



COMUNE DI SCILLA (RC)



AMMODERNAMENTO DEL PORTO DI SCILLA E DELLE INFRASTRUTTURE DI COLLEGAMENTO

Progetto Definitivo

D. STUDI SPECIALISTICI E MODELLAZIONI

D.02b

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Data:

12-04-2022

Scala:

-



PROJECT MANAGER

ing. Giuseppe Bernardo

PROGETTISTI

ing. Giuseppe Bernardo
ing. Domenico Condelli
ing. Vincenzo Secreti
ing. Roberta Chiara De Claro
arch. Pasquale Billari

GRUPPO DI LAVORO

ing. Giuseppe Cutrupi
arch. Francesca Gangemi



ing. Domenico Condelli

arch. Pasquale Billari



REVISIONI			

R.U.P.

Visti/Approvazioni

Codice elaborato:

DNC144_PD_D.2b_2022-03-15_R0_Relazione indagini geognostiche_GC.docx

INDICE

1.	PREMESSA	1
2.	INDAGINI GEOGNOSTICHE	2
2.1.	SONDAGGI GEOGNOSTICI	2
2.2.	PROVE STANDARD PENETRATION TEST (SPT)	3
2.2.1.	S2 SPT 2,00-2,45	4
2.2.2.	S2 SPT 4,00- 4,45	5
3.	PROVE DI LABORATORIO	6
3.1.	SONDAGGIO: S1	7
3.2.	SONDAGGIO: S2	8
3.3.	SONDAGGIO: S3	10
4.	INDAGINI GEOFISICHE	12
4.1.	SISMICA A RIFRAZIONE CON ELABORAZIONE TOMOGRAFICA	12
4.1.1.	Interpretazione stendimento a-a'	13
4.1.2.	Interpretazione stendimento b-b'	13
4.1.3.	Interpretazione stendimento c-c'	14
4.1.4.	Interpretazione stendimento d-d'	15
4.1.5.	Interpretazione stendimento e-e'	15
4.2.	HVSR A STAZIONE SINGOLA	16
4.2.1.	hvsr 1	18
4.2.2.	hvsr 2	19
4.2.3.	hvsr 3	20
4.2.4.	hvsr 4	21
4.3.	SISMICA IN FORO DOWN-HOLE	22
5.	RILIEVO GEOMECCANICO	24

1. PREMESSA

Ai fini della progettazione definitiva ed esecutiva per i lavori di ammodernamento del Porto di Scilla e delle infrastrutture di collegamento. CUP: F71C1800014002 – CIG: Z8E31BC1FD" è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche, al fine di acquisire dei dati documentati affidabili, riproducibili e successivamente interpretabili, finalizzati ad ottenere un quadro conoscitivo esaustivo riguardante il modello geologico, idrogeologico e geotecnico, nonché tutte le informazioni necessarie a determinare il comportamento dei terreni su cui si svilupperà l'opera in progetto.

La predisposizione del piano di indagini è stata preceduta dall'analisi della campagna, esaminando la tipologia, il numero e l'ubicazione delle indagini, in modo da verificare la copertura delle aree di progetto. Sono stati, inoltre, effettuati sopralluoghi e studi preliminari delle interferenze, in modo da ottimizzare l'ubicazione delle indagini, anche in base ai tipi di interventi da realizzare.

Nello specifico sono state realizzate le seguenti indagini nella campagna di indagini definitiva ed esecutiva:

Indagini Geognostiche:

- n° 1 Sondaggio Geognostico a carotaggio continuo nei primi 20 m e successivamente a distruzione di nucleo fino a 40 m di profondità ed attrezzato con tubo in pvc per l'esecuzione della prova sismica in foro del tipo Down Hole, S3 (40,00 m);
- n° 2 Sondaggi Geognostici a carotaggio continuo; S1 (15,00 m) S2 (15,00 m);
- n° 6 prove SPT in foro, di cui n°3 prove nel foro di sondaggio S2 e n°3 prove nel foro del sondaggio S3.
- *Indagini Geofisiche:*
 - n° 5 Prospezioni Sismiche a Rifrazione;
 - n° 5 Misure HVSR a stazione singola;
 - n° 1 Sismica in foro del tipo Down Hole (DH);
- *Prove di laboratorio:*
 - n° 22 Determinazione del peso specifico apparente su litotipi rocciosi;
 - n° 27 Prove Point Load su litotipi rocciosi

Le indagini sono state eseguite secondo le specifiche tecniche fornite all'impresa esecutrice ed ai tecnici che hanno eseguito le prove in sito e di laboratorio e l'intera campagna di indagini che ne hanno accertato la corretta esecuzione e quando necessario deciso le opportune variazioni rispetto a quanto inizialmente pianificato.

Tutte le indagini sono state eseguite in ottemperanza alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" dell'Associazione Geotecnica Italiana (1977).

Nelle pagine seguenti, sono esposte sinteticamente le modalità operative ed i risultati ottenuti,

2. INDAGINI GEOGNOSTICHE

2.1. Sondaggi Geognostici

I sondaggi sono stati finalizzati alla ricostruzione del profilo litostratigrafico ed alla determinazione delle caratteristiche geotecniche, sismiche e idrogeologiche dei terreni. Nel corso dei sondaggi a carotaggio sono state eseguite prove in foro tipo Standard Penetration Test (SPT) per la definizione delle caratteristiche geotecniche.

Durante la campagna di indagini sono stati eseguiti n.2 fori di sondaggio a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 15 m ciascuno e n 1 foro di sondaggio dove i primi 20 m si è proceduto a carotaggio continuo ed i successivi 20 m a distruzione di nucleo per un totale di 40 m di perforazione.

All'interno dei sondaggio S1 ed S2 (profondità 15,00) non è stata installata alcuna strumentazione; mentre il sondaggio S3 (profondità 40,00 m) è stato attrezzato per sismica in foro del tipo Down Hole.

Mentre

Le caratteristiche tecniche dei sondaggi sono riassunte nella tabella seguente:

Sigla	Carotaggio Continuo	Carotaggio a distruzione	Prove SPT in foro	Installazioni
S1	15,00	-	-	-
S2	15,00	-	3	-
S3	20,00	20,00	3	DH

Tabella 2-1 Tabella riassuntiva sondaggi geognostici

L'interpretazione stratigrafica dei sondaggi viene di seguito riportata:

Sondaggio S1

- 0,00 m – 1,00 m Conglomerato cementizio appartenete al sottofondo stradale;
- 1,00 m – 8,00 m Metamorfiti fortemente alterate e fratturate, di colore grigio chiaro;
- 8,00 m – 15,00 m Metamorfiti debolmente alterate e fortemente fratturate, di colore grigio chiaro.

Sondaggio S2:

- 0,00 m - 0,50 m Blocchi di basalto appartenenti alla viabilità del molo;
- 0,50 m - 2,50 m Conglomerato cementizio appartenete al sottofondo stradale;
- 2,50 m - 7,00 m Metamorfiti fortemente alterate e fratturate, di colore grigio chiaro;
- 7,00 m - 15,00 m Metamorfiti debolmente alterate e fortemente fratturate, di colore grigio chiaro.

Sondaggio S3:

- 0,00 m - 0,50 m Blocchi di basalto appartenenti alla viabilità del molo;
- 0,50 m - 10,00 m Blocchi di cemento appartenete alla formazione del molo;
- 10,00 m - 16,00 m Conglomerato cementizio con presenza di grossi ciottoli spigolosi, di colore grigio chiaro
- 16,00 m – 20,00 m Metamorfiti fortemente alterate e fratturate, di colore grigio chiaro;
- 20,00 m – 40,00 m Perforazione a distruzione di nucleo, effettuata su materiali lapidei fratturati, di colore grigio chiaro.

2.2. Prove Standard penetration test (SPT)

Per effettuare le prove S.P.T. in foro è stato utilizzato un penetrometro dinamico standard che consente di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di una punta infissa a partire dal fondo del foro di sondaggio, ove la resistenza è funzione delle caratteristiche meccaniche del terreno; le prove S.P.T. sono state eseguite secondo le modalità standard suggerite dall'A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana) ed hanno fornito i dati necessari per determinare le caratteristiche meccaniche dei terreni; la prova consiste nel far cadere un maglio, del peso di 63,5 kg, da una altezza di 762 mm., su una testa di battuta fissata alla sommità di batterie di aste alla cui estremità inferiore è avvitata la punta di dimensioni standardizzate (punta conica di diametro pari a 5 cm). Il numero di colpi (N) necessario per la penetrazione della punta pari a 300 mm. (dopo l'eventuale penetrazione quasi statica per gravità e dopo 150 mm di immissione dinamica per il posizionamento) è il dato assunto come indice di resistenza alla penetrazione. La prova è stata effettuata a punta chiusa, a causa della natura dei terreni.

La correlazione fra prova a punta chiusa e prova a punta aperta (che fornisce i valori di N_{spt}) non è ben delineata in letteratura, e generalmente si ammette che i valori ottenuti tramite la prova a punta chiusa sono superiori da 1,5 a 3 volte rispetto a quelli ottenuti con la punta aperta.

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Sono state eseguite in totale n° 3 prove S.P.T. nel foro S2, e n° 3 prove S.P.T. nel foro S3;
I risultati sono riportati nella tabella in basso.

Sondaggio	Profondità dal p.c.	Colpi (ogni 15 cm)	NSPT
S2	2,00-2,45	29-33-45	78
	4,00-4,45	36-39-43	82
	6,00-6,39	39-39-R/6cm	
S3	8,00-8,05	R/4cm	
	14,00-14,05	R/5cm	
	16,50-16,57	R/7cm	

Tabella 2-2 Tabelle riepilogative prove SPT sondaggi geognostici

2.2.1. S2 SPT 2,00-2,45

Di seguito si riporta l'elaborazione della rispettiva prova

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
72,228	2,45	72,228	47,64	40,64	48,22	34,56	41,83	42	>38	47,92	48,67	35,23	53,01

Peso unità di volume

NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
72,228	2,45	Terzaghi-Peck 1948	1,95

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

2.2.2. S2 SPT 4,00- 4,45

Di seguito si riporta l'elaborazione della rispettiva prova

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
82	4,45	82	50,43	43,43	50,96	33,41	40,29	42	>38	50,07	51,6	35,71	55,5

Peso unità di volume

NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
82	4,45	Terzaghi-Peck 1948	1,97

3. PROVE DI LABORATORIO

Le prove di laboratorio svolte sono state eseguite su spezzoni di carote prelevati all'interno delle cassette catalogatrici ed all'interno della formazione delle metamorfiti.

In particolare, sono stati prelevati n° 22 campioni, sui quali sono state eseguite le determinazioni del peso specifico apparente su litotipi rocciosi, mentre per altri 27 campioni sono state eseguite prove di Point Load.

Di seguito sono sintetizzate le profondità di prelievo dei campioni prelevati e le relative densità apparenti

N°	Sondaggio	Quota dal p.c. [m]	Densità apparente ρ [Mg/m ³]
26	1	2,00 ÷ 3,50	2,82
13	2	7,00 ÷ 8,00	2,67
16	2	7,00 ÷ 8,00	2,82
17	2	10,00 ÷ 11,00	2,80
20	2	10,00 ÷ 11,00	2,84
21	2	12,00 ÷ 13,00	2,60
23	2	13,00 ÷ 14,00	2,79
41	3	16,00 ÷ 17,00	2,80
43	3	17,00 ÷ 18,00	2,58
44	3	17,00 ÷ 18,00	2,64
45	3	17,00 ÷ 18,00	2,62
47	3	19,00 ÷ 20,00	2,77
48	3	19,00 ÷ 20,00	2,80
31	1	5,00 ÷ 6,50	2,57
34	1	8,00 ÷ 9,00	2,69
36	1	10,50 ÷ 12,00	2,84
37	1	12,00 ÷ 13,50	2,67
4	2	4,00 ÷ 5,00	2,61
5	2	4,00 ÷ 5,00	2,62
8	2	5,00 ÷ 6,00	2,70
9	2	5,00 ÷ 6,00	2,66
10	2	6,00 ÷ 7,00	2,63

Tabella 3-1 Tabella riepilogativa dati di laboratorio

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per maggiori dettagli sulle prove di laboratorio si vedano i "Report prove di laboratorio".

Di seguito sono sintetizzate le profondità di prelievo dei campioni prelevati ed i risultati delle prove point load

3.1. Sondaggio: S1

N°	Quota (m)	Tipo	W (mm)	D (mm)	P (kN)	De	De (mm)	IS	F	IS (50)
25	1,00-2,00	i ⊥	40,1	41,0	6,152	2094,39	45,8	2,94	0,96	2,82
26	2,00-3,50	d	-	82,4	11,297	6789,76	82,4	1,66	1,25	2,08
28	2,00-3,50	i ⊥	60,5	55,2	10,611	4250,75	65,2	2,50	1,13	2,81
31	5,00-6,50	i ⊥	77,4	59,0	16,923	5813,57	76,2	2,91	1,21	3,52
33	6,50-8,00	i ⊥	58,6	43,6	7,235	3251,95	57,0	2,22	1,06	2,36
34	8,00-9,00	i ⊥	48,1	45,0	10,543	2754,46	52,5	3,83	1,02	3,91
35	10,50-12,00	i ⊥	59,9	54,6	13,602	4166,29	64,5	3,26	1,12	3,66
36	10,50-12,00	i ⊥	52,0	49,0	8,652	3245,86	57,0	2,67	1,06	2,83
37	12,00-13,50	i ⊥	53,0	42,0	8,102	2835,67	53,3	2,86	1,03	2,94

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

- d = prova diametrale
- a = prova assiale
- b = prova su blocco
- i = prova su pezzi irregolari
- ⊥ = perpendicolare ai piani di debolezza
- || = parallela ai piani di debolezza

IS (50) ⊥ medio	3,10
IS (50) medio	2,08
la (50)	1,49

3.2. Sondaggio: S2

N°	Quota (m)	Tipo	W (mm)	D (mm)	P (kN)	De	De (mm)	IS	F	IS (50)
2	4,00-5,00	i ⊥	42,7	39,6	8,593	2154,04	46,4	3,99	0,97	3,86
4	4,00-5,00	i ⊥	57,4	51,1	13,603	3736,48	61,1	3,64	1,09	3,99
5	4,00-5,00	i ⊥	61,6	44,8	12,601	3512,66	59,3	3,59	1,08	3,87
6	4,00-5,00	i ⊥	59,5	50,0	13,454	3789,81	61,6	3,55	1,10	3,90
7	4,00-5,00	i ⊥	44,2	40,0	8,542	2249,68	47,4	3,80	0,98	3,71
8	5,00-6,00	i ⊥	48,7	35,0	8,402	2169,11	46,6	3,87	0,97	3,75
9	5,00-6,00	i ⊥	69,6	38,4	11,354	3404,64	58,3	3,33	1,07	3,57
10	6,00-7,00	i ⊥	53,2	49,2	11,353	3331,18	57,7	3,41	1,07	3,64

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

N°	Quota (m)	Tipo	W (mm)	D (mm)	P (kN)	De	De (mm)	IS	F	IS (50)
11	6,00-7,00	i ⊥	76,6	45,4	15,402	4427,22	66,5	3,48	1,14	3,96
13	7,00-8,00	d	-	82,4	13,953	6789,76	82,4	2,06	1,25	2,57
15	7,00-8,00	i ⊥	65,2	41,8	8,651	3471,80	58,9	2,49	1,08	2,68
16	7,00-8,00	d	-	83,0	17,403	6889,00	83,0	2,53	1,26	3,17
17	10,00-11,00	d	-	82,6	15,803	6822,76	82,6	2,32	1,25	2,90
18	10,00-11,00	i ⊥	51,9	43,1	10,503	2849,54	53,4	3,69	1,03	3,80
19	11,00-12,00	i ⊥	64,8	40,3	12,854	3326,68	57,7	3,86	1,07	4,12
20	12,00-13,00	d	-	80,0	17,700	6400,00	80,0	2,77	1,24	3,42
21	12,00-13,00	d	-	82,6	13,903	6822,76	82,6	2,04	1,25	2,55
22	13,00-14,00	i ⊥	60,85	59,6	13,503	4619,95	68,0	2,92	1,15	3,36
23	13,00-14,00	d	-	82,5	11,604	6806,25	82,5	1,70	1,25	2,14
24	14,00-15,00	i ⊥	64,55	57,0	13,501	4687,07	68,5	2,88	1,15	3,32

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

- d = prova diametrale
- a = prova assiale
- b = prova su blocco
- i = prova su pezzi irregolari
- ⊥ = perpendicolare ai piani di debolezza
- || = parallela ai piani di debolezza

<i>IS (50) ⊥ medio</i>	3,67
<i>IS (50) medio</i>	2,80
<i>Ia (50)</i>	1,31

3.3. Sondaggio: S3

N°	Quota (m)	Tipo	W (mm)	D (mm)	P (kN)	De	De (mm)	IS	F	IS (50)
41	16,00-17,00	d	-	82,6	17,652	6822,76	82,6	2,59	1,25	3,24
42	16,00-17,00	i ⊥	47,1	36,0	8,502	2157,71	46,5	3,94	0,97	3,81
43	17,00-18,00	d	-	82,4	20,151	6789,76	82,4	2,97	1,25	3,72
44	17,00-18,00	d	-	82,5	16,404	6806,25	82,5	2,41	1,25	3,02
45	17,00-18,00	d	-	82,5	15,903	6806,25	82,5	2,34	1,25	2,93
47	19,00-20,00	d	-	81,9	14,903	6707,61	81,9	2,22	1,25	2,77
48	19,00-20,00	d	-	82,4	20,303	6789,76	82,4	2,99	1,25	3,74

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

d = prova diametrale

a = prova assiale

b = prova su blocco

i = prova su pezzi irregolari

⊥ = perpendicolare ai piani di debolezza

|| = parallela ai piani di debolezza

<i>IS (50) ⊥ medio</i>	<i>3,81</i>
<i>IS (50) medio</i>	<i>3,34</i>
<i>Ia (50)</i>	<i>1,14</i>

4. INDAGINI GEOFISICHE

Le indagini eseguite sono state finalizzate a definire l'assetto litologico del sito nel suo complesso, avendo come obiettivo la ricostruzione dei rapporti tra i diversi terreni presenti. A tale scopo sono state realizzate quattro prospezioni sismica con metodo "a rifrazione" con elaborazione tomografica, quattro misure HVSR a stazione singola ed una sismica in foro (sondaggio S3) di tipo Down Hole.

4.1. Sismica a rifrazione con elaborazione tomografica

Nella prospezione sismica a rifrazione si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione"), per determinare spessori e andamento dei livelli presenti. La prospezione consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia e nel misurare il tempo impiegato da questa a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino agli apparecchi di ricezione (geofoni) seguendo le leggi di rifrazione dell'ottica (Legge di Snell), cioè rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente. L'apparecchiatura necessaria per le prospezioni è costituita da una serie di ricevitori (geofoni) che vengono spazati lungo un determinato allineamento (base sismica) e da un sismografo che registra l'istante di inizio della perturbazione elastica ed i tempi di primo arrivo delle onde a ciascun geofono. Così, osservando i primi arrivi su punti posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, è possibile costruire una curva tempo-distanza (dromocrona) rappresentante la variazione del minimo percorso in funzione del tempo. Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (V_p) o trasversali (V_s) dei mezzi attraversati ed il loro spessore. La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti; per lo stesso tipo di roccia essa diminuisce col grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione; aumenta per contro con la profondità e l'età geologica. Sensibili differenze si possono avere, in rocce stratificate, tra le velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi. La velocità delle onde compressionali, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e dal grado di saturazione.

La digitalizzazione dei segnali sismici è stata realizzata mediante l'utilizzo di un sismografo modulare *Geometrics Geode* a 24 canali, con conversione analogico-digitale a 24 bit, avente le seguenti caratteristiche principali:

Per il rilievo della velocità del moto del suolo in superficie sono stati utilizzati geofoni con frequenza di oscillazione di 10 Hz.

Le differenze elastiche dovute alle frequenti variazioni litologiche, determinano variazioni di velocità delle onde sismiche con gradienti spesso molto elevati, sia in senso verticale che laterale.

La prospezione sismica è stata realizzata a 24 canali d'acquisizione, adottando una spaziatura intergeofonica di 2.5 m nello stendimento A-A', di 5 m nello stendimento B-B' e di 3 mt negli stendimenti C-C' D-D' ed E-E'. E' stato effettuato un congruo numero di punti di energizzazione (shots), per la cui precisa ubicazione si rimanda al modello di velocità allegato. Per meglio apprezzare le variazioni laterali di velocità è stata eseguita un'elaborazione tomografica tramite un processo d'*inversione* dei dati (WET).

4.1.1. Interpretazione stendimento a-a'

S'individua un orizzonte sismico superficiale, che si assottiglia nella parte centrale del modello, dove si registrano velocità delle onde di compressione inferiori ai 1.765 m/sec, riferibili alle strutture cementizie della banchina. Nel sismostrato sottostante le velocità delle onde P variano fra 2.000 e 4204 m/sec, e sono riferibili a trovanti e blocchi metamorfici in matrice cementizia. Nella parte terminale del modello si riscontra un ulteriore aumento di velocità delle onde longitudinali (Vp), che sembra indicare la presenza di metamorfiti alterate e fratturate. In sintesi la sismostratigrafia è la seguente

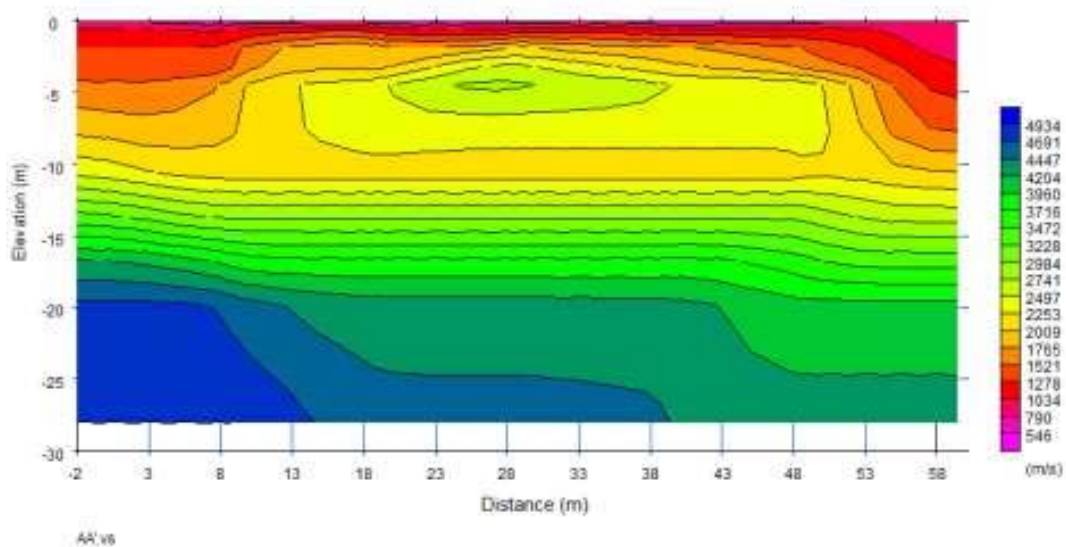


Figura 4-1 Sismostratigrafia stendimento A-A'

4.1.2. Interpretazione stendimento b-b'

S'individua un orizzonte sismico superficiale, con uno spessore pressoché costante, dove si registrano velocità delle onde di compressione inferiori ai 1.855 m/sec, riferibili alle strutture cementizie della banchina. Nel sismostrato sottostante le velocità delle onde P variano fra 2.116 e 4467 m/sec, e sono riferibili alle metamorfiti alterate e fratturate. Nella parte terminale del modello si riscontra un ulteriore aumento di velocità delle onde longitudinali (Vp), che sembra indicare la presenza di metamorfiti debolmente fratturate.

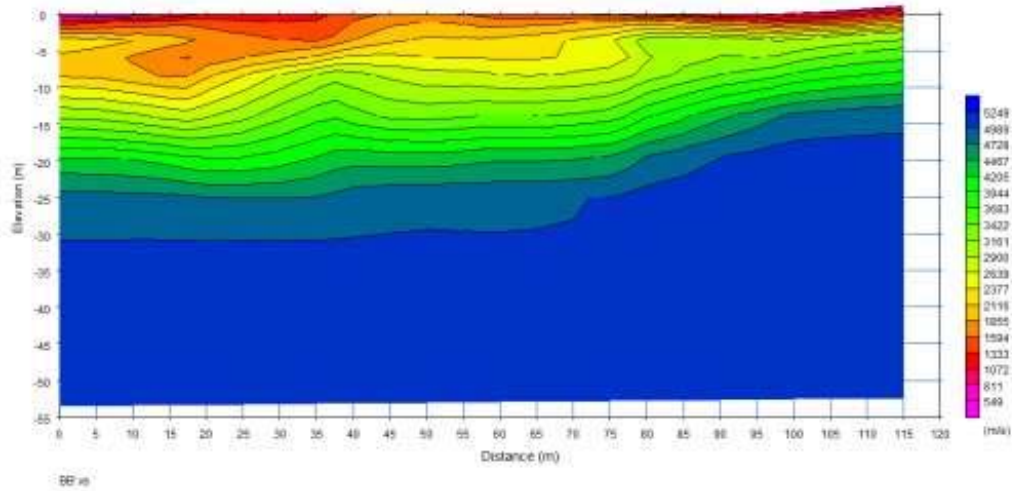


Figura 4-2 Sismostratigrafia standimento B-B'

4.1.3. Interpretazione standimento c-c'

S'individua un orizzonte sismico superficiale, avente uno spessore massimo pari a 2.5 m, dove si registrano velocità delle onde di compressione inferiori ai 1.896 m/sec, riferibili alla viabilità. Nel sismostrato sottostante le velocità delle onde P variano fra 2.144 e 4380 m/sec, e sono riferibili a metamorfite alterate e fratturate. Nella parte terminale del modello si riscontra un ulteriore aumento di velocità delle onde longitudinali (V_p), che sembra indicare la presenza di metamorfite debolmente fratturate.

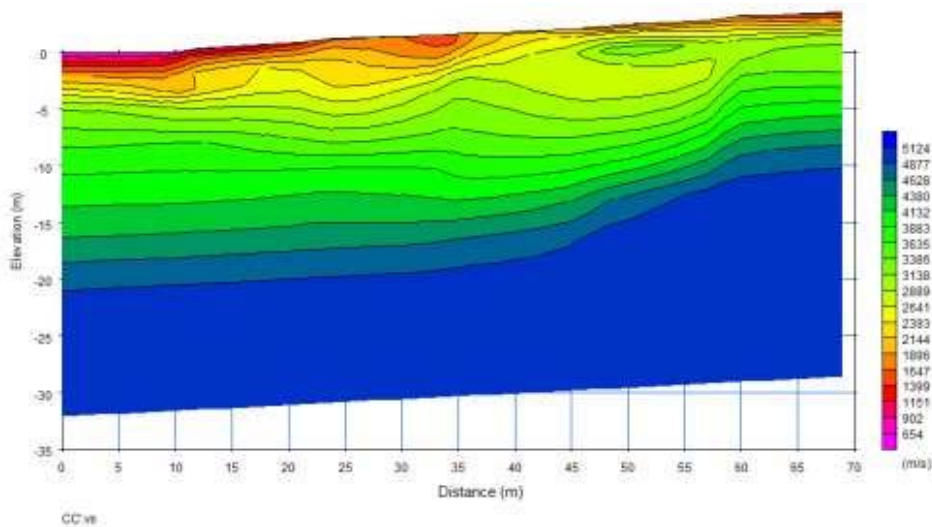


Figura 4-3 Sismostratigrafia standimento C-C'

4.1.4. Interpretazione stendimento d-d'

S'individua un orizzonte sismico superficiale, avente uno spessore costante pari a circa 2.5 m, dove si registrano velocità delle onde di compressione inferiori ai 1.815 m/sec, riferibili alla viabilità. Nel sismostrato sottostante le velocità delle onde P variano fra 2.046 e 4355 m/sec, e sono riferibili a metamorfiti alterate e fratturate. Nella parte terminale del modello si riscontra un ulteriore aumento di velocità delle onde longitudinali (V_p), che sembra indicare la presenza di metamorfiti debolmente fratturate.

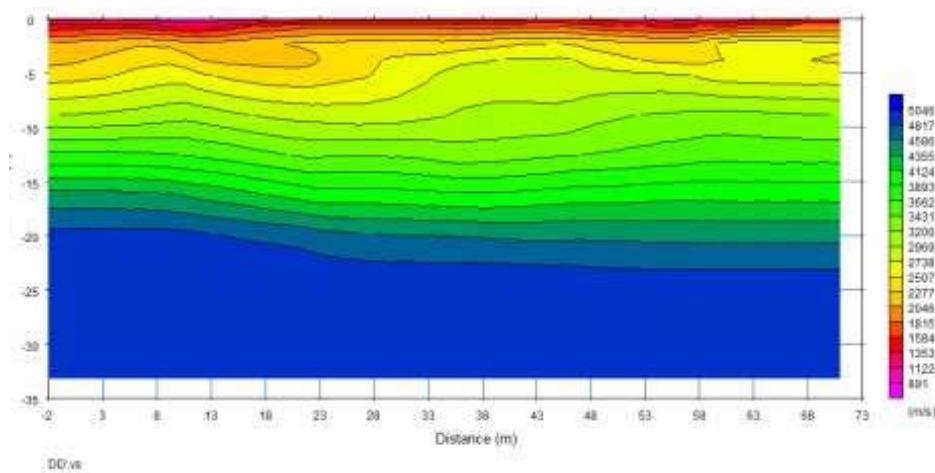


Figura 4-4 Sismostratigrafia stendimento D-D'

4.1.5. Interpretazione stendimento e-e'

S'individua un orizzonte sismico superficiale, avente uno spessore costante pari a circa 2.0 m, dove si registrano velocità delle onde di compressione inferiori ai 1.835 m/sec, riferibili alla viabilità. Nel sismostrato sottostante le velocità delle onde P variano fra 2.061 e 4548 m/sec, e sono riferibili a metamorfiti alterate e fratturate. Nella parte terminale del modello si riscontra un ulteriore aumento di velocità delle onde longitudinali (V_p), che sembra indicare la presenza di metamorfiti debolmente fratturate.

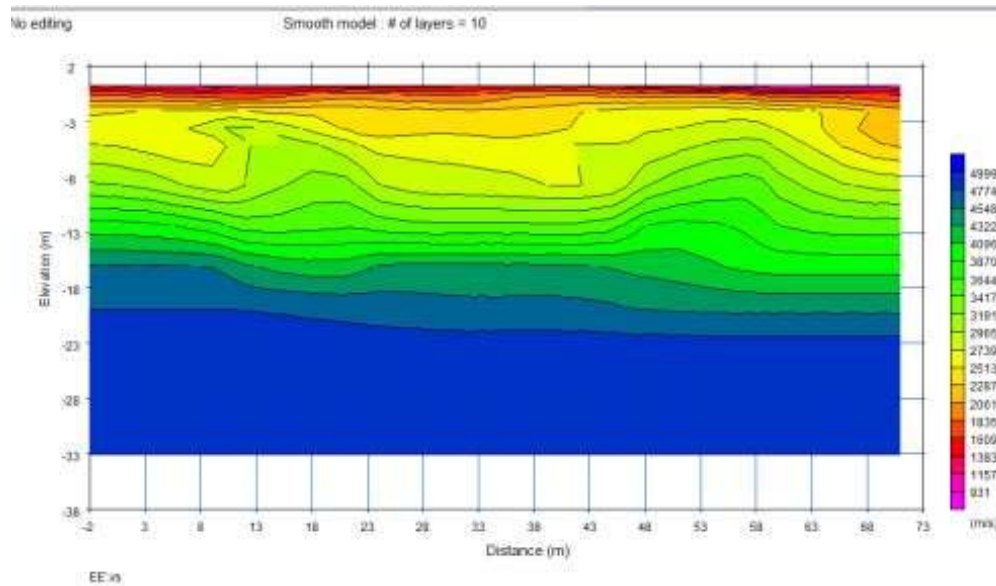


Figura 4-5 Sismostratigrafia stendimento E-E'

4.2. HVSR a stazione singola

L'indagine HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è una tecnica di indagine di sismica passiva a stazione singola, finalizzata a determinare alcune caratteristiche dei depositi sedimentari superficiali e più in particolare allo studio delle frequenze di risonanza dei terreni, caratteristica molto importante per valutare gli effetti di sito in presenza di potenziali eventi sismici, per la stima delle $V_{s_{eq}}$ e determinazione della categoria sismica e la stima della profondità delle discontinuità del substrato. La metodologia in esame, chiamata anche tecnica Nakamura (1989), è stata introdotta da Nogoshi e Igarashi (1971) sulla base di studi precedenti. Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito. La tecnica proposta da Nakamura assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sovrastante su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

L'elaborazione dei dati raccolti ha impiegato un *software* in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (*Site EffectS assessment using Ambient Excitations*, 2005). Il *processing* dei dati verte sul rapporto spettrale tra il segnale del sensore verticale e quelli orizzontali operando su finestre di selezione del segnale (non meno di 10 per un segnale complessivo utile non inferiore a 200-400 secondi).

I principali passi del *processing* sono i seguenti:

1. FFT (incluso il *tapering*);

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

2. operatore di smoothing (Konno & Ohmachi);
3. *merging* dei componenti orizzontali;
4. *H/V Spectral Ratio* per ogni finestra utilizzata (>10);
5. media degli spettri H/V;
6. valutazione della deviazione *standard*.

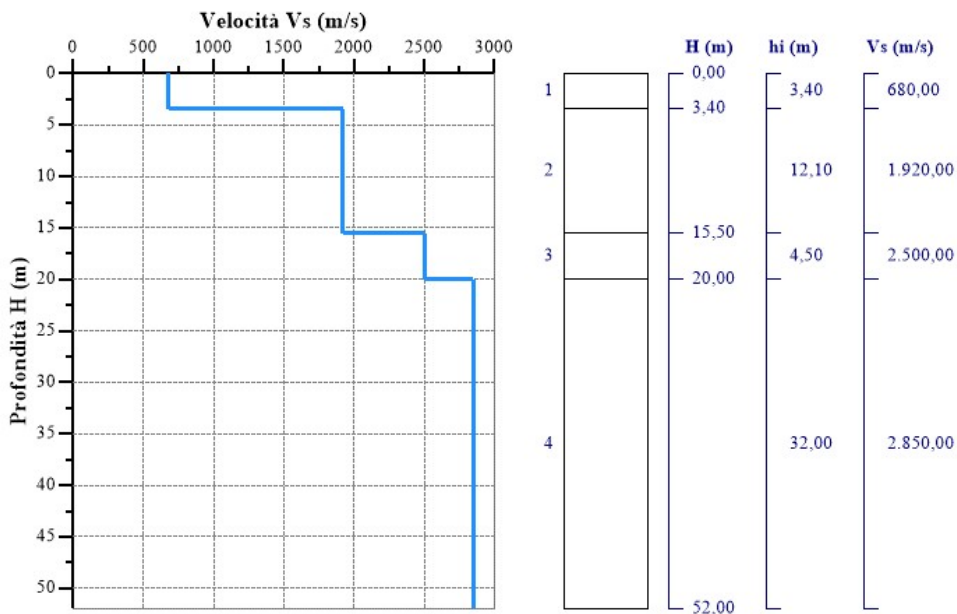
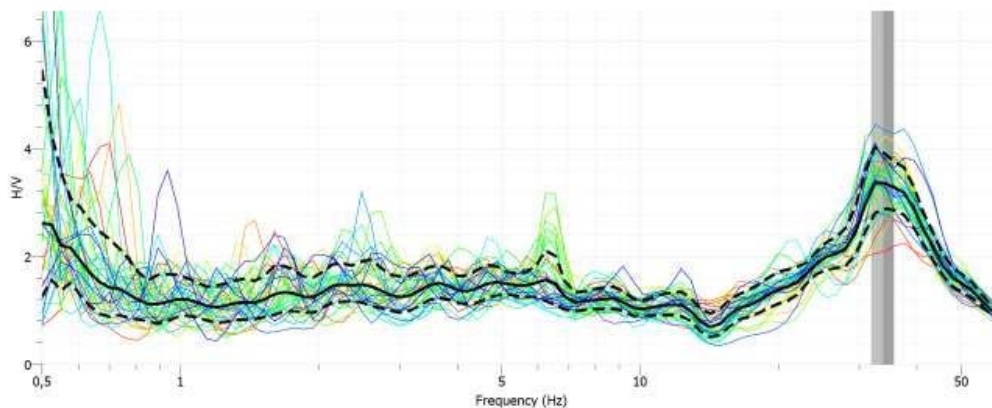
Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V delle varie componenti indicando il massimo del rapporto HVSR nel valore di f_0 – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

La strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo GEOBOX della SARA electronic instruments, dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati sul piano orizzontale (N-S e E-W) e sul piano verticale (Up-Down).

Le misure eseguite in totale sono state quattro

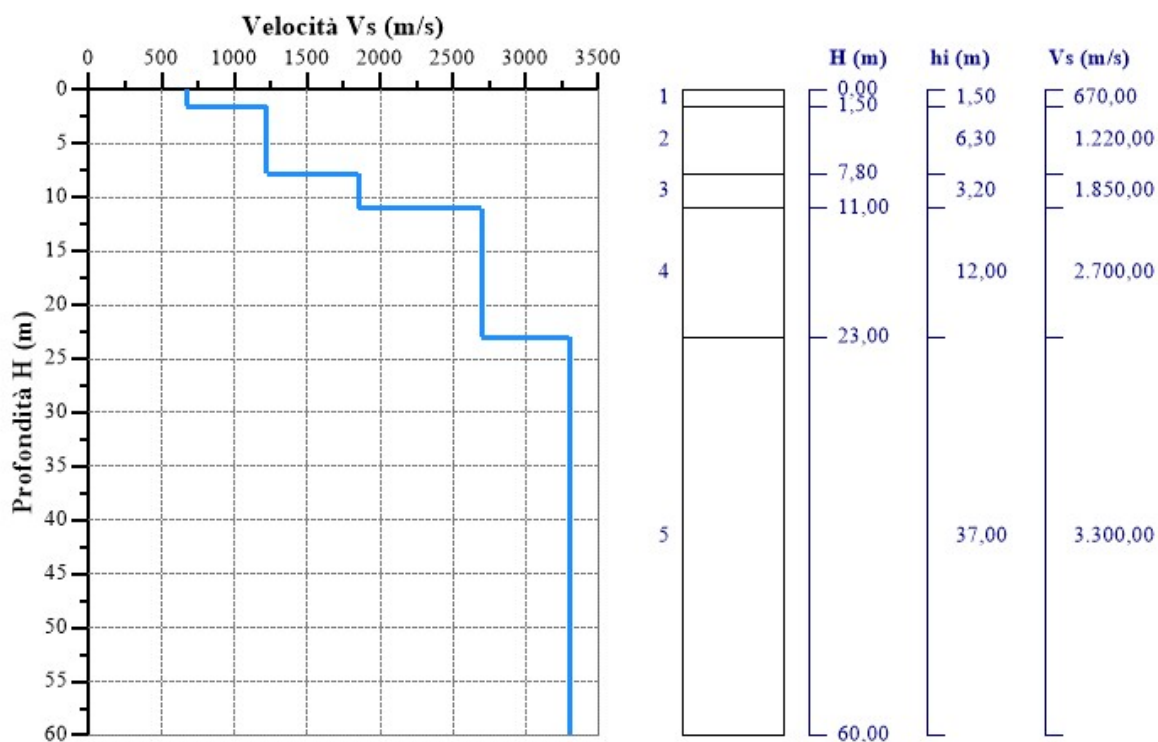
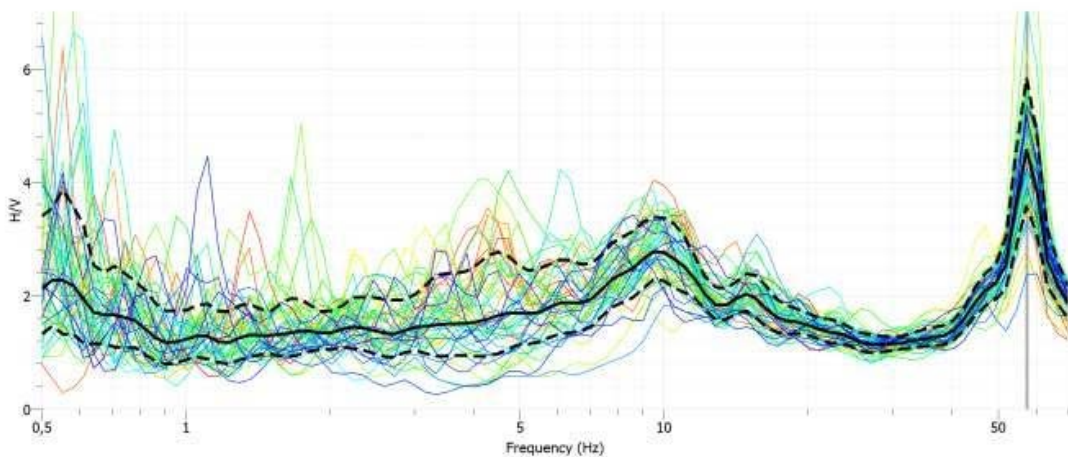
4.2.1. *hvsr 1*

Di seguito vengono esposte le principali risultanze ottenute dall'elaborazione svolta



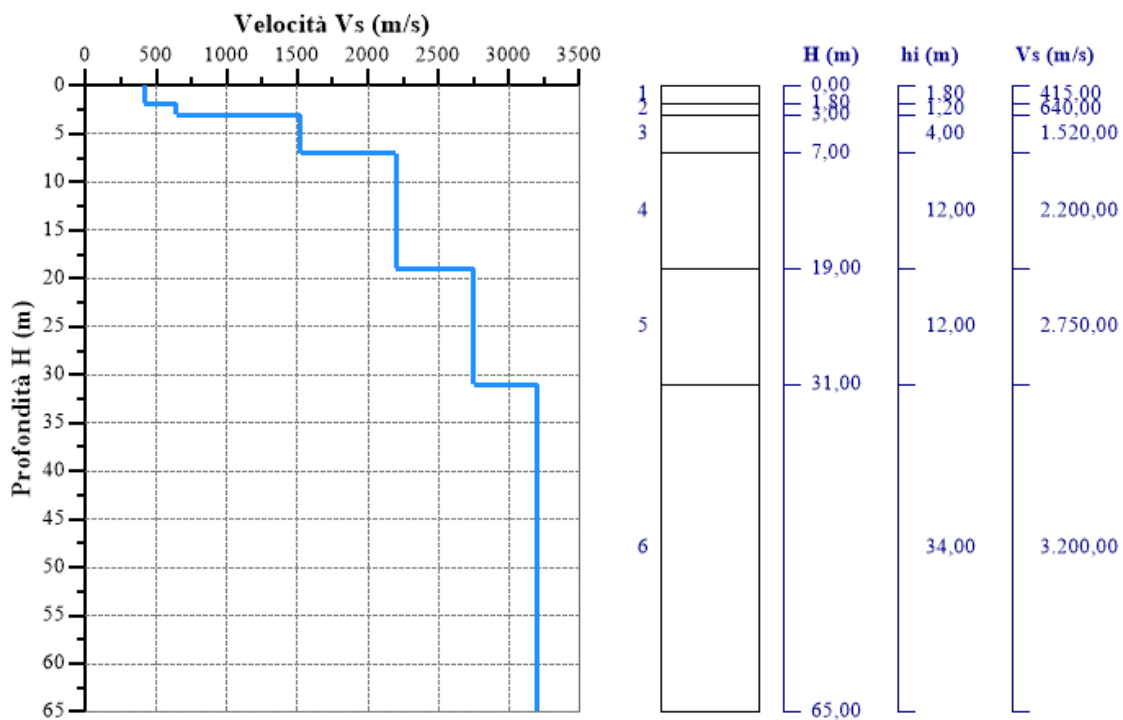
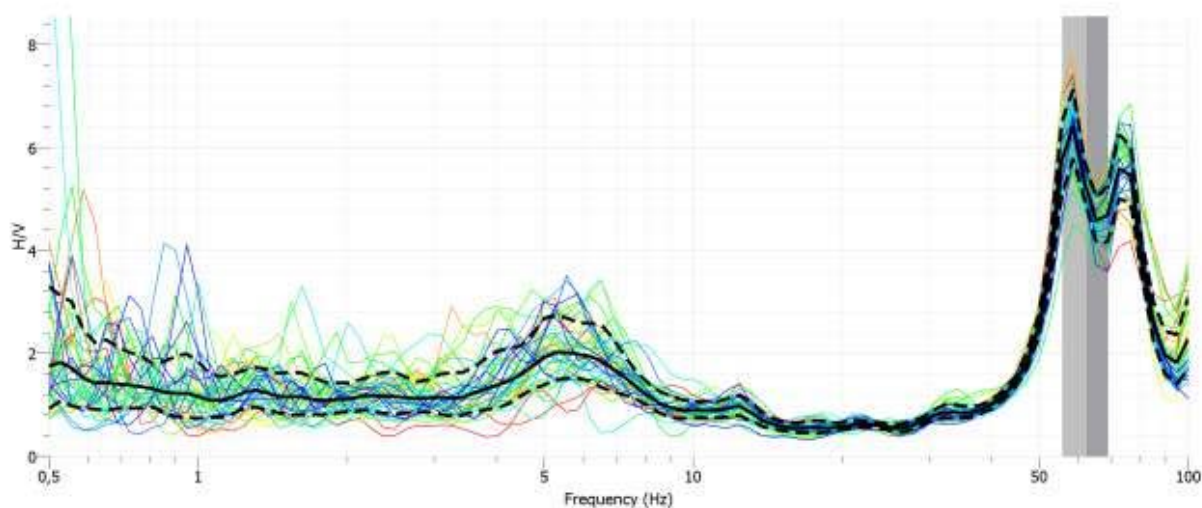
4.2.2. *hvsr 2*

Di seguito vengono esposte le principali risultanze ottenute dall'elaborazione svolta



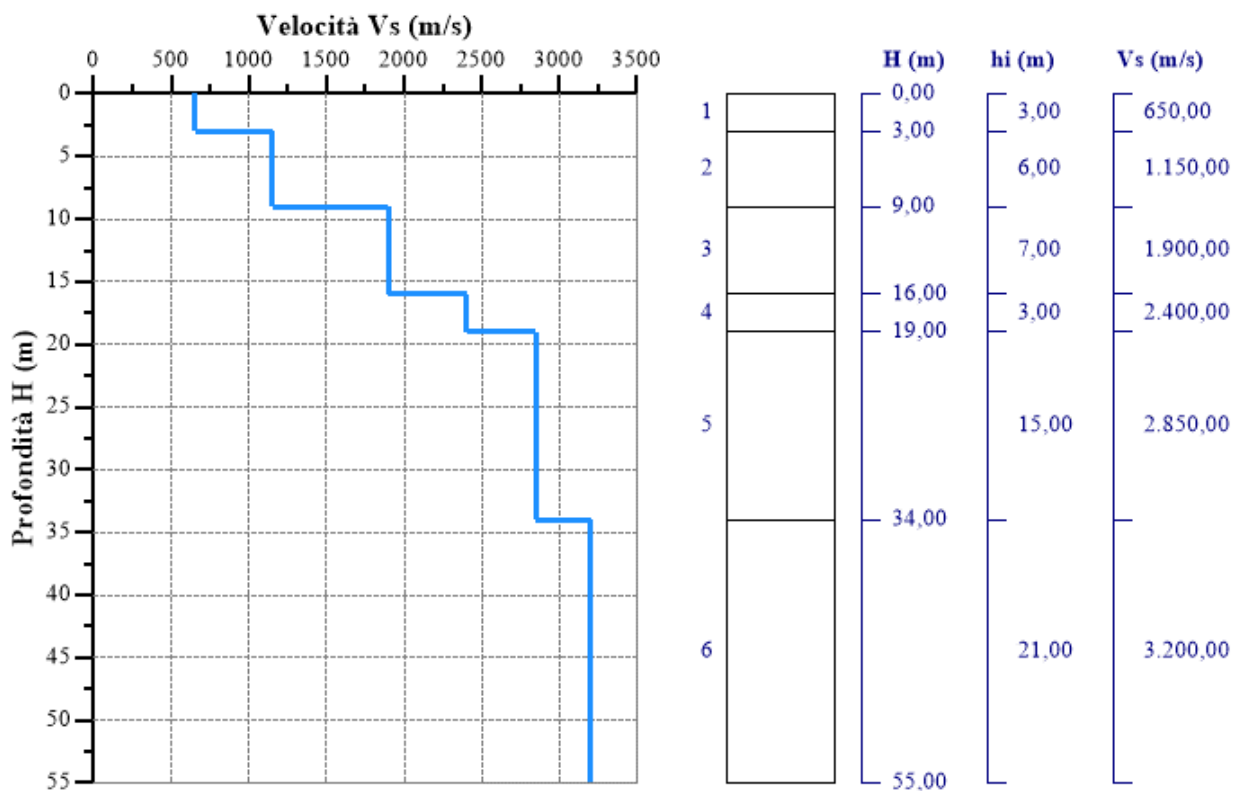
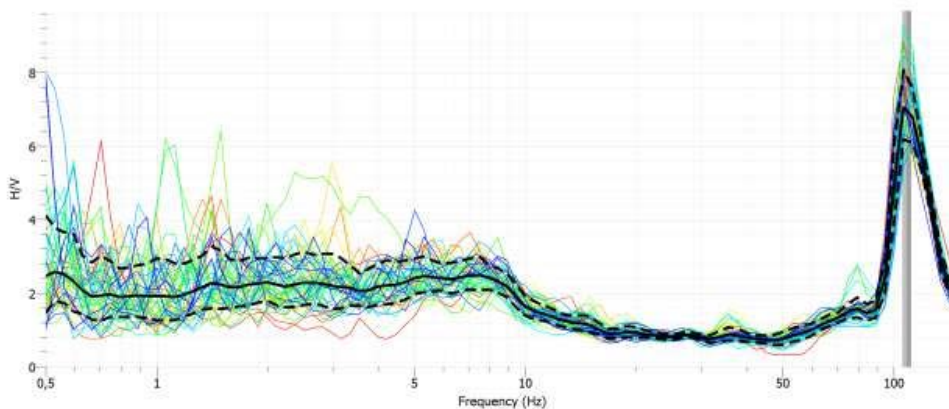
4.2.3. *hvsr 3*

Di seguito vengono esposte le principali risultanze ottenute dall'elaborazione svolta



4.2.4. *hvsr 4*

Di seguito vengono esposte le principali risultanze ottenute dall'elaborazione svolta



4.3. Sismica in foro down-hole

L'indagine geofisica in foro di sondaggio S3 attrezzato down-hole è finalizzato alla determinazione della categoria di sottosuolo.

Le indagini in foro di tipo Down-Hole permettono di individuare il profilo verticale della velocità delle onde sismiche longitudinali (V_p) e trasversali (V_s). Le componenti indispensabili per una misura accurata dei valori di velocità sono rappresentate da una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche ricche di energia che si propagano in tutte le direzioni, un ricevitore tridimensionale dotato di un sistema di ancoraggio al foro di sondaggio, un sistema di acquisizione multicanale ed un trasduttore alloggiato nella sorgente (trigger), necessario per l'identificazione del T0 (istante di partenza della sollecitazione dinamica). Dopo aver opportunamente predisposto il piano d'appoggio, la sorgente (piastra di alluminio) è collocata sul terreno ad una distanza dal foro che può variare tra 1,50 e 2,50 m, il ricevitore viene calato ed assicurato alle pareti del tubo di rivestimento ed a questo punto viene colpita la piastra a mezzo massa battente, in modo da generare impulsi di compressione (onde P) e di taglio (onde S); eseguite tutte le registrazioni necessarie, la profondità del ricevitore viene modificata e la procedura sperimentale ripetuta. Si acquisiscono i tempi di arrivo dei due tipi di onde (T_p e T_s) e si ha la possibilità di determinare le velocità verticali (V_p e V_s) ed i moduli elastici dei litotipi incontrati nella perforazione. Per l'analisi delle misure, i tempi di viaggio (T), misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore, vengono inizialmente corretti per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde. Al fine di valutare i valori di velocità delle onde elastiche di compressione e di taglio, nel presente lavoro è stata utilizzata l'interpretazione con il metodo diretto. E' necessario evidenziare che l'ipotesi che i percorsi delle onde siano rettilinei e coincidenti con quelli che collegano la sorgente ai ricevitori non può essere considerata esatta in quanto, prima di giungere ai ricevitori, le onde possono subire fenomeni di rifrazione che ne modificano il percorso.

L'indagine sismica Down-Hole ha permesso di risalire al valore delle $V_{s,eq}$, calcolato secondo normativa, infatti, una volta ricavati i valori di V_s , è stata applicata la seguente relazione:

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

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

Le misure, eseguite ogni metro, hanno interessato tutta la lunghezza del foro 40,00 m. L'acquisizione dei dati è stata effettuata mediante sismografo modulare Geometrics Geode a 24 canali, con conversione analogico-digitale a 24 bit,

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati ottenuti dall'analisi della Down Hole:

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Intervali omogenei di velocità			Moduli elastici dinamici				
Intervalli misure	Vp m/sec	Vs m/sec	γ g/cmc	ν	E Mpa	G Mpa	K Mpa
0 - 2	1416	808	2.00	0.26	3288.08	1306.22	2270.4
2 - 16	2038	1181	2.40	0.25	8353.12	3349.28	5502.7
16 - 19	1690	894	2.20	0.31	4595.66	1760.23	3936.2
19 - 23	2444	1296	2.40	0.30	10520.95	4033.15	8960.5
23 - 29	1957	1054	2.20	0.30	6332.20	2443.03	5172.6
29 - 40	2726	1529	2.40	0.27	14262.23	5612.92	10356.6

Down Hole	V _{seq} (m/s)	Categoria di sottosuolo
S3	404	B

Tabella 4-1 Valori Vseq e categoria di sottosuolo Down Hole calcolati dal piano banchina porto

In funzione dei valori di Vseq ottenuti, secondo la classificazione stabilita dal Decreto del 17 gennaio 2018 – Norme Tecniche per le Costruzioni, i terreni costituenti il sottosuolo del sito oggetto delle indagini sismiche Down-Hole appartiene alla seguente categoria di sottosuolo **B**

B: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.



Figura 4-6 Foto ubicazione Down Hole

5. RILIEVO GEOMECCANICO

Tali indagini si sono rese necessarie al fine di conoscere dettagliatamente la successione stratigrafica del sito in esame, l'assetto geometrico e le caratteristiche geotecniche dei litotipi presenti nel volume significativo. A completamento della campagna di indagini è stato effettuato un rilievo geomeccanico della porzione bassa della rupe di Scilla, comprendente un fronte di 100 mt parallelo alla viabilità per un'altezza massima di 2 mt dalla quota stradale.

La caratterizzazione geomeccanica è stata eseguita mediante i parametri valutati e codificati dall'ISRM (1978) che prevede la descrizione dei sistemi di discontinuità prima di procedere all'individuazione delle volumetrie unitarie ed alla classificazione geomeccanica con le conseguenti valutazioni delle condizioni di stabilità. I parametri geomeccanici che il metodo ISRM prende in considerazione sono:

- Orientazione,
- Spaziatura,
- Persistenza,
- Indice di rugosità JRC,
- Apertura,
- Tipo di riempimento,
- Tipo di discontinuità,
- Condizione idraulica,
- Alterazione delle superfici dei giunti.

Per ogni stop geomeccanico eseguito è stata ricavata una classificazione geomeccanica utilizzando i metodi comunemente impiegati e riconosciuti (Bieniawski e Barton) dalle cui correlazioni si possono ottenere vari parametri di resistenza e deformabilità dell'ammasso roccioso confrontabili con le prove geognostiche.

La classificazione geomeccanica di Bieniawski prende in considerazione sei parametri:

- 1) *resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta;*
- 2) *RQD (Rock Quality Designation);*
- 3) *spaziatura delle discontinuità;*
- 4) *condizioni delle discontinuità;*
- 5) *condizioni dell'acqua di falda;*
- 6) *orientazione delle discontinuità.*

Ad ognuno dei primi cinque parametri viene attribuito un punteggio, che è massimo per le rocce di migliore qualità. Il punteggio massimo è diverso per ogni parametro, denotando la maggior importanza di alcuni parametri rispetto ad altri nel descrivere il comportamento dell'ammasso roccioso e, quindi, la sua qualità geomeccanica. In particolare, la spaziatura delle discontinuità risulta molto importante perché incide direttamente per il 20 % sull'RMR, ed indirettamente influenzando l'RQD per un altro 15 %.

Alcuni importanti parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso possono essere stimati attraverso l'indice di classificazione RMR. Il modulo di deformazione è valutabile (in GPa) sia con la relazione di Bieniawski (valida solo per $RMR > 50$) $E = 2 \cdot RMR - 100$ oppure con la formulazione di Serafin-Pereira (valida per tutti i valori) $E = 10^{\wedge} [r_{mr} - 10/40]$. La stima della coesione e dell'angolo d'attrito viene effettuata in relazione alla

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

classe di roccia di appartenenza

Per ogni classe vengono riconosciuti i seguenti parametri:

- classe I (RMR=80-100, roccia molto buona): $c > 0,4$ MPa, $\phi > 45^\circ$;
- classe II (RMR=60-80, roccia buona): $c = 0,3-0,4$ MPa, $\phi = 35-45^\circ$;
- classe III (RMR=40-60, roccia mediocre): $c = 0,2-0,3$ MPa, $\phi = 25-35^\circ$;
- classe IV (RMR=20-40, roccia scadente): $c = 0,1-0,2$ MPa, $\phi = 15-25^\circ$;
- classe V (RMR=0-20, roccia molto scadente): $c < 0,1$ MPa, $\phi = < 15^\circ$.

All'interno della seguente tabella sono riportate le risultanze del rilievo geomeccanico eseguito ad ogni modo per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geomeccanica

Stazione di misura	RMR index (Bieniawski)	GSI index (Geological Strength Index)
2	27	52
3	15	40

Tabella 5-1 Sintesi delle classificazioni svolte al seguito del rilievo geomeccanico