m)	Potenza strato (m)	Descrizione dei litotipi
	(20,00)		
		5.00	Ghiaia eterometrica sabbioso-limosa, localmente presenza di blocchi lapidei; colore marrone.
	25.00		
	(40,00)		

Rivestimento: 127 mm — 23.50

Metodo e diametro: Perforazione diametro 101: a carotaggio continuo da 0.00 m a 25.00 m di profondità

Fluido: Acqua limpida

Utensili: 22.00 — 20.20 — 22.40 — 25.00 — 25.00

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA SONDAGGIO SA






SA C2
COMMITTENTE: CANTIERI DEL MEDITERRANEO
CANTIERE: BUSSANA S.REMO
SOND: SA
CASSA: 2
PROF.TÀ: DAM. 5.00 AM. 12.00


SA C3
COMMITTENTE: CANTIERI DEL MEDITERRANEO
CANTIERE: BUSSANA S.REMO
SOND: SA
CASSA: 3
PROF.TÀ: DAM. 10.00 AM. 15.00


COMMITTENTE: CANTIERI DEL MEDITERRANEO
CANTIERE: BUSSANA S. RENO
SOND: SA
PROF.TÀ: DA M. 15.00 AM. 20.00
CASSA: 4


COMMITTENTE: CANTIERI DEL MEDITERRANEO
CANTIERE: BUSSANA S. RENO
SOND.: SA
CASSA: 5
PROF.TÀ: DA M. 20.00 A M. 25.00

EPTA CONSULT S.C.R.L.
Via Doria, 74
19124 La Spezia (ITALY)
Tel. 0187.770500 • Fax 0187.770634
e-mail: eptacons@tin.it

perMARE

CANTIERI DEL MEDITERRANEO SRL



INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE NEL TRATTO DI MARE ANTISTANTE IL CANTIERE DEL MEDITERRANEO IN LOCALITÀ CAPO VERDE DEL COMUNE DI SAN REMO (IM) INTERESSATI DA INTERVENTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI PROTEZIONE COSTIERA E RICOSTRUZIONE MOLO DI ALAGGIO.

COORDINAMENTO TECNICO:

DOTT. GEOL. MARCO ZANICCHI

ORDINE REGIONALE DEI GEOLOGI DELLA LIGURIA
Dott. Geol. MARCO ZANICCHI

Ottobre 2019
Ns.Rif. 2362

1.PREMESSA

Il giorno 18 ottobre 2019 è stata eseguita, su incarico della società Cantieri del Mediterraneo srl, una prospezione geofisica nel Comune di Sanremo in Loc. Capo Verde di Bussana (IM).

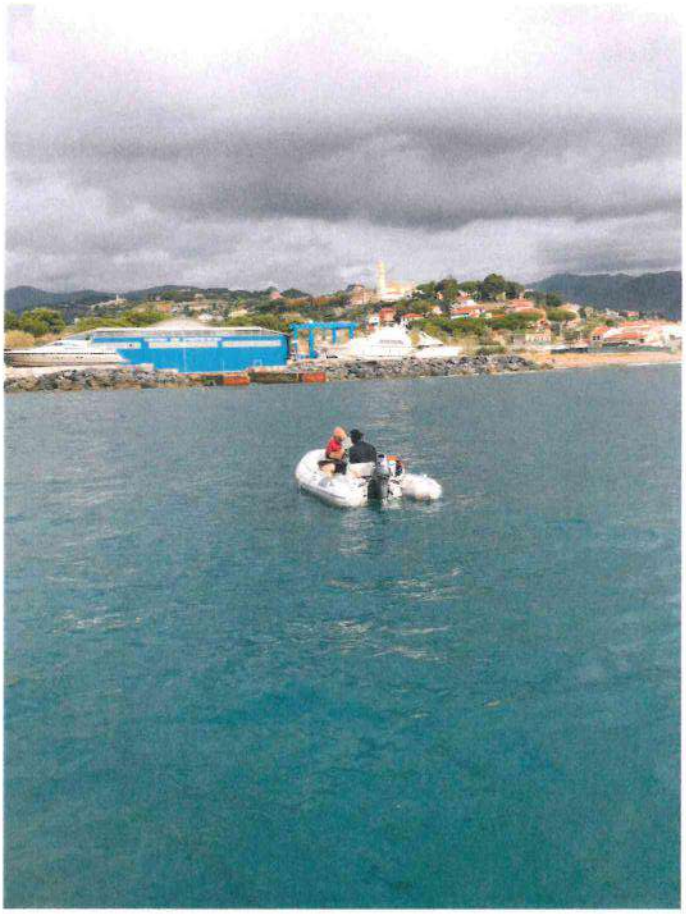
Le indagini sono state effettuate utilizzando la metodologia sismica a rifrazione con elaborazione tomografica dei dati, con lo scopo di ricostruire l'andamento stratigrafico dei depositi del fondo marino nell'area d'intervento.

Nella presente relazione vengono riportati i risultati delle indagini e le relative interpretazioni.

2. INDAGINI EFFETTUATE

Nell'area di indagine è stata eseguita 1 linea sismica a rifrazione a mare aventi le seguenti caratteristiche:

Nome	Lunghezza	Passo	Nr. Sensori (idrofoni)
B1	110 metri	10 m	12



Energizzazione a mare della linea ad idrofoni

3. ACQUISIZIONE E STRUMENTAZIONE IMPIEGATA

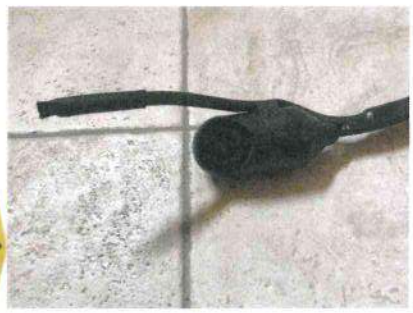
3.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione è stata effettuata tramite l'utilizzo di un sismografo a 24 bit DAQlinkIII prodotto dalla Seismic Source Co. (USA) utilizzando in totale 12 canali di registrazione. Lo strumento viene collegato via cavo ai geofoni verticali che hanno una frequenza propria di 4.5 Hz.

Caratteristiche tecniche del sismografo DaqLink III:



Acquiitore DaqLink III

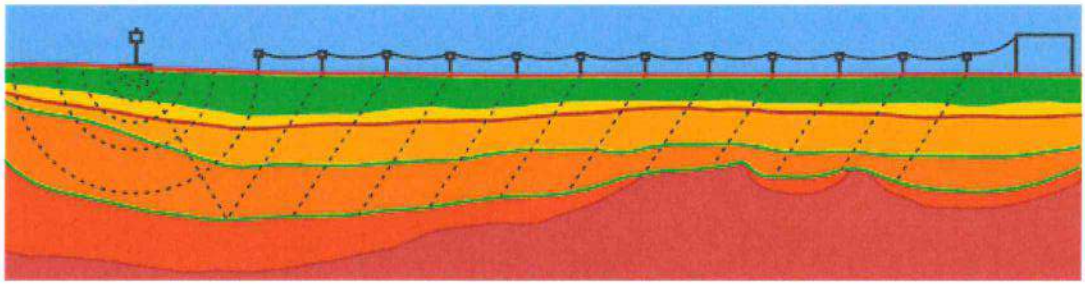


Idrofono 10 Hz

Caratteristiche tecniche DaqLink III	
Channels	1-24 (multiple units can be used together)
A/D conversion	24 bit high speed sigma delta converters
Dynamic range	144 dB
Bandwidth	DC to 15KHz Analog filter flat response to 8000Hz Digital filter bandwidth – 85% of sample rate
Common mode rejection	Greater than 100dB
Crosstalk	Better than 125dB
Noise floor	0.2µV RMS noise
Trigger accuracy	+/- 1ms at all sample rates
Anti-alias filter	85% of Nyquist frequency
Digital Filters	User selectable frequency
Sample intervals	0.0208, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16 ms

3.2 METODOLOGIA A RIFRAZIONE TOMOGRAFICA- INTERPRETAZIONE DEI DATI

La metodologia sismica a rifrazione in onde P è stata scelta come tecnica d'indagine per definire le geometrie del sottosuolo.
Le indagini geosismiche a rifrazione hanno lo scopo di caratterizzare in modo dinamico, tramite la misura delle onde di compressione (Vp).



E' necessario che il volume di terreno sia caratterizzato da valori di velocità di Vp progressivamente crescenti con la profondità, infatti, come è noto, il principale limite di tale metodologia è rappresentato dal non poter distinguere ed individuare strati con velocità delle onde P minori sottostanti a strati con velocità più elevate.

L'indagine consiste nel creare delle onde sismiche artificiali sulla superficie del terreno da investigare e registrare le vibrazioni prodotte a distanze note e prestabilite mediante geofoni a prevalente componente verticale.

E' importante precisare che le onde dirette e rifratte costituiscono sempre il primo arrivo rispetto alle onde superficiali (onde di Love) e che per brevi stendimenti risultano sufficientemente forti da poter essere registrate. Inoltre con questo tipo di metodologia di studio non esistono le limitazioni connesse con l'orizzontalità degli strati proprie delle tecniche utilizzanti le onde superficiali.

La procedura elaborativa è sinteticamente descrivibile nei passi seguenti:

- Trasferimento dei sismogrammi al programma di prelevamento dei tempi di primo arrivo-
- Emissione delle dromocrone misurate sia in forma grafica che in forma leggibile dal programma di elaborazione tradizionale basato su algoritmo GRM (Generalized Reciprocal Method).
- Immissione dei valori delle quote dei geofoni e degli spari nel programma di interpretazione GRM e lettura delle dromocrone misurate.
- Elaborazione dei dati e interpretazione tradizionale.
- Emissione delle sezioni interpretate riportanti le interfacce fra strati di diversa velocità sismica e i valori stessi di velocità. Si noti che le velocità sismiche attribuite a ciascuno strato sono caratterizzate da un gradiente nullo in direzione verticale (sono costanti in verticale per ciascuno strato). Vi è una utile possibilità di modellizzare con la procedura GRM delle variazioni orizzontali di velocità che comunque risultano discrete e non continue.
- Emissione di un file riportante l'ubicazione e la quota di ciascun punto di sparo e di ciascun geofono, leggibile dal programma di iterazione tomografica e di ray-tracing (tracciamento dei percorsi dei raggi sismici).
- Emissione del modello bidimensionale del terreno ricavato dalla procedura GRM sotto forma di una matrice a celle di dimensione definibile (inferiori al metro), adatta ad essere letta dal programma di ray-tracing e di elaborazione tomografica. L'interpretazione GRM viene quindi a fornire il modello iniziale delle velocità del terreno, necessario ad attivare le iterazioni del completo modello matematico bidimensionale (modellizzazione tomografica). Il terreno viene quindi suddiviso in celle di dimensione minima, ciascuna dotata di una diversa velocità sismica e ciascuna pronta a venir modificata dalla procedura di iterazione tomografica, allo scopo di ridurre al minimo l'errore fra le dromocrone calcolate in base al modello di terreno e quelle effettivamente misurate durante la prospezione.
- Il file contenente le ubicazioni e le quote viene letto dal programma tomografico assieme al file contenente la matrice di velocità e la procedura di ray-tracing e di controllo viene attivata.
- Per prima cosa viene controllata la correttezza delle ubicazioni dei sensori e degli spari e quindi vengono visionati i percorsi dei raggi sismici e valutato il primo "fitting" con i dati misurati, allo scopo di iniziare la procedura tomografica, senza la presenza di errori sistematici previamente correggibili.
- Lo scopo della procedura iterativa tomografica è quello di ridurre l'errore fra i tempi delle dromocrone calcolate in base al modello rispetto a quelle effettivamente misurate. Questo avviene per approssimazioni successive (iterazioni) controllate dall'operatore al quale è possibile intervenire nella scelta di molti coefficienti che influenzano il calcolo come anche nella scelta della procedura stessa che viene utilizzata per realizzare la minimizzazione degli errori.
- Il risultato finale sarà una matrice rappresentativa del terreno indagato costituita da celle ciascuna caratterizzata da una velocità sismica e tale complessivamente da presentare un errore minimo se utilizzata nella procedura di tracciamento dei raggi sismici.
- Questa matrice viene visualizzata tramite un opportuno programma di contouring utilizzando, se ritenuto necessario, diversi colori per diverse velocità

4. RISULTATI

L'allegato 1 mostra in scala 1 : 1500 l'ubicazione della sezione sismica registrata.

L'allegato 2 riporta l'interpretazione dei dati della base che è stata acquisita a 12 idrofoni e che ha consentito di processare i dati seguendo una modalità di interpretazione tomografica. Come risulta evidente dagli allegati, la risoluzione ottenuta permette di apprezzare variazioni di velocità più dettagliate sia nei sedimenti superficiali che nei depositi sottostanti.

L'andamento del sottosuolo è mostrato attraverso una scala cromatica di colori che parte dal nero e incrementa verso il viola. Le variazioni di velocità sono associabili al diverso grado di addensamento dei depositi.

Le velocità simiche risultano incrementate dalla saturazione dei depositi.

Vengono suddivise tre unità geosismiche differenti che costituiscono il modello geofisico proposto partendo dal piano fondale e scendendo fino alla massima profondità stimata e possono essere cosi descritte:

prima unità geosismica superficiale: si trova al di sopra di una linea tratteggiata di colore blu che rispecchia l'andamento di velocità pari a 1200 m/sec. Questa unità è attribuibile a un sedimento superficiale non consolidato del fondale marino.

seconda unità geosismica: è compresa tra la linea blu e quella rossa ed è caratterizzata da velocità sismiche che raggiungono i 2800 m/s. Questa unità è attribuibile a depositi sciolti mediamente addensati e consolidati.

terza unità geosismica: posta al di sotto della linea tratteggiata rossa è caratterizzata da velocità sismiche superiori ai 2800 m/s. Questa unità è attribuibile a depositi molto consolidati oppure al substrato roccioso via via più sano.

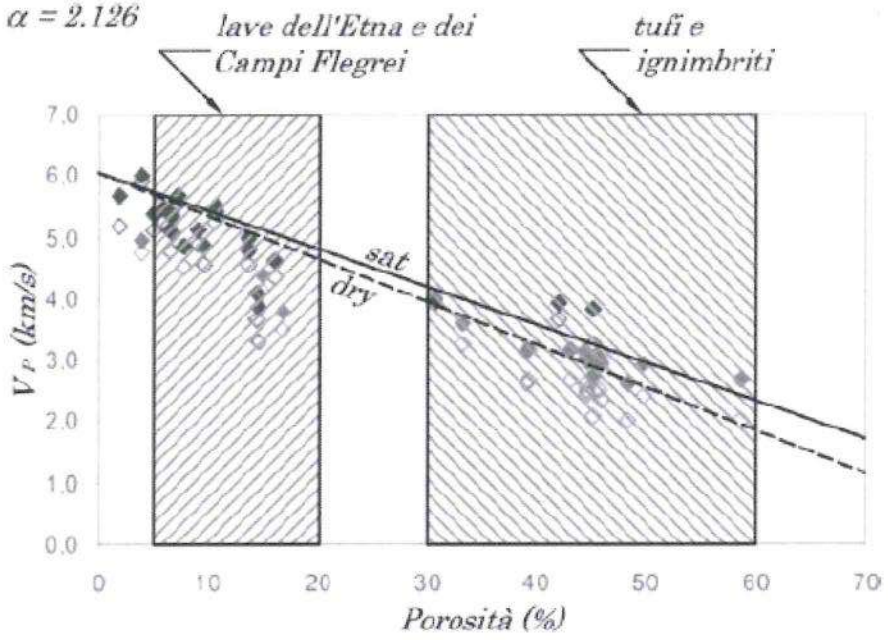
Dalle scale metriche verticali poste a lato delle sezioni sismiche è possibile ricavare direttamente i valori di profondità attribuiti alle unità sopra descritte.

La stima delle profondità dei vari strati, cosi come la definizione del loro andamento geometrico, scaturisce dall'analisi di dati indiretti acquisiti, interpretati ed elaborati.

Le metodologie geofisiche costituiscono un sistema rapido ed efficace per individuare in aree estese o di difficile accesso logistico le zone di interesse attraverso un'analisi non distruttiva, fermo restando l'importanza di procedere al confronto con verifiche dirette per tarare le indicazioni ottenute e migliorare il modello geologico proposto.

Nel caso in esame presi inesame i dati litostratigrafici sondaggio SA e le prove sismiche eseguite sul piazzale nella zona più prossima al gavitello di inizio stesa (idrofono I1) la terza unità geosismica parrebbe essere rappresentata dalle substrato roccioso alterato e fratturato Flysch di San Remo.

Le velocità riscontrate al di sotto del rifrattore attribuito al tetto della terza unità geosismica superiori a 2800 m/s risentono in minima parte della presenza idrica nella fratturazione della roccia (la saturazione influenza in particolar modo l'orizzonte superficiale fangoso che arriva al valore di Vp di 1200 m/s condizionato dalla incomprimibilità dell'acqua presente peri a circa 1500m/s).

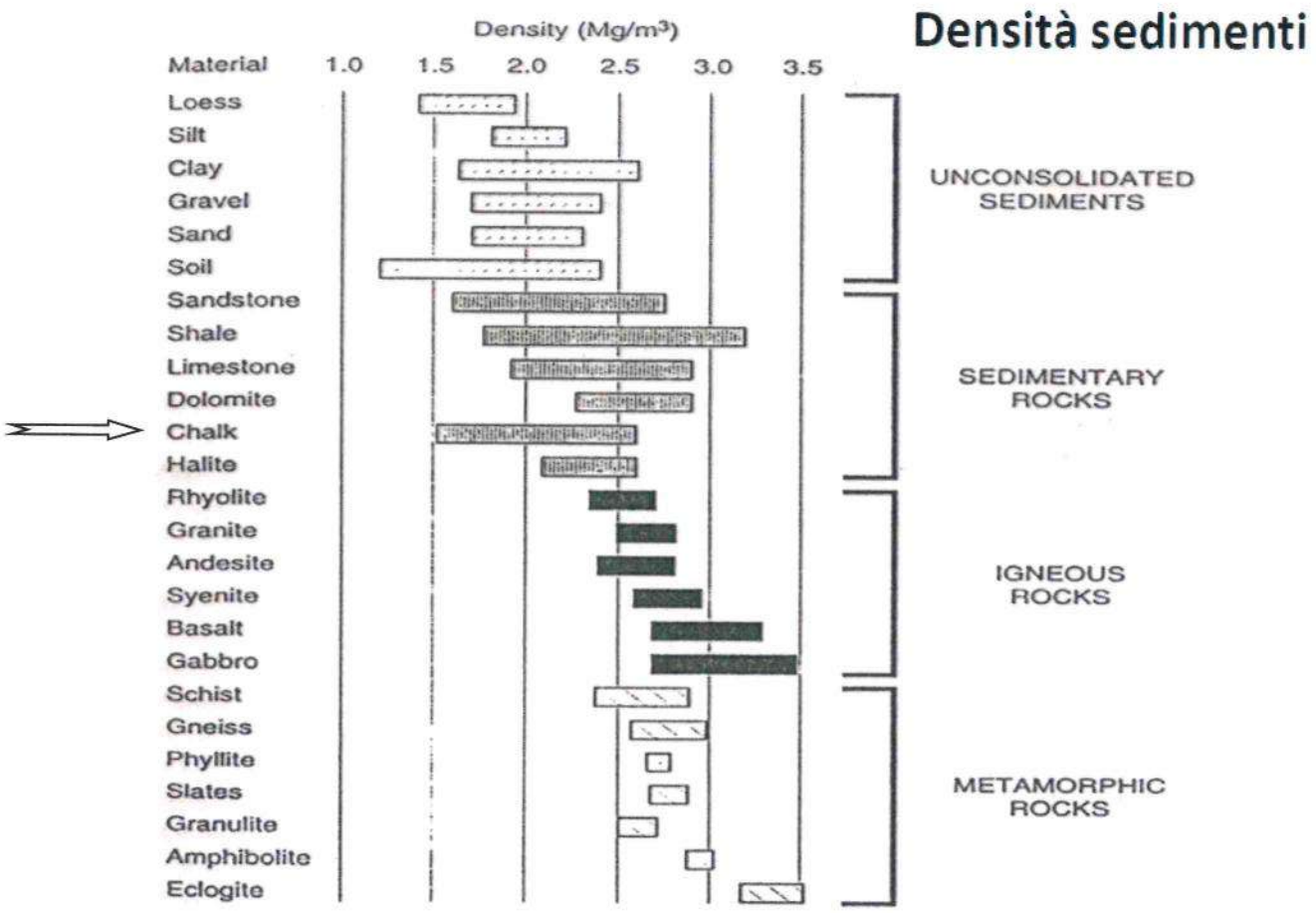


densità secca (kN/mc)	densità satura (kN/mc)	Ei (GPa)	α	n (%)	V P.secche (m/s)	V P.sature (m/s)
27	27	990	2.126	0	6055	6055
24.3	25.3	791.3	2.126	10	5170	5183
21.6	23.6	616	2.126	20	4340	4387
18.9	21.9	463.7	2.126	30	3569	3671
16.2	20.2	334.1	2.126	40	2860	3040
13.5	18.5	226.7	2.126	50	2219	2500
10.8	16.8	141.1	2.126	60	1649	2059
8.1	15.1	76.5	2.126	70	1160	1725

Su talune roccia sono state definite in bibliografia le differenza tra il valore delle Vp sature e quello delle Vp secche che si attestano per le prime su aumenti dell'ordine del 10-30% in ragione della conducibilità idraulica della roccia.

Pertanto il valore ottenuto penalizzato di tale percentuale porterebbe a valori superiori a 2000 m/s di velocità, caratteristico di una roccia alterata di buona qualità.

Infatti dal diagramma (ugualmente tratto da bibliografia) che segue:



Nel caso di calcari a cui sono assimilabili i Flysch calcarei i valori rientrano tra 1500 e 2500 m/s di Vp.

Anche altri risultati tabellari indicano per il Flysch in oggetto , costituito da alternanze torbitiche di bancate potenti di calcari più o meno marnoso - chiare e marne argillose alla base e di strati arenacei e marnoso-argillosi alla sommità.

Principi fisici: tipiche velocità

Materiale	V_p (m/s)
Aria	330
Acqua	1450-1530
Petrolio	1300-1400
suolo superficiale	100-500
Neve	350-3000
Ghiaccio in ghiacciai (funzione della temperatura)	3000-4000
Sabbia sciolta non satura	200-2000
Sabbia sciolta satura	1500-2000
Morena	1500-2700
Sabbia r ghiaia superficiale	400-2300
Sabbia r ghiaia a 2 km di profondità	3000-3500
Argilla	1000-2500
Permafrost	1500-4900
Arenaria	1400-4500
Calcare soffice	1700-4200
Calcare duro	2800-7000
Dolomia	2500-6500
salgemma	4000-5500
Gesso	2000-3500
Argilliti	2000-4100
Graniti	4600-6200
Basalti	5500-6500
Gabbro	6400-7000
Serpentinite	5500-6500
Gneiss	3500-7600
Marmo	3800-7000

Valori tipici delle caratteristiche delle rocce più comuni

Roccia	Vp Velocità longitudinale (m/s)	Vs Velocità trasversale (m/s)	Densità r (Kg/m³)	E Modulo elastico (MPa)	v Coefficiente di Poisson
Granito	4000-6000	2500-3000	26-26	50000-70000	0 25
Diorite	5500-6500	3000-3500	28-30	70000-100000	0 25
Basalto	6300-7000	3200-3700	28-30	60000-100000	0 25
Gneiss	4000-6000	2200-2800	25-27	40000-70000	0 25
Scisti	3500-5500	2000-4000	24-28	30000-60000	0 25
Dolomia	3500-5500	2000-2500	25-28	50000-80000	0 25
Calcare	2500-4000	1500-2000	25-28	40000-80000	0 25
Arenarie	1500-3000	800-2000	22-25	10000-30000	0 28
Marne	1500-3500	500-1500	18-22	10000-30000	0 30
Gessi	1500-3000	500-1500	20-25	10000-30000	0 30
Argille	800-2000	500-1500	15-20	10000-20000	0 30
Alluvioni	300-800	100-300	15-20	10000-30000	0 32

Valori minimi di 1700 m/s.



Legenda

I1

B1

Ubicazione della linea sismica a mare
posizione idrofono I1

Scala 1:1500

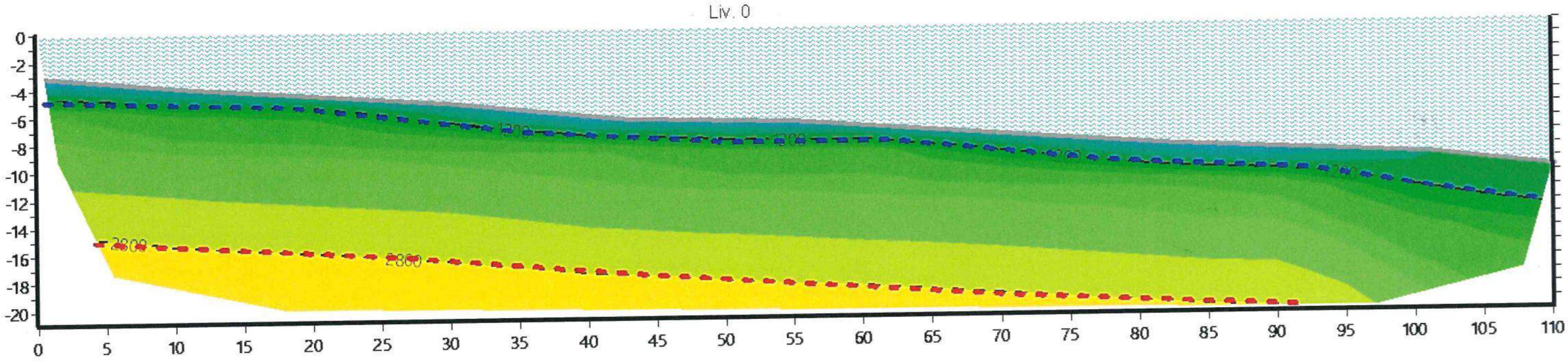
INDAGINE GEOFISICA

Comune Sanremo Bussana (IM)

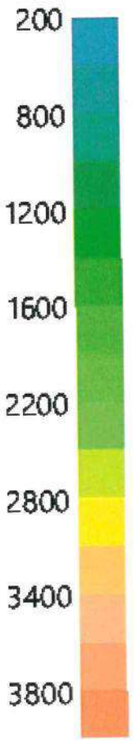
Cantiere del Mediterraneo

Ubicazione stesa sismica B1

All.1	Ottobre 2019



Legenda



Prima Unità geosismica associabile alla presenza di un deposito poco consolidato

Seconda Unità geosismica associabile alla presenza di un deposito consolidato

Terza Unità geosismica associabile alla presenza di un deposito ben consolidato

INDAGINE GEOFISICA	
Comune Sanremo Bussana (IM)	
Cantiere del Mediterraneo	
Stesa sismica B1	
All.2	Ottobre 2019

so spe rit
società sperimentazione ricerca idoneità tecnica s.r.l.
Azienda con sistema di gestione per la qualità certificato da RINA UNI EN ISO 9001:2015

CENTRO PROVE - RICERCHE - AMBIENTE - SERVIZI PER INGEGNERIA GEOTECNICA - TESTING CENTER - RESEARCH - ENVIRONMENT - ENGINEERING AND GEOTECHNICS SERVICES - TESTING ON: AGGREGATES - CONCRETE ROCKS - CEMENT - BRICKS - STEEL - SOIL - WATER - ASPHALT & BITUMEN
AUTORIZZATO DAL MINISTERO INFRASTRUTTURE E TRASPORTI ART. 20 LEGGE 1086/71 CIRC. 7617/STC SETTORE A
Via Periane, 212 • 18018 TAGGIA (IM) • Tel. 0184.477434 • Fax 0184.055002
web site: www.sosperit.it • e-mail: info@sosperit.it • Pec: sosperit@worldpec.it

ANALISI GRANULOMETRICA

Norma di riferimento : C.N.R. B.U. N. 23

Metodo di vagliatura adottato : secco

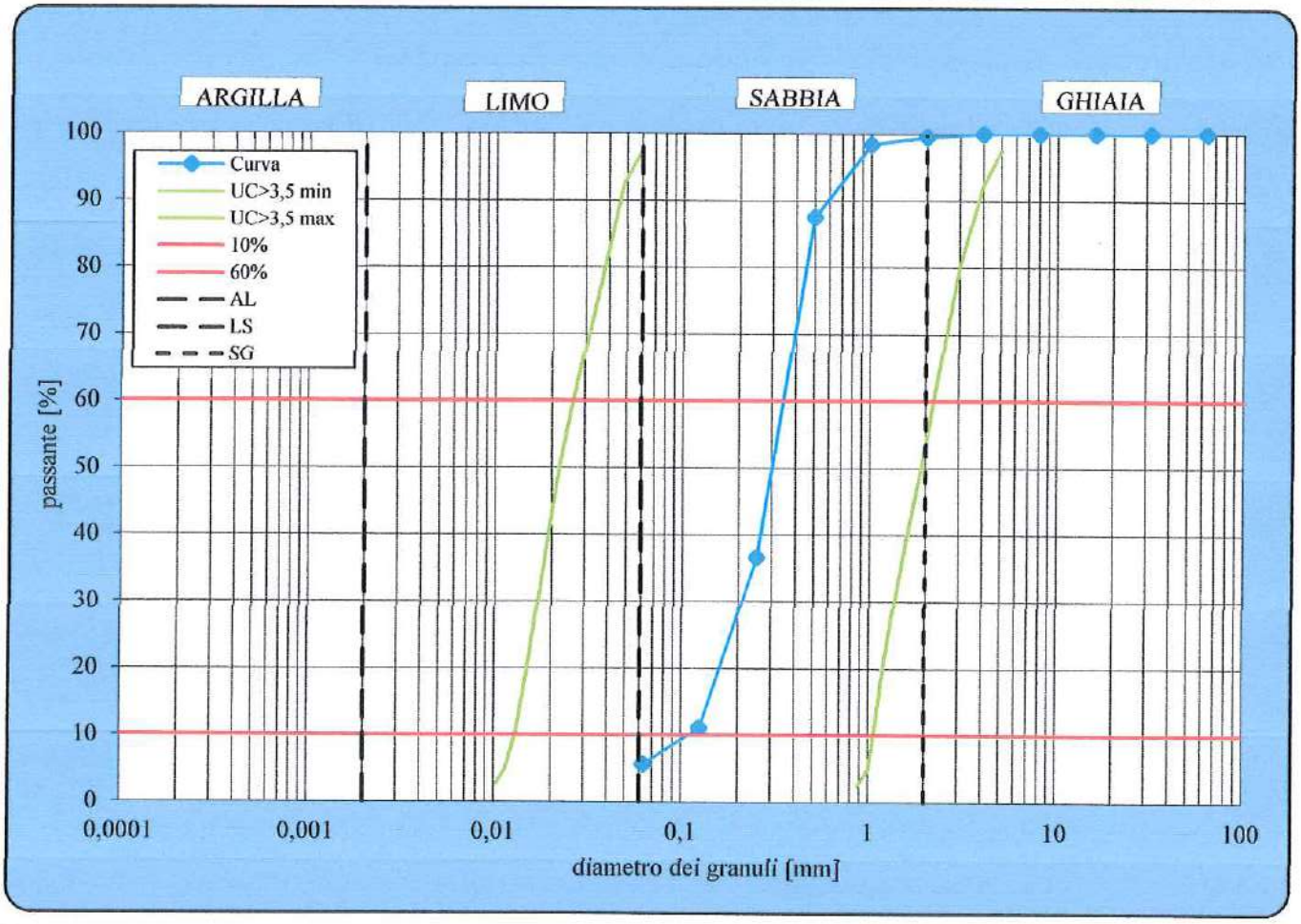
Data prova : 14/10/2019

Contrassegno campione : 1

RISULTATI DELLA PROVA

SETACCI [mm]	63	31,5	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063
passante in %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,5	98,4	87,5	36,6	11,0	5,6

Diametro particelle corrispondenti ai passanti				Coefficiente di Uniformità
60% =	0,33	10%=	0,1	3,30



Non è stata eseguita la granulometria per sedimentazione in quanto il passante al setaccio 0,063mm è inferiore al 10%

DM 17/01/2018 Punto 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

Circostanza 4: Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig.

7,11,1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformià Uc<3,5 e in Fig. 7,11,1 (b)

È vietata la riproduzione anche parziale di questo documento, senza autorizzazione scritta della So. Spe. R.I.T. srl