

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J81H02000000001

S.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

PROGETTO DEFINITIVO

COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA - LA SPEZIA (PONTREMOLESE)

TRATTA PARMA - VICOFERTILE

INDAGINI GEOFISICHE

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I P 0 0 0 0 D 6 9 I G G E 0 0 0 5 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	T. Vicerzatto	Dicembre 2021	F. D'Alessandro	Dicembre 2021	G. Fadda	Dicembre 2021	M. Comedini Dicembre 2021
								 Dott. Geol. Massimo Comedini Ordine dei Geologi del Lazio n° 2103

File: IP0000D69IGGE0005001A

n. Elab.

INDICE

1	PREMESSA	3
2	METODOLOGIE DI INDAGINE.....	4
3	INDAGINE SISMICA CON METODO MASW ATTIVO.....	5
4	RISULTATI PROSPEZIONI MASW	7
4.1	MASW1	7
4.2	MASW2.....	14
4.3	MASW3.....	22
4.4	MASW4.....	30
4.5	MASW5.....	38
4.6	MASW6.....	45
4.7	MASW7	52
5	INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR	59
6	RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSR)	64
6.1	HVSR1	64
6.2	HVSR2	69
6.3	HVSR3	74
6.4	HVSR4	81
6.5	HVSR5	86
6.6	HVSR6	93
6.7	HVSR7	98
7	INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWN-HOLE.....	105
8	RISULTATI INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE.....	109
8.1	DH BH5.....	109

1 PREMESSA

La presente relazione illustra e riassume i risultati delle indagini geofisiche a supporto della progettazione definitiva del raddoppio della tratta Parma – Vicofertile.

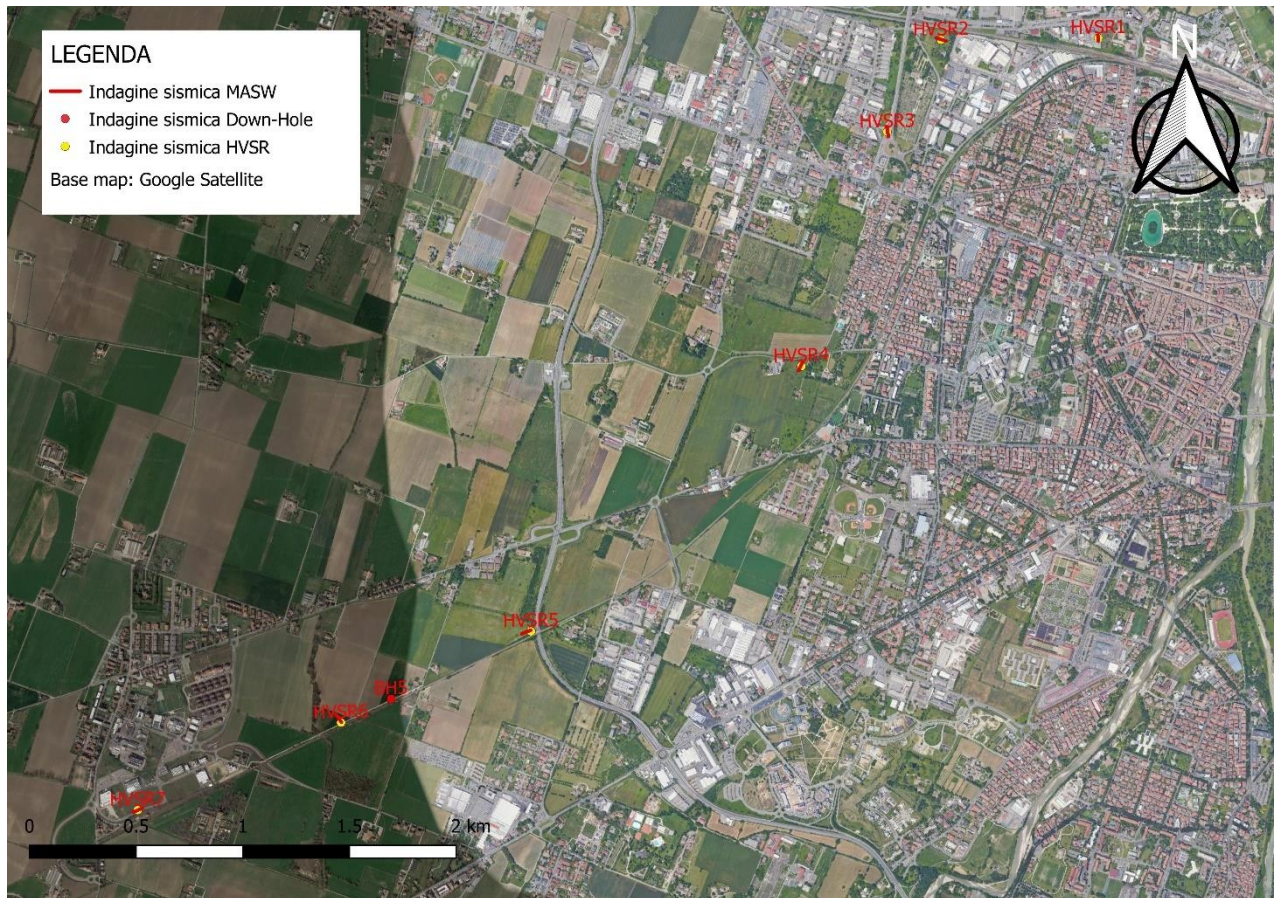


Figura 1.1: Ubicazione delle indagini geofisiche eseguite (da Google Earth).

2 METODOLOGIE DI INDAGINE

La campagna di misure geofisiche condotta è consistita in indagini sismiche di superficie (con metodologia MASW e HVSR) e in foro (Down-hole). Di seguito si riporta una breve descrizione dei principi base delle tecniche d'indagine ed i relativi risultati.



Figura 2.1: *Strumentazione impiegata per le prove sismiche di superficie mediante metodologia MASW (in alto a sinistra) e HVSR (in alto a destra) e in foro (in basso).*

3 INDAGINE SISMICA CON METODO MASW ATTIVO

Lo scopo della prova sismica MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidità del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie (onde di Rayleigh) con un successivo processo di inversione, attraverso il quale è fornita una stima indiretta della distribuzione delle Vs (velocità di propagazione delle onde di taglio). La prova consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in corrispondenza del sito da investigare, una sollecitazione dinamica verticale in un determinato campo di frequenze e nel registrare tramite uno stendimento lineare di sensori (geofoni) le vibrazioni prodotte, in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate.

Il profilo che si ricava da questo tipo di indagine è un profilo monodimensionale Vs-Profondità che generalmente, in presenza di stratigrafie costituite da orizzonti assimilabili a piano paralleli, può essere attribuito convenzionalmente alla stratigrafia relativa al centro dello stendimento, in quanto si assume che lungo tutto lo sviluppo dell'indagine la stratigrafia rimanga invariata.

In riferimento all'acquisizione delle onde S con tecnica di sismica attiva (prova MASW), sono state adottate le seguenti caratteristiche:

- 24 geofoni verticali (frequenza di 4,5 Hz);
- spaziatura dei geofoni: 1 metro (per la prova MASW1) e 2 metri per tutte le altre prove;
- sorgente: massa da 8 kg;
- distanza energizzazioni: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10 volte la spaziatura;
- lunghezza registrazione del singolo evento: 2000 millisecondi;
- campionamento del segnale: 1 millisecondi.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	Strumentazione per prove sismiche attive di superficie (MASW)
1	Sismografo Echo 24-48 2010 prodotto dalla Ambrogeo s.r.l. di Piacenza (PC)
1	Toughbook Panasonic CF-19
24	geofoni verticali con frequenza 4,5 Hz (Geospace)
1	cavo di collegamento per geofoni 24 <i>take-out</i> /1.0 metri
1	massa battente del peso di 8 kg
1	linea trigger con dispositivo <i>hammer-switch</i>

4 RISULTATI PROSPEZIONI MASW

4.1 MASW1

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 metri di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω -p (trasformata τ -p e trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è stata effettuata con il metodo *phase shift* utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

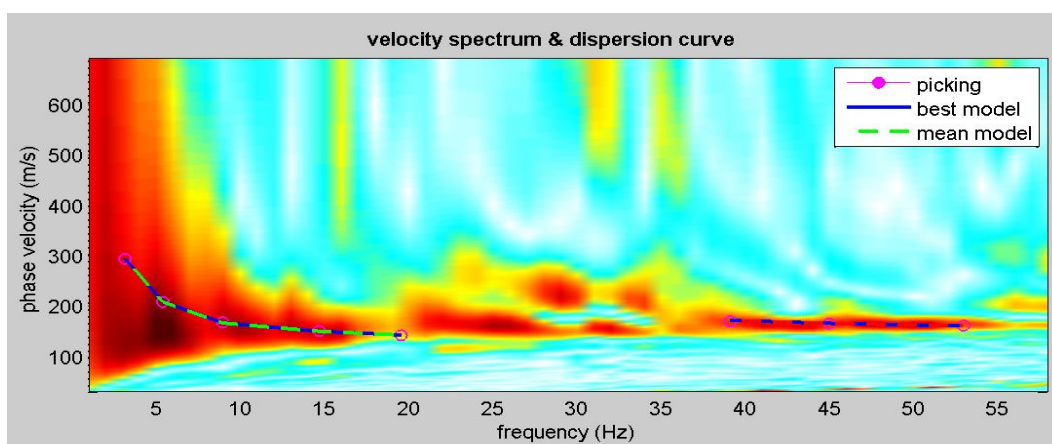


Figura 4.1: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

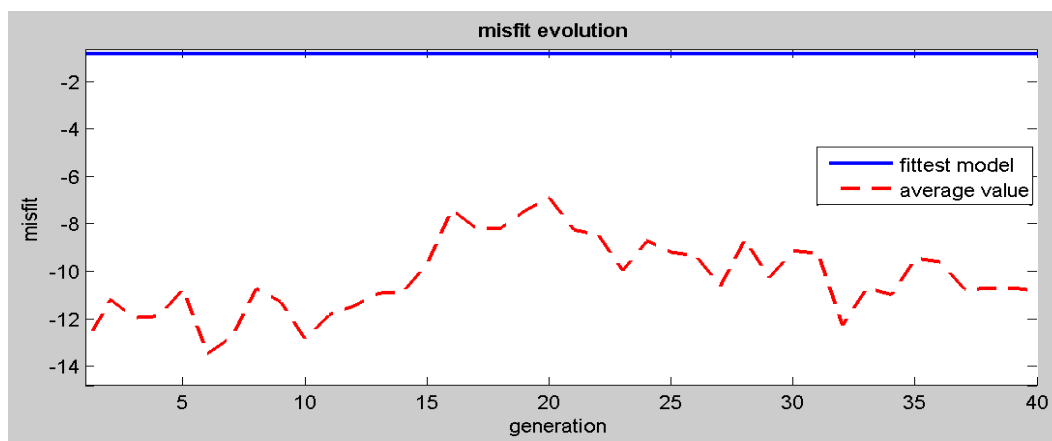


Figura 4.2: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

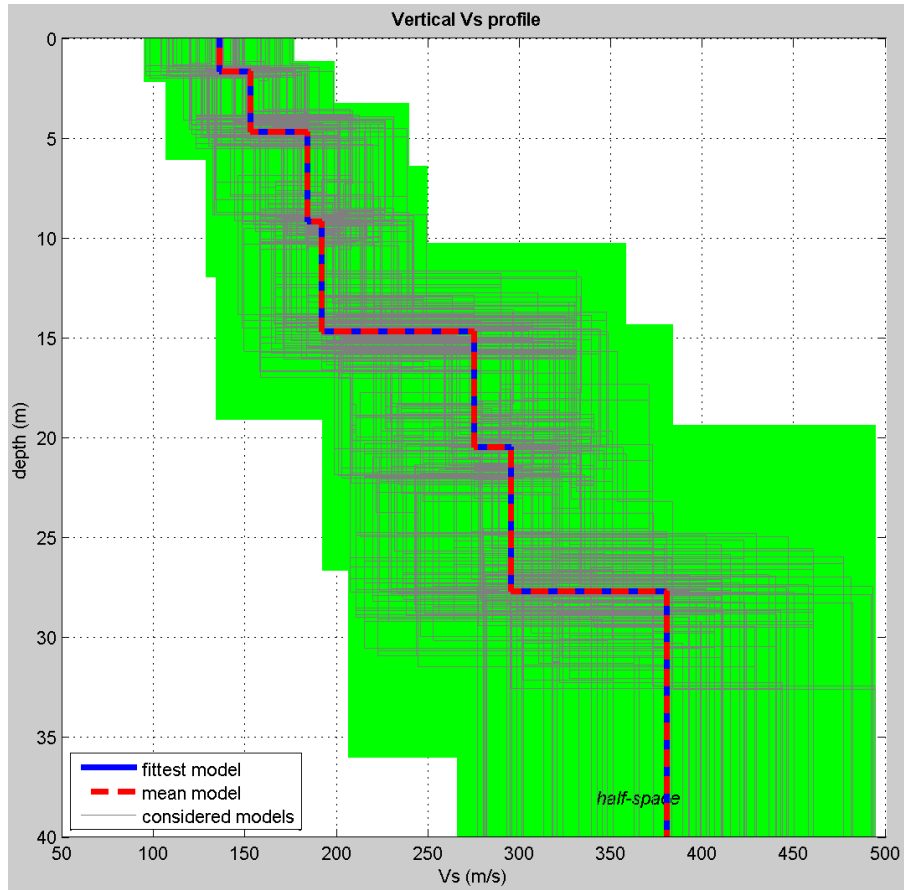


Figura 4.3: Modello risultante dall'inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 1.0 metri.

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

La V_{seq} è stata ricavata dalla formula:

Nel caso specifico è risultato:

$V_{seq} = 219.36 \text{ m/s}$

Si tratta quindi di un suolo di **tipo C** ($S_s = 1.49$ secondo le NTC 2018).


In allegato, vengono inoltre fornite tabelle che riportanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV secondo NTC 2018).



Figura 4.4: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica MASW1.



Figura 4.5: Foto relativa all'esecuzione della prova sismica MASW1.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW1

Data: ottobre 2021

Località Parma (PR)

Coordinate LAT 44.813922 LONG 10.312710 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 1.0 metri

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	S=S _s *S _r
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s			
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	1.49	1.59	1.49
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

I parametri a/g , F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

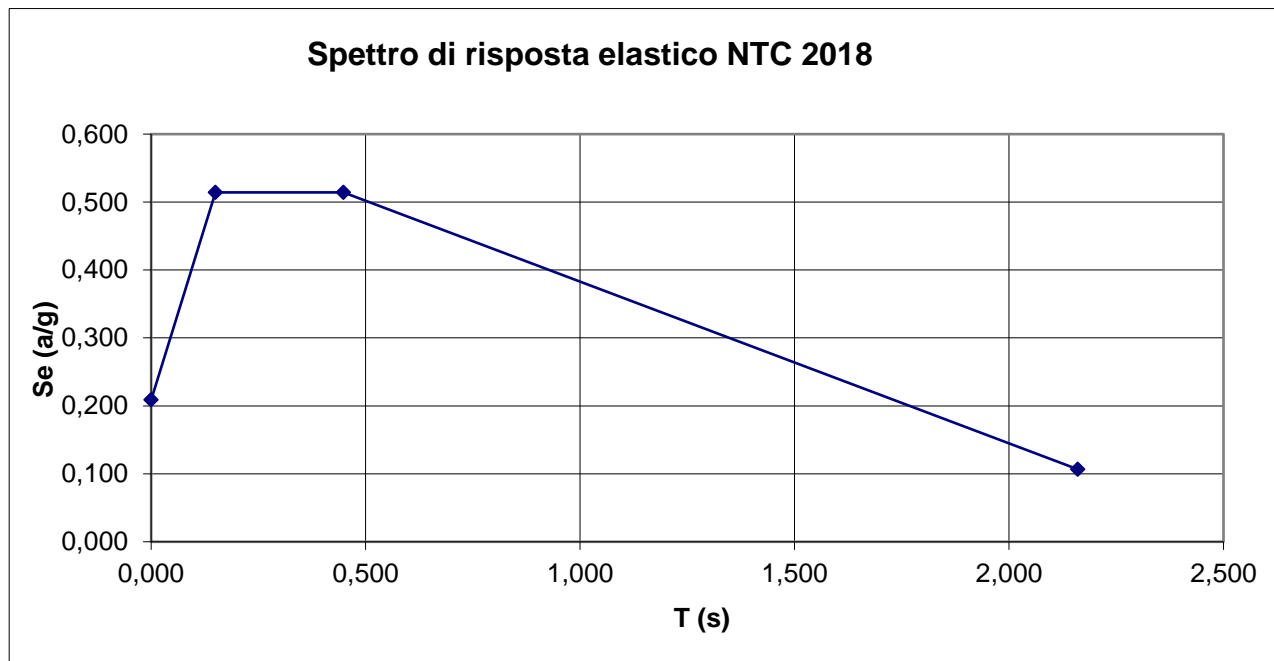
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

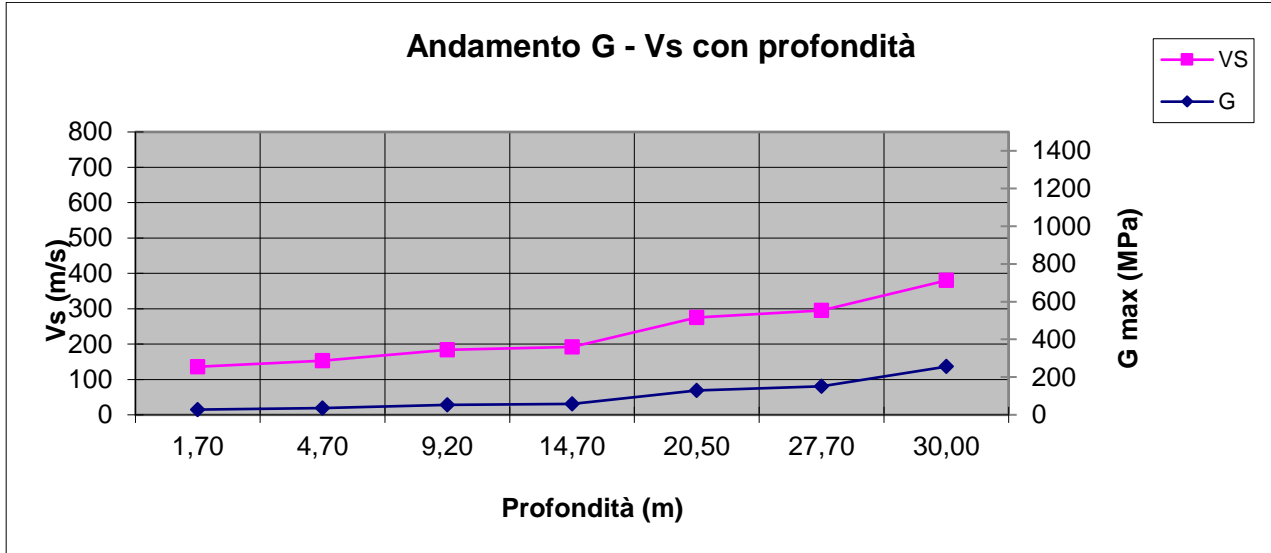
$$T_d = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,209
0,149	0,514
0,448	0,514
2,160	0,107



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1,70	1,50	136	28
4,70	1,54	153	36
9,20	1,58	184	54
14,70	1,59	192	59
20,50	1,70	275	129
27,70	1,73	295	151
30,00	1,77	380	256

V_{seq} = 219.36 m/s



4.2 MASW2

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 metri di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è stata effettuata con il metodo *phase shift* utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

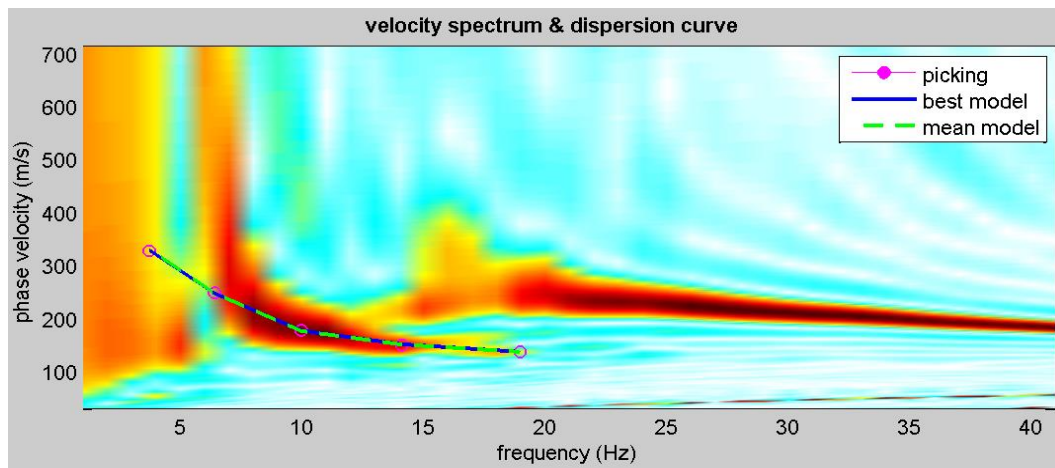


Figura 4.6: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

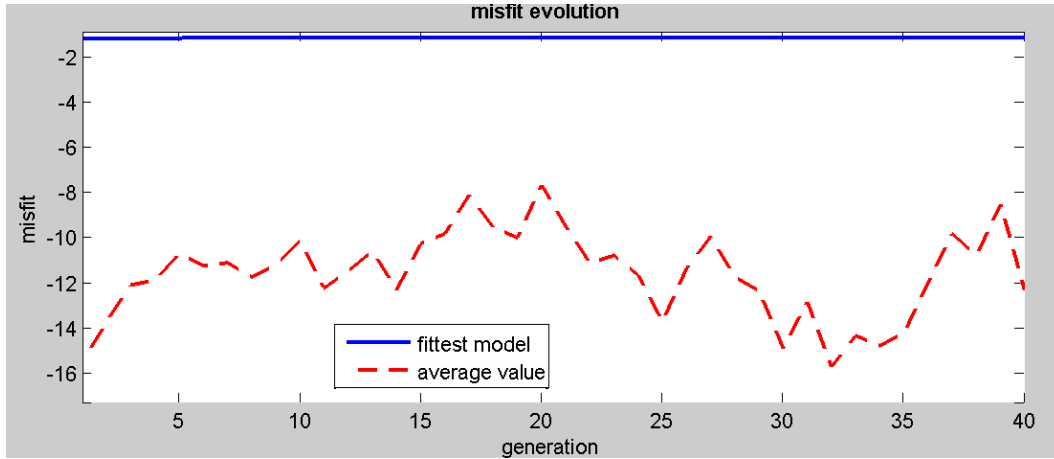


Figura 4.7: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

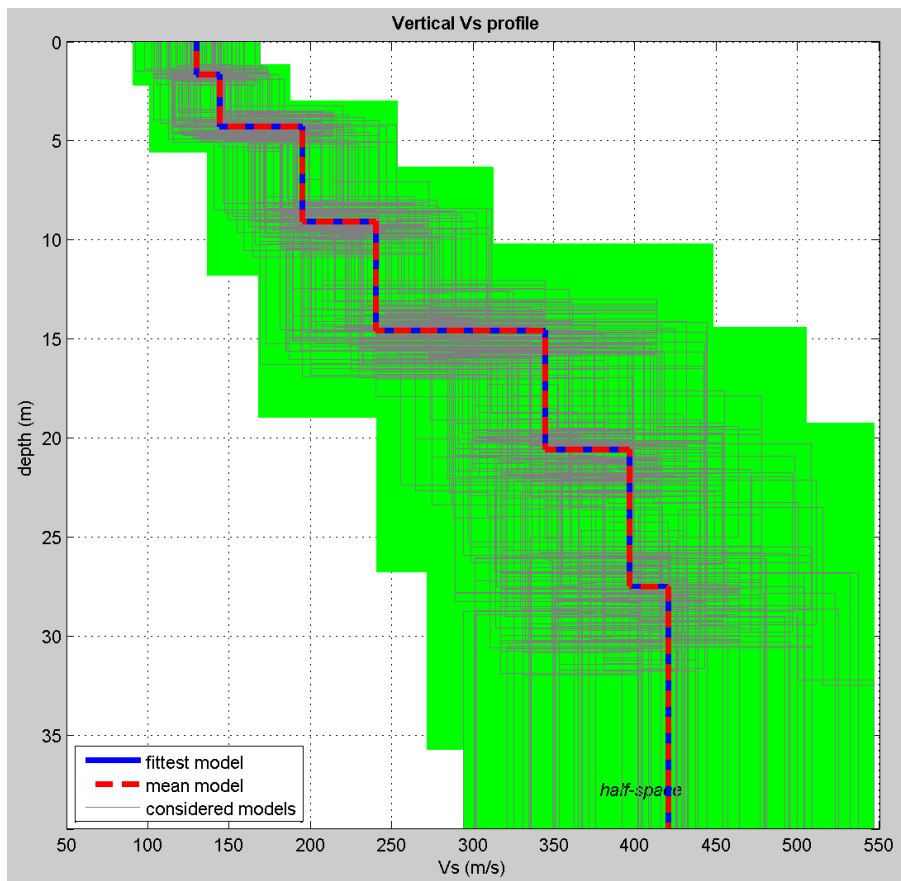


Figura 4.8: Modello risultante dall'inversione dei dati.

	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 2.0 metri.

La $V_{s,eq}$ è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

$V_{s,eq} = 251.08 \text{ m/s}$

Si tratta quindi di un suolo di **tipo C** ($S_s = 1.49$ secondo le NTC 2018).


In allegato, vengono inoltre fornite tabelle riportanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV secondo NTC 2018).



Figura 4.9: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica MASW2.



Figura 4.10: Foto relativa all'esecuzione della prova sismica MASW2.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW2

Data: ottobre 2021

Località Parma (PR)

Coordinate LAT 44.813594 LONG 10.303418 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 2.0 metri

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	S=S _s *S _r
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s			
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	1.49	1.59	1.49
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

I parametri a/g , F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraesperte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

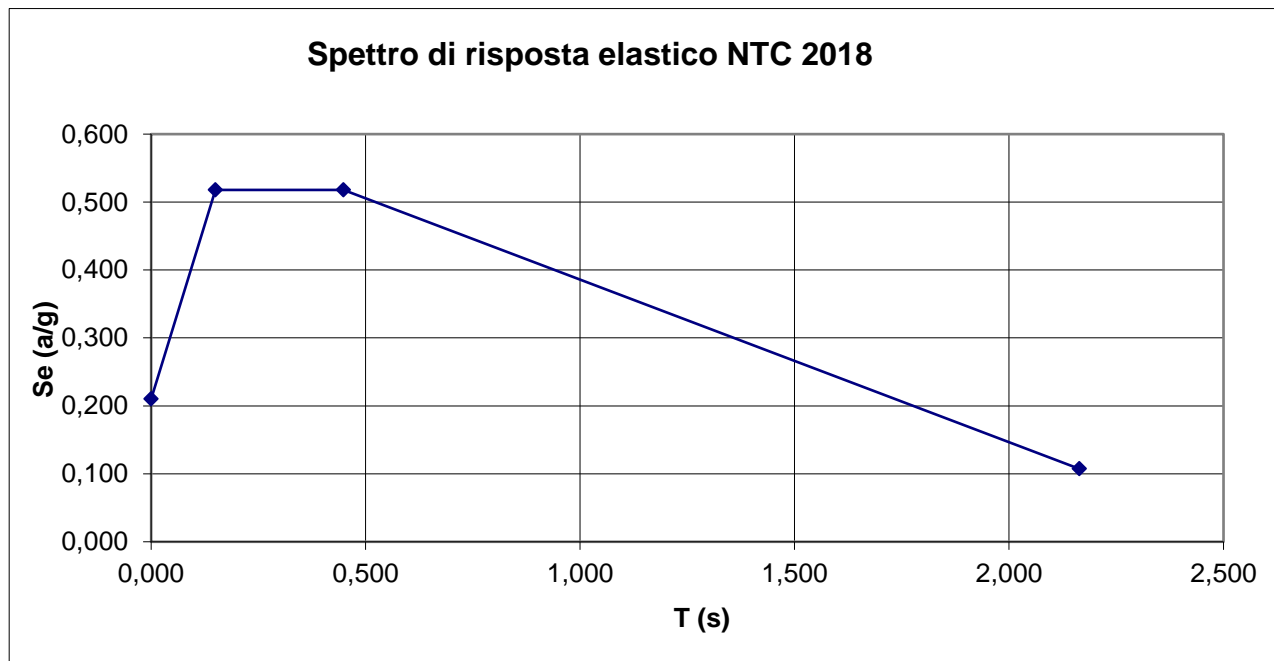
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

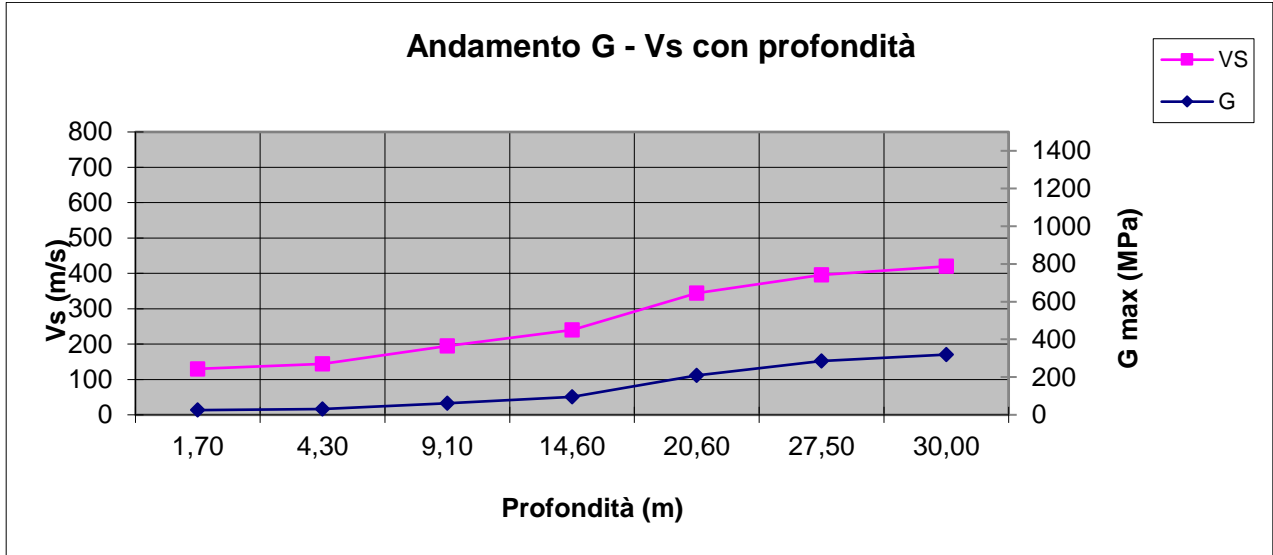
$$T_d = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,210
0,149	0,518
0,448	0,518
2,164	0,107



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1,70	1,48	130	25
4,30	1,51	144	31
9,10	1,61	195	61
14,60	1,65	240	95
20,60	1,77	344	209
27,50	1,82	396	286
30,00	1,81	420	320

V_{seq} = 251.08 m/s



4.3 MASW3

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 metri di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è stata effettuata con il metodo *phase shift* utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

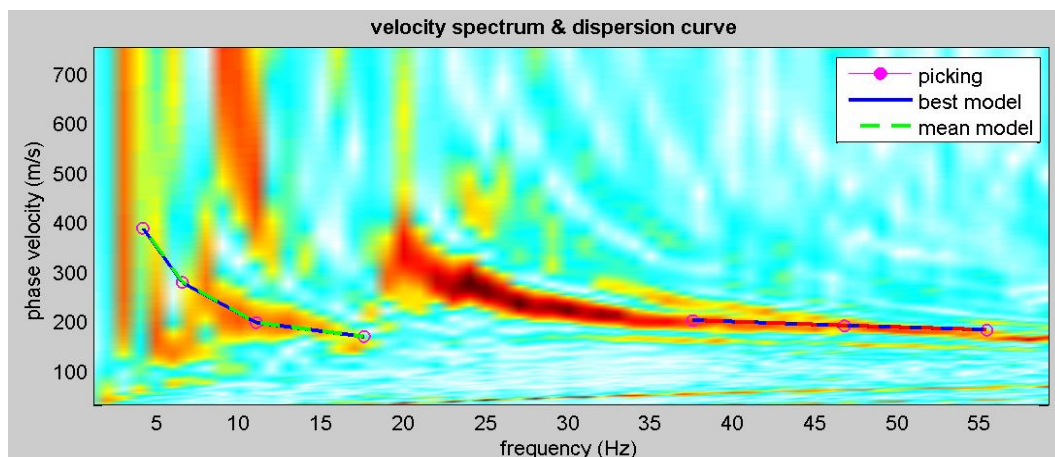


Figura 4.11: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

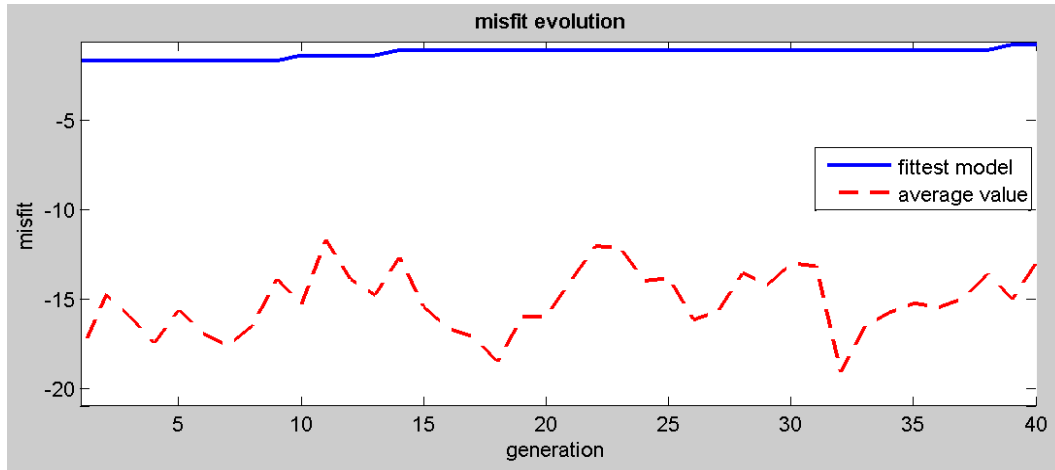


Figura 4.12: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

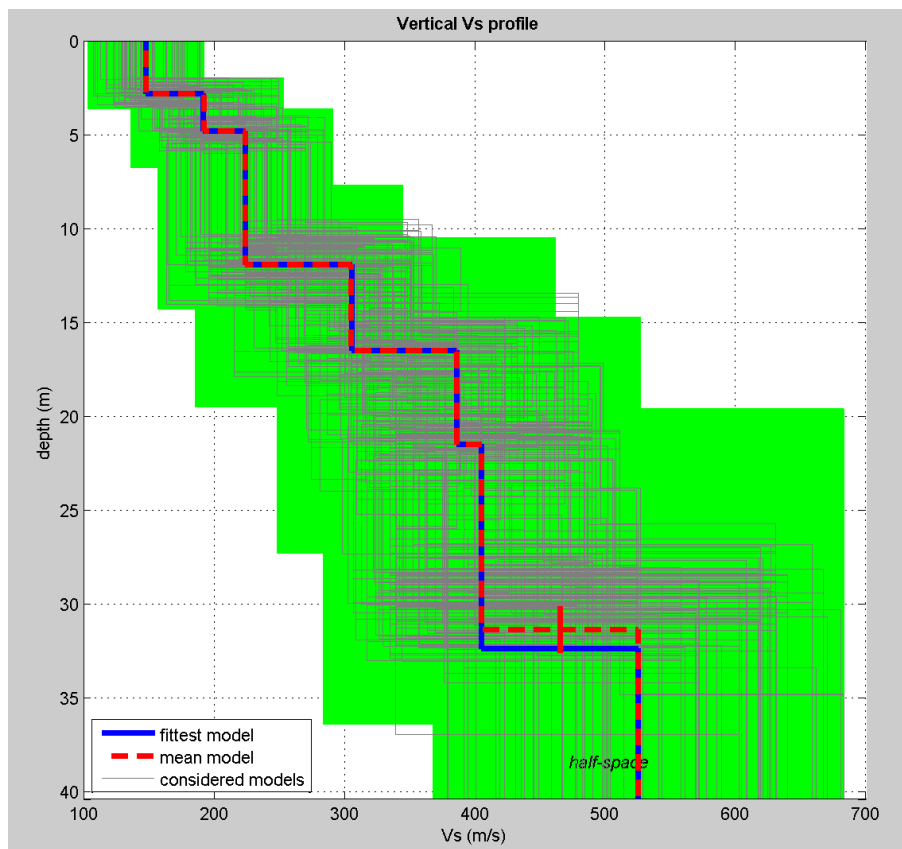



Figura 4.13: Modello risultante dall'inversione dei dati.

	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 2.0 metri.

La $V_{s,eq}$ è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

$V_{s,eq} = 272.59 \text{ m/s}$

Si tratta quindi di un suolo di **tipo C** ($S_s = 1.49$ secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle riportanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV secondo NTC 2018).



Figura 4.14: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica MASW3.



Figura 4.15: Foto relativa all'esecuzione della prova sismica MASW3.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW3

Data: ottobre 2021

Località Parma (PR)

Coordinate LAT 44.809444 LONG 10.300595 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 2.0 metri

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	S=S _s *S _r
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s			
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	1.49	1.6	1.49
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

I parametri a/g, F₀ e T* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1	
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

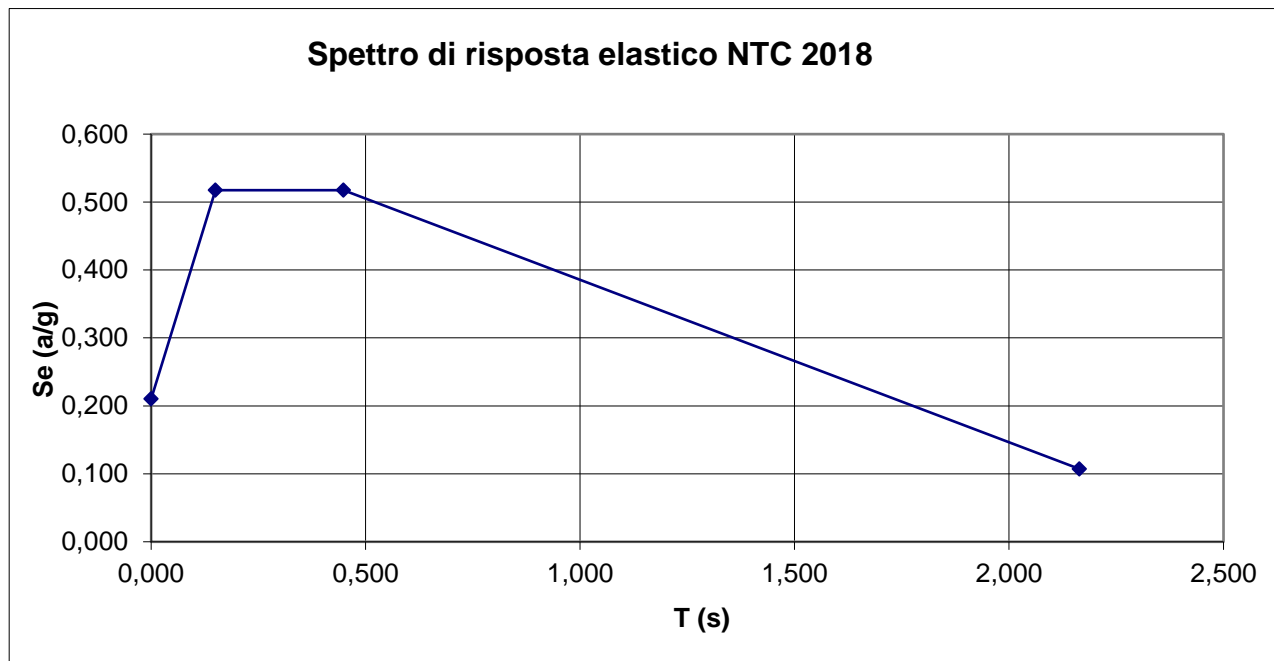
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

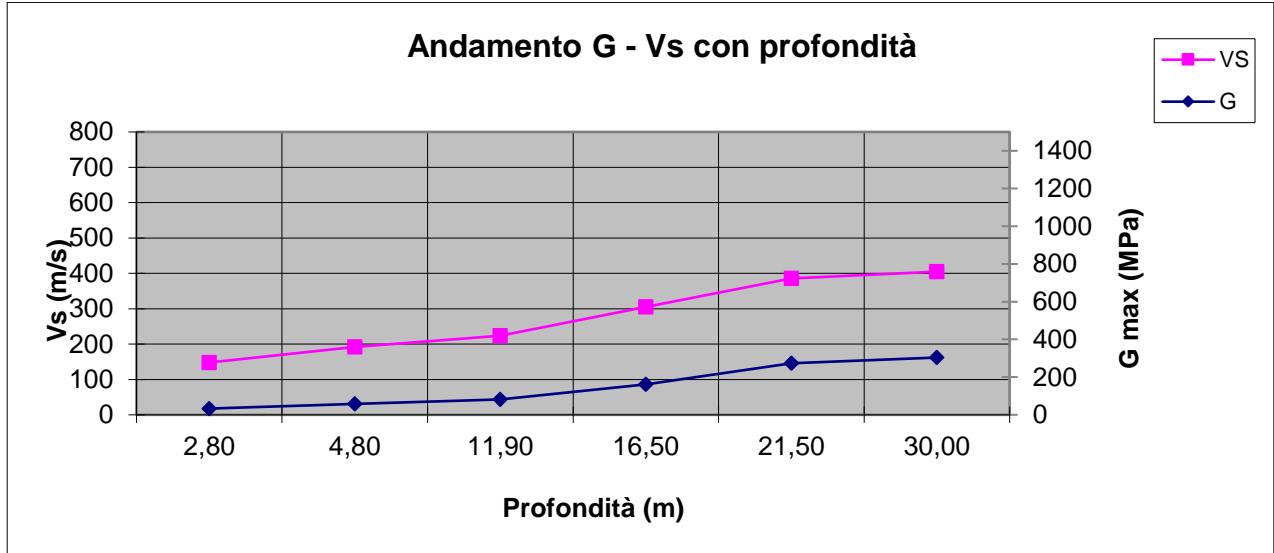
$$T_d = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,210
0,149	0,517
0,448	0,517
2,164	0,107



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
2,80	1,51	148	33
4,80	1,59	192	58
11,90	1,64	224	82
16,50	1,74	305	162
21,50	1,83	386	273
30,00	1,85	405	304

V_{seq} = 272.59 m/s



4.4 MASW4

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 metri di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è stata effettuata con il metodo *phase shift* utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

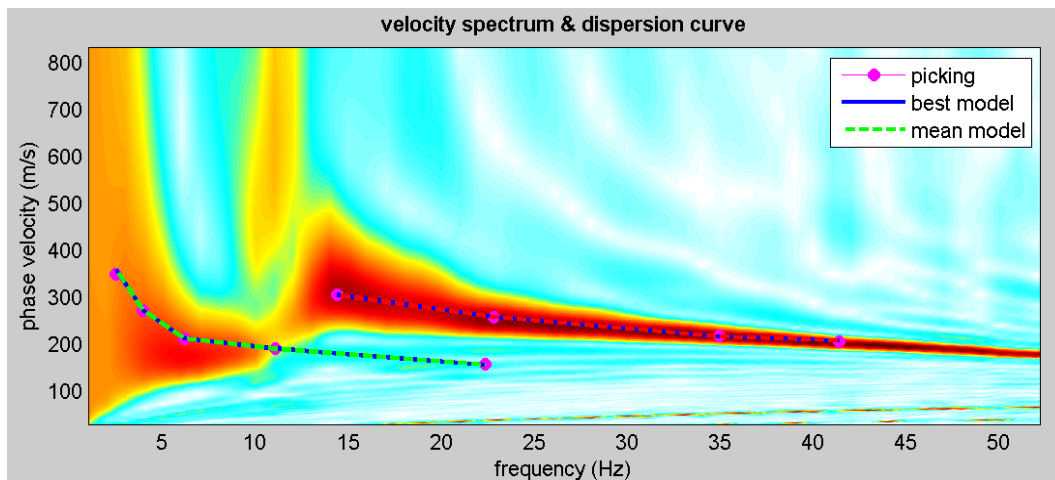


Figura 4.16: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

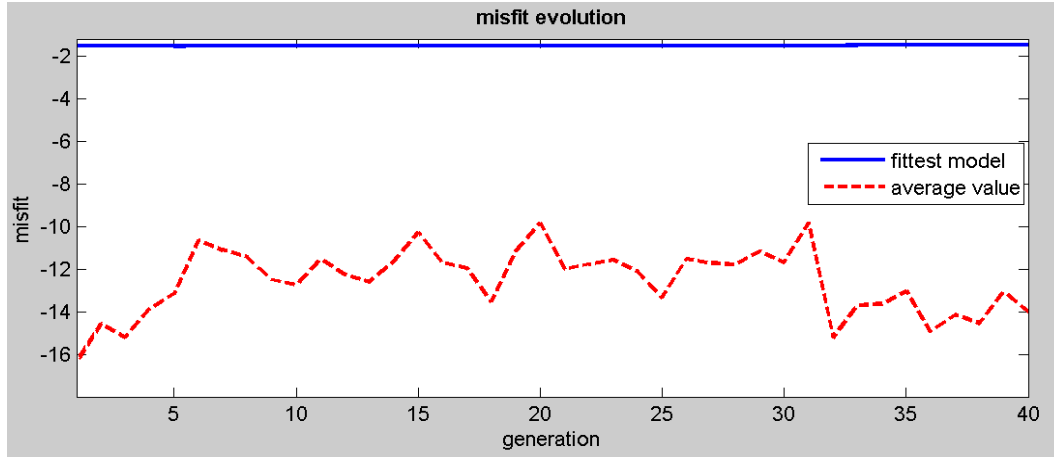


Figura 4.17: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

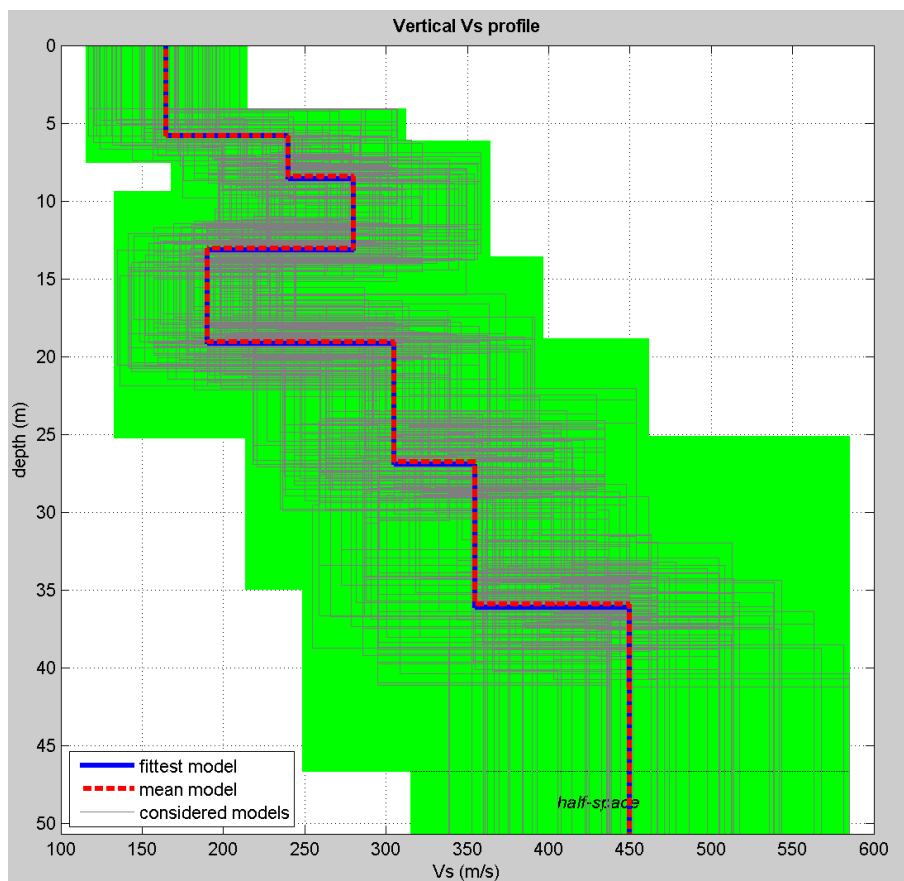



Figura 4.18: Modello risultante dall'inversione dei dati.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 2.0 metri.

La $V_{s,eq}$ è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

$$V_{s,eq} = 233.32 \text{ m/s}$$

Si tratta quindi di un suolo di **tipo C** ($S_s = 1.49$ secondo le NTC 2018).


In allegato, vengono inoltre fornite tabelle riportanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV secondo NTC 2018).



Figura 4.19: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica MASW4.



Figura 4.20: Foto relativa all'esecuzione della prova sismica MASW4.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW4

Data: ottobre 2021

Località Parma (PR)

Coordinate LAT 44.799387 LONG 10.296270 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 2.0 metri

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	S=S _s *S _r
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s			
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	1.49	1.60	1.49
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

I parametri a/g , F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

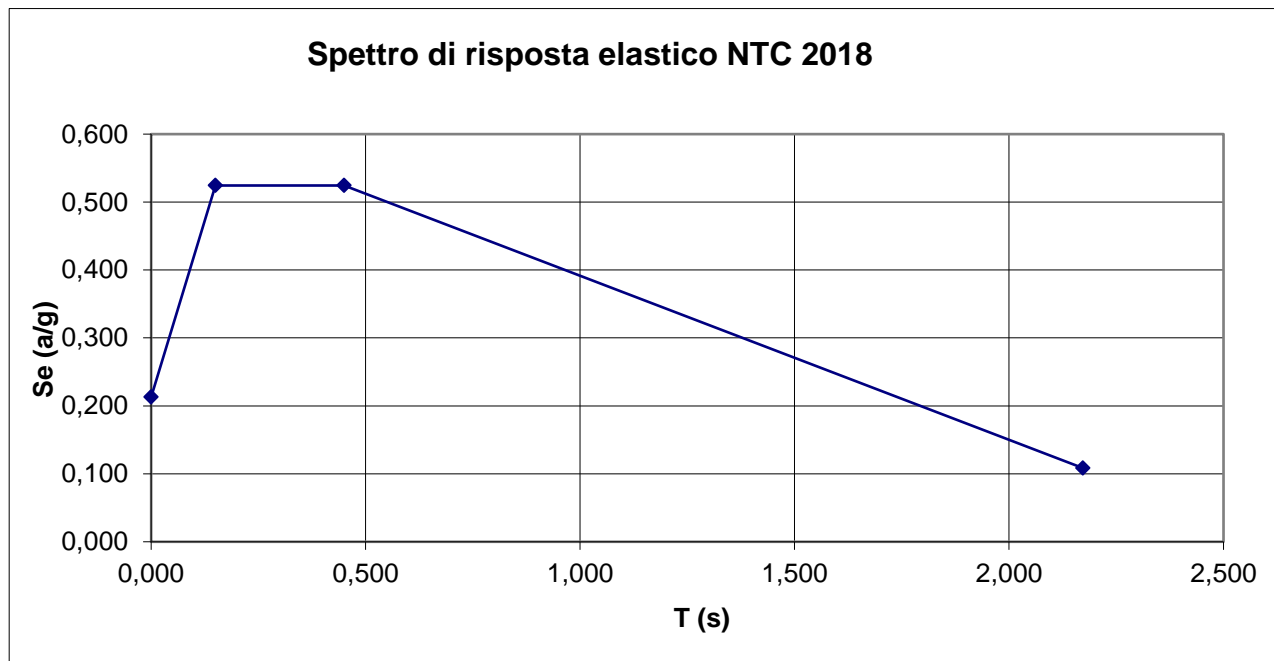
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

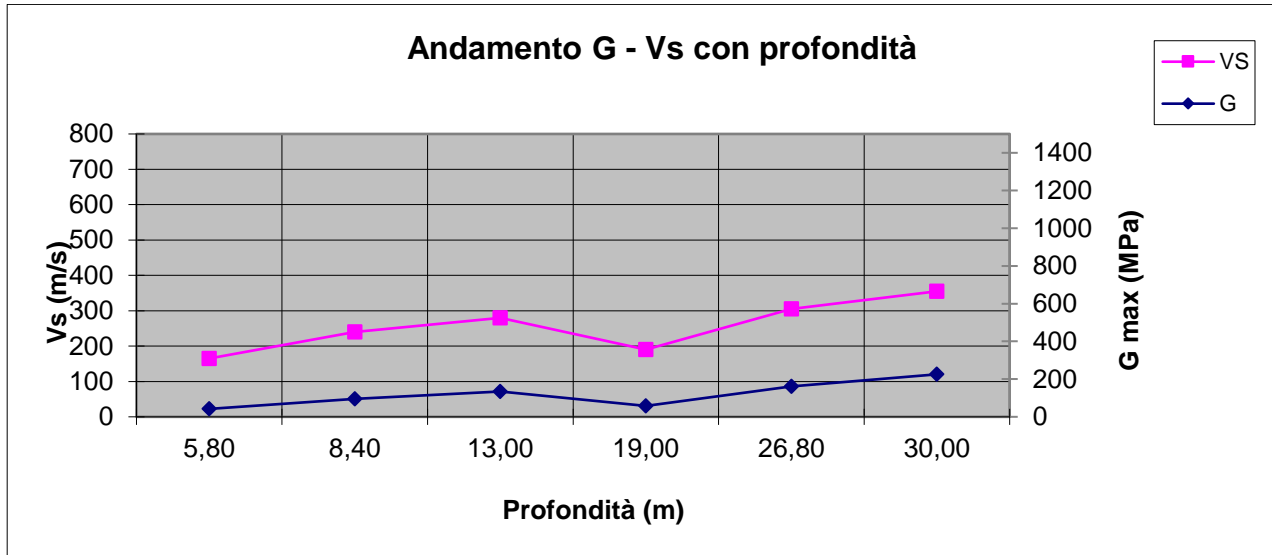
$$T_d = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$


Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,213
0,150	0,524
0,450	0,524
2,172	0,109



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
5,80	1,54	165	42
8,40	1,66	240	96
13,00	1,71	280	134
19,00	1,60	190	58
26,80	1,74	305	162
30,00	1,79	355	225

V_{seq} = 233.32 m/s



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

4.5 MASW5

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 metri di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è stata effettuata con il metodo *phase shift* utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

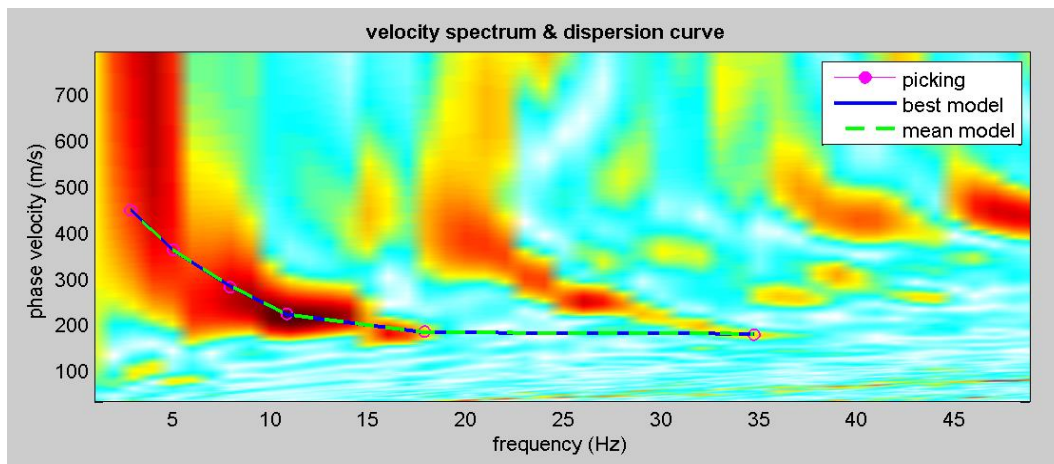


Figura 4.21: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

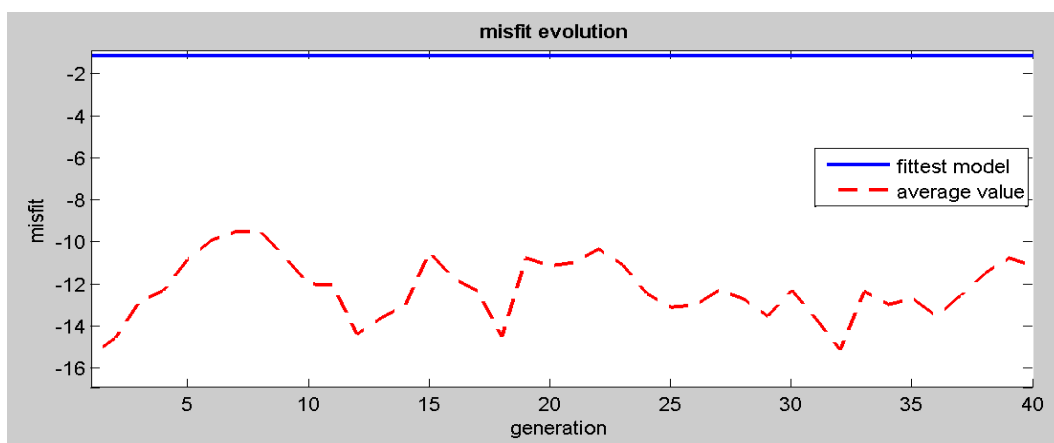


Figura 4.22: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

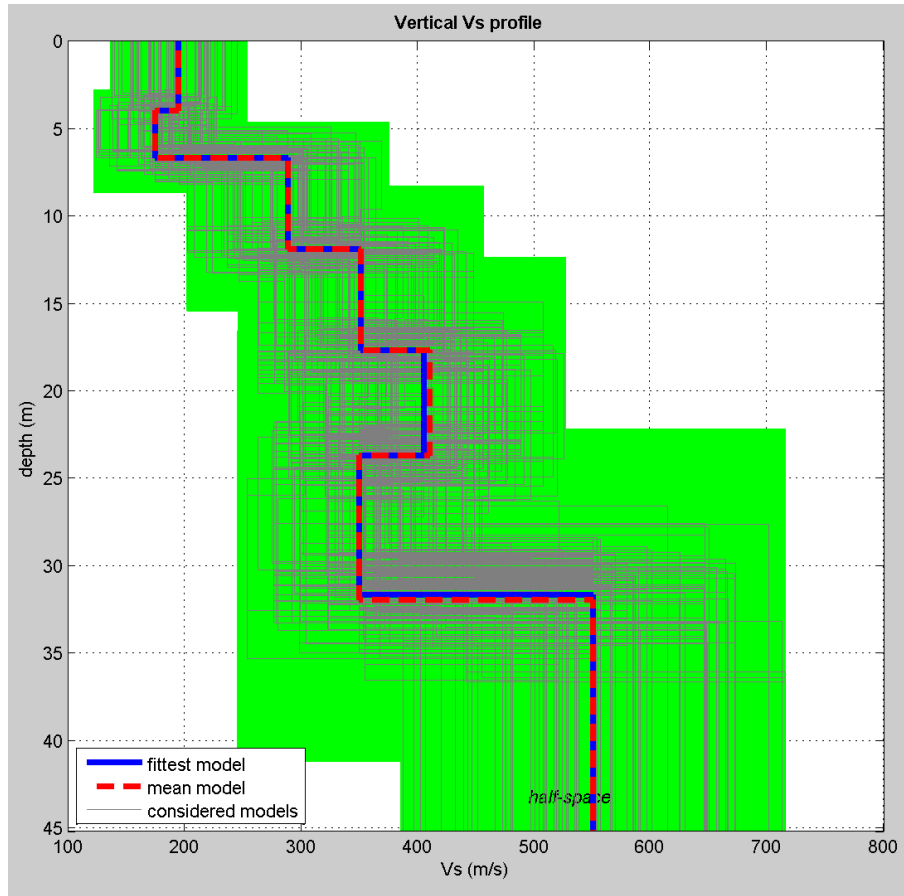


Figura 4.23: Modello risultante dall'inversione dei dati.


Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 2.0 metri.

La $V_{s,eq}$ è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

$V_{s,eq} = 291.00$ m/s

	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

Si tratta quindi di un suolo di **tipo C** ($S_s = 1.48$ secondo le NTC 2018).


In allegato, vengono inoltre fornite tabelle riportanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV secondo NTC 2018).



Figura 4.24: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica MASW5.



Figura 4.25: Foto relativa all'esecuzione della prova sismica MASW5.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW5

Data: ottobre 2021

Località Parma (PR)

Coordinate LAT 44.787592 LONG 10.281012 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 2.0 metri

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	S=S _s *S _r
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s			
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	1.48	1.60	1.48
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

I parametri a/g , F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

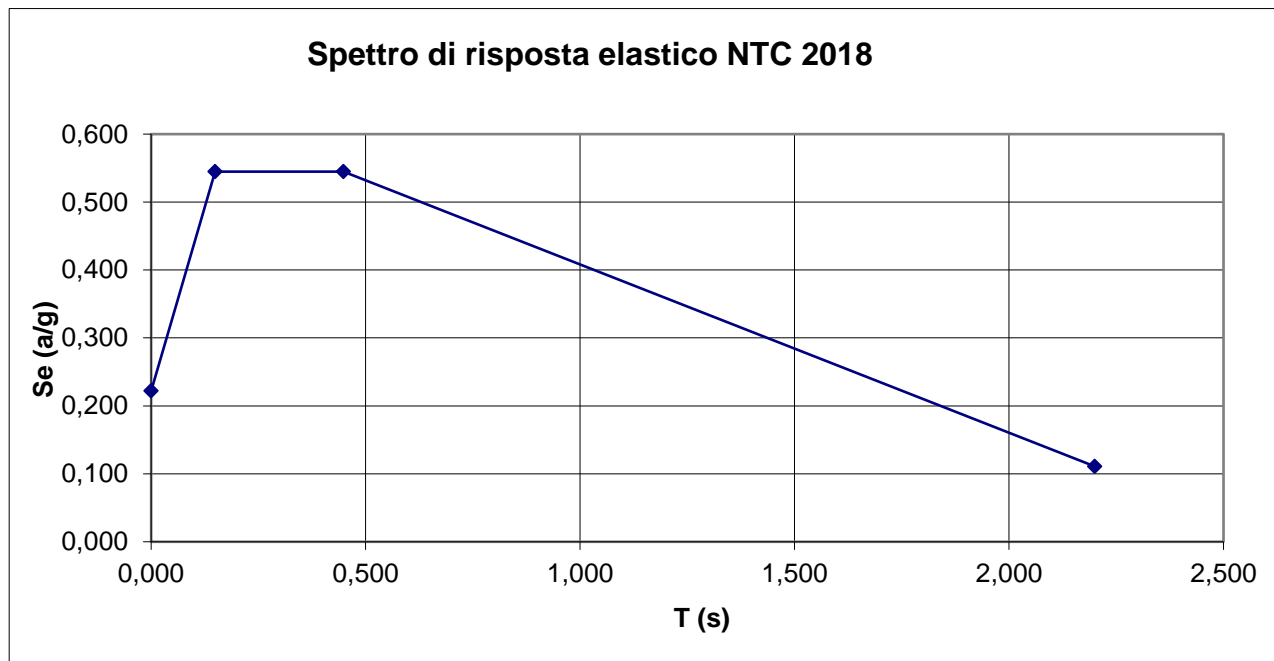
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

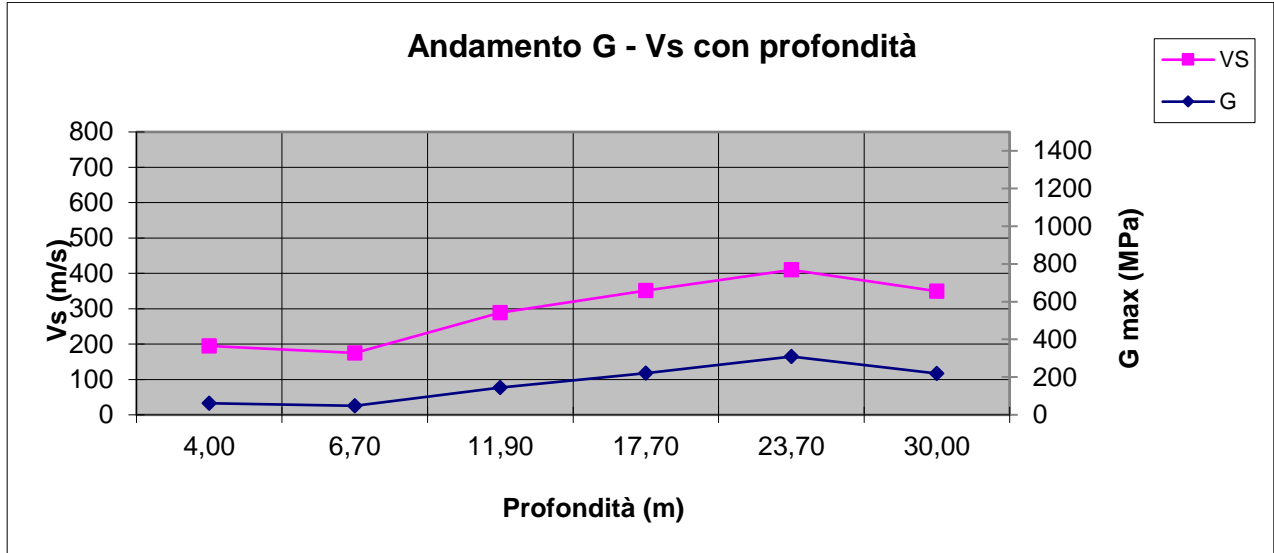
$$T_d = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,222
0,149	0,545
0,448	0,545
2,200	0,111



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
4,00	1,59	195	61
6,70	1,56	175	48
11,90	1,72	289	144
17,70	1,79	351	220
23,70	1,84	410	309
30,00	1,79	350	219

V_{seq} = 291.00 m/s



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

4.6 MASW6

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 metri di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è stata effettuata con il metodo *phase shift* utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

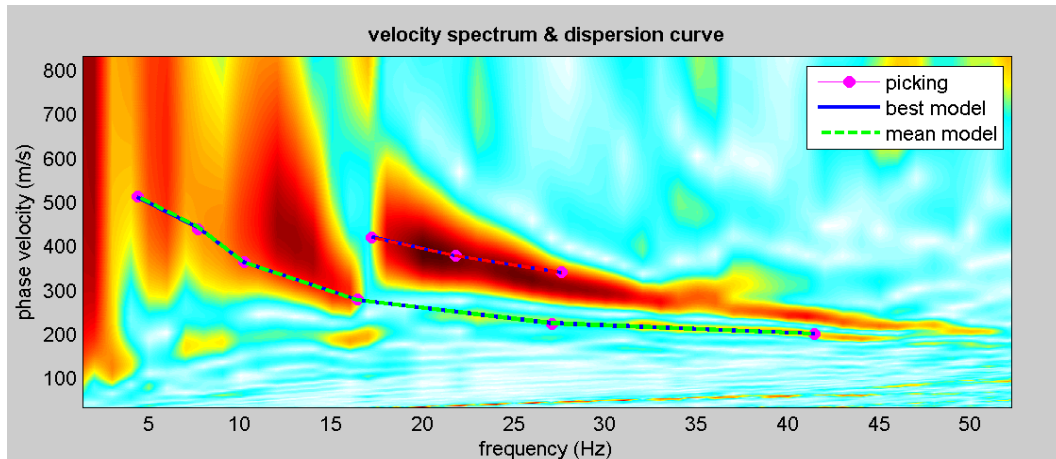


Figura 4.26: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

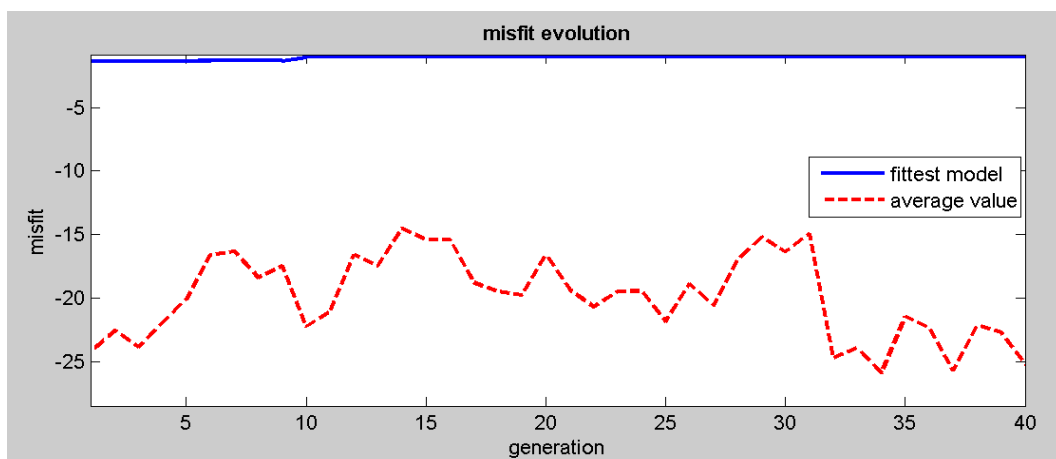


Figura 4.27: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

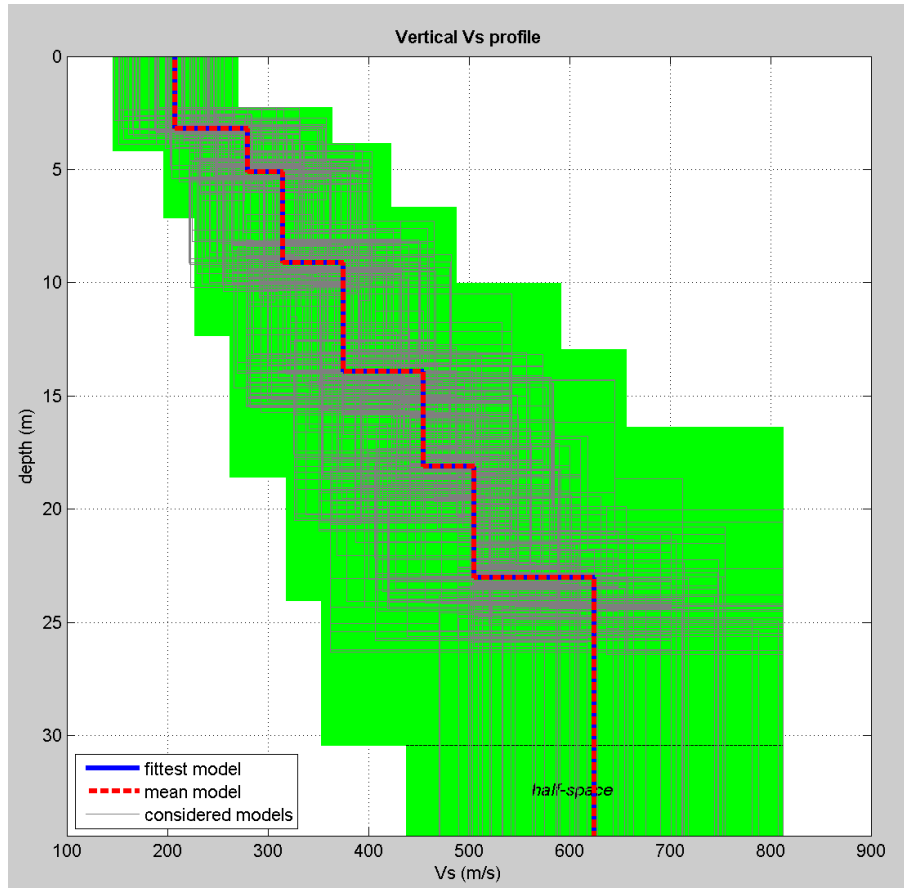



Figura 4.28: Modello risultante dall'inversione dei dati.

Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 2.0 metri.

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

La $V_{s,eq}$ è stata ricavata dalla formula:

Nel caso specifico è risultato:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

$V_{seq} = 385.59 \text{ m/s}$

Si tratta quindi di un suolo di **tipo B** ($S_s = 1.2$ secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle riportanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV secondo NTC 2018).



Figura 4.29: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica MASW6.



Figura 4.30: Foto relativa all'esecuzione della prova sismica MASW6.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW6

Data: ottobre 2021

Località Parma (PR)

Coordinate LAT 44.783455 LONG 10.270281 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 2.0 metri

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	S=S _s *S _r
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s	1.2	1.42	1.2
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.			
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

I parametri a/g, F₀ e T* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°	1	
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

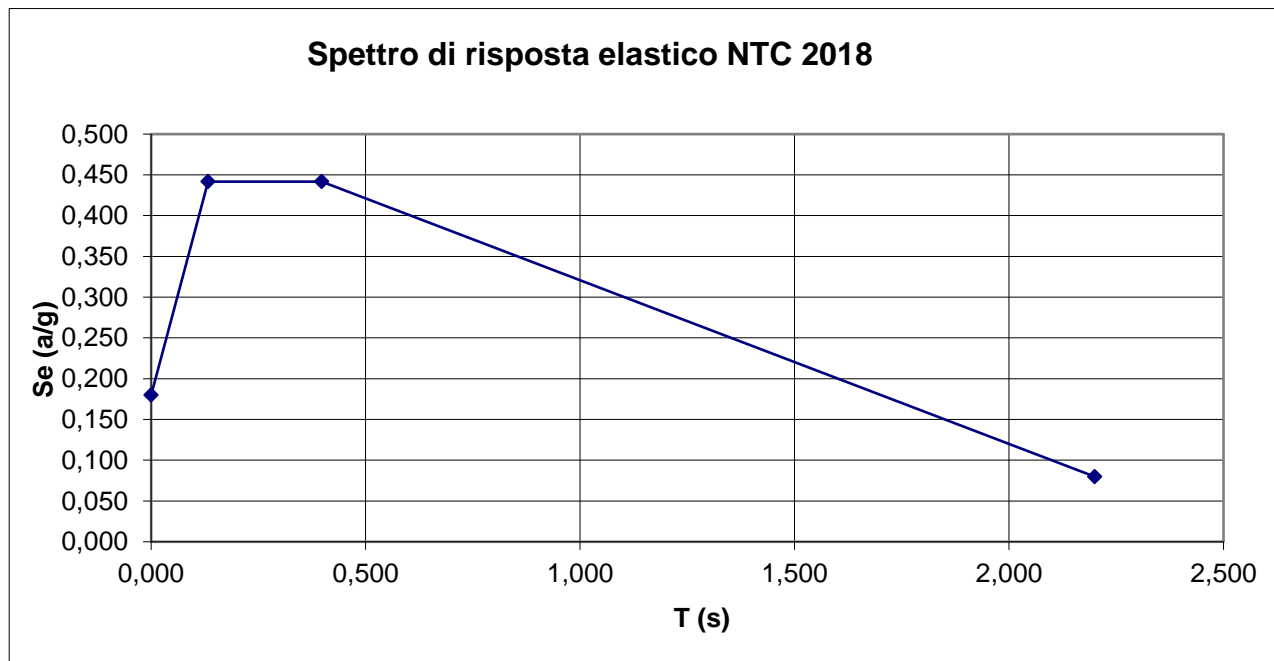
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

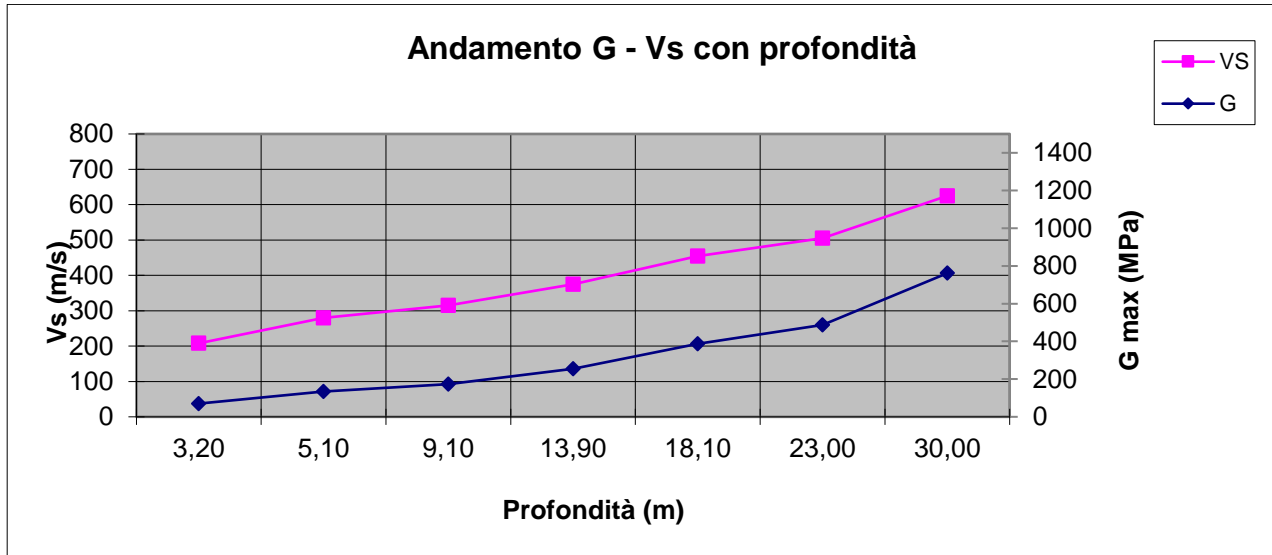
$$T_d = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,180
0,133	0,442
0,398	0,442
2,200	0,080



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
3,20	1,62	208	70
5,10	1,72	280	135
9,10	1,75	315	174
13,90	1,81	375	254
18,10	1,87	455	387
23,00	1,91	505	487
30,00	1,95	625	762

V_{seq} = 385.59 m/s



4.7 MASW7

L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 metri di profondità.

Di seguito si riportano le immagini relative all'analisi ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

L'inversione della curva di dispersione è stata effettuata con il metodo *phase shift* utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

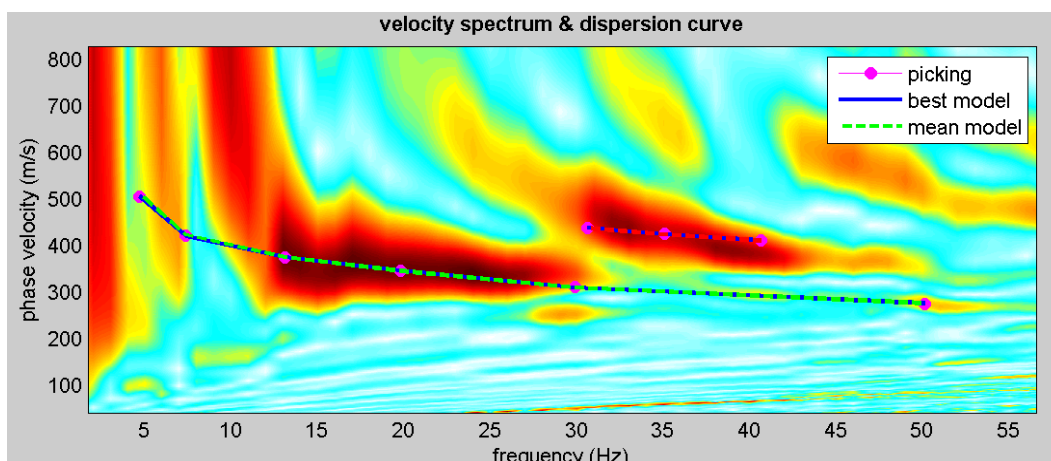


Figura 4.31: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

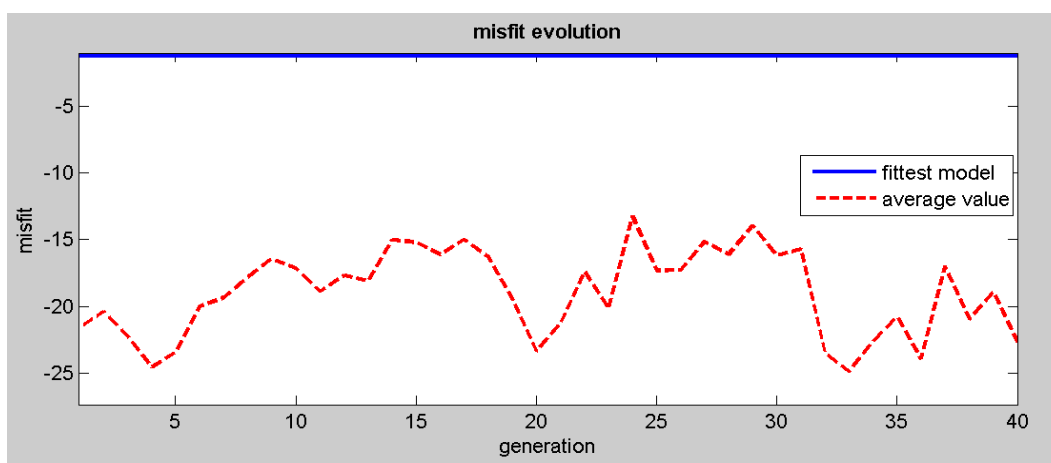


Figura 4.32: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

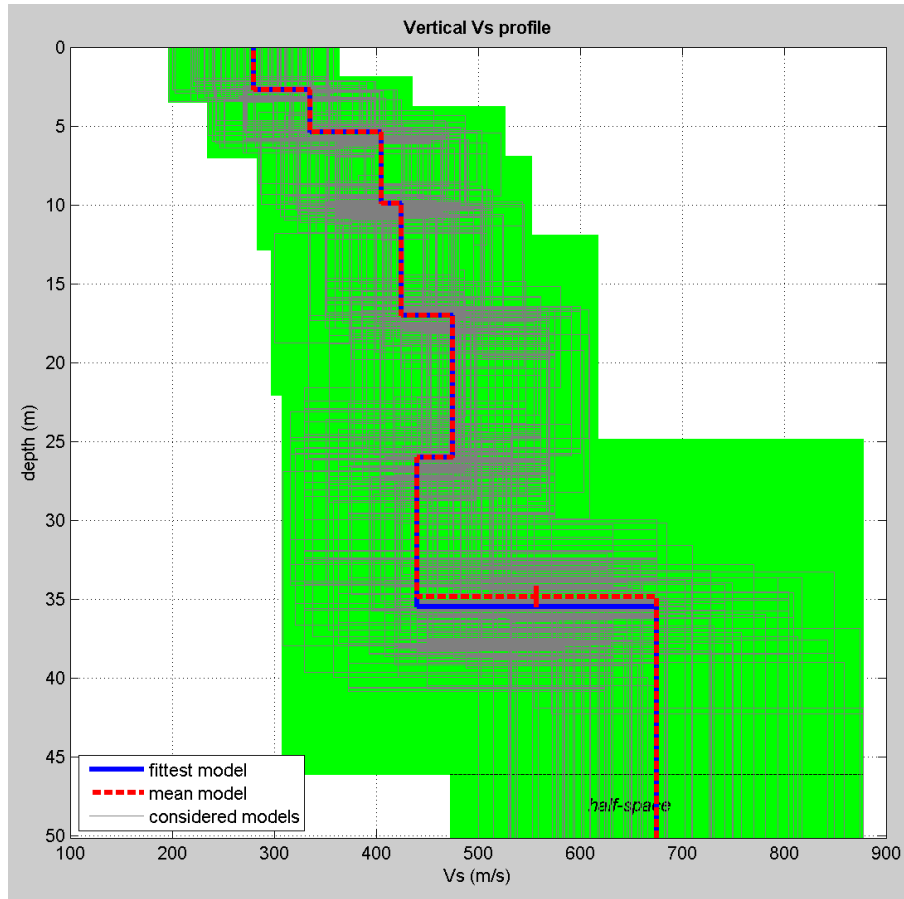


Figura 4.33: Modello risultante dall'inversione dei dati.


Per quanto concerne i dettagli relativi alle caratteristiche geometriche dello stendimento, sono stati utilizzati 24 geofoni in linea con interdistanza di 2.0 metri.

La $V_{s,eq}$ è stata ricavata dalla formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

$V_{s,eq} = 407.84 \text{ m/s}$

	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE)					
	TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 54 di 118

Si tratta quindi di un suolo di **tipo B** ($S_s = 1.2$ secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle riportanti la classificazione del sito e lo spettro di risposta elastico relativo, ricavato considerando una probabilità di superamento del 10% in 50 anni (tempo di ritorno 475 anni). Tale condizione corrisponde allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV secondo NTC 2018).



Figura 4.34: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica MASW7.



Figura 4.35: Foto relativa all'esecuzione della prova sismica MASW7.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW7

Data: ottobre 2021

Località Parma (PR)

Coordinate LAT 44.779138 LONG 10.258557 (WGS84 gradi decimali)

Metodo di indagine MASW

Strumentazione utilizzata Sismografo Echo 24-2010 a 24 Canali, 24 bits

Metodo di energizzazione Mazza da 8 kg

Geometria stendimento: 24 geofoni - interasse 2.0 metri

RISPOSTA SISMICA LOCALE

(si vedano le tabelle sottostanti per ricavare i valori del Coeff. Cc e del coeff di amplificazione S)

Categorie di sottosuolo di fondazione:

		Ss	Cc	S=S _s *S _r
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s	1.2	1.42	1.2
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.			
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

I parametri a/g , F_0 e T^* vengono forniti dalla normativa

Categorie topografiche

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1	
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1.2	valore alla sommità del pendio
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1.2	valore della cresta del rilievo
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1.4	valore della cresta del rilievo

Le sovraesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

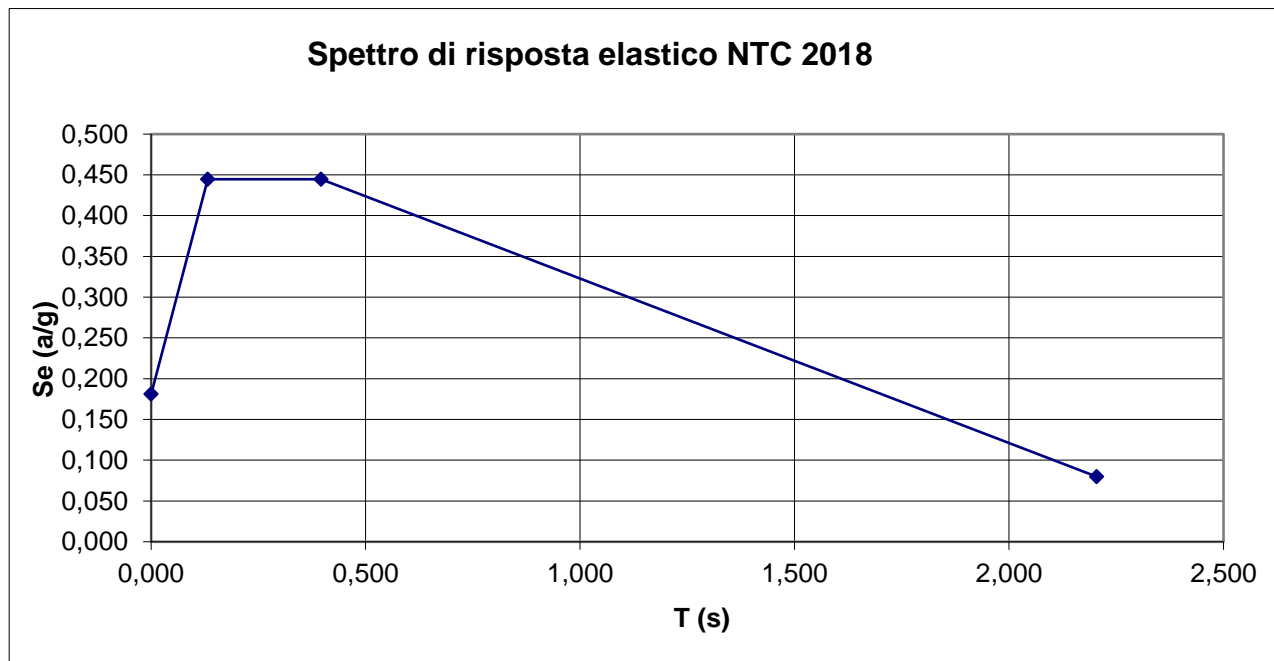
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

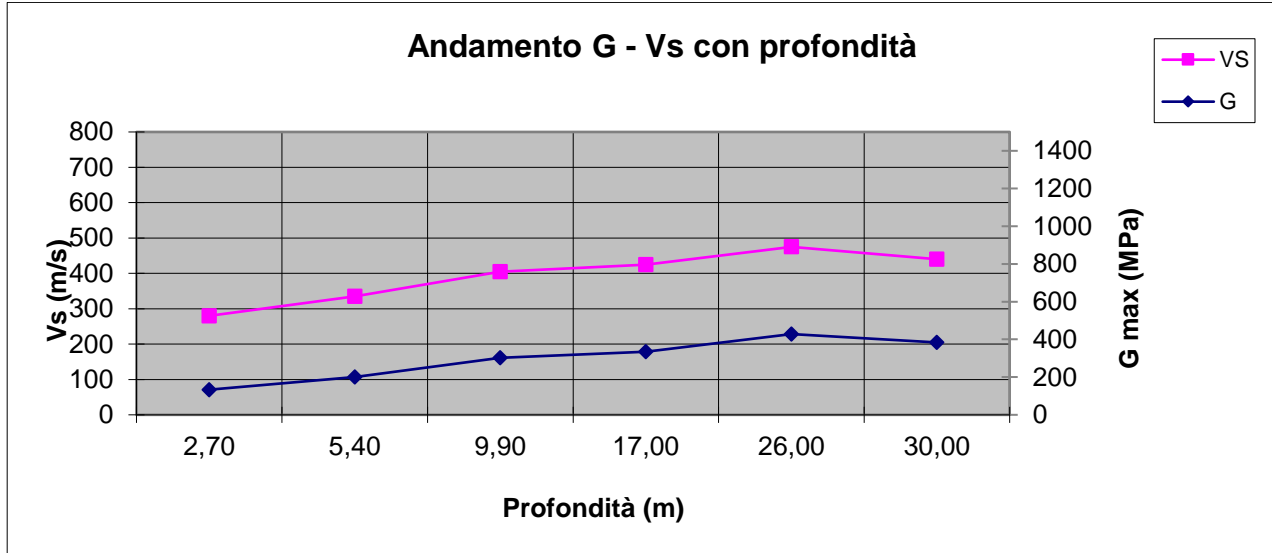
$$T_d = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$


Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,181
0,132	0,445
0,396	0,445
2,204	0,080



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
2,70	1,70	280	133
5,40	1,79	335	201
9,90	1,84	405	302
17,00	1,85	425	335
26,00	1,90	475	428
30,00	1,98	440	383

V_{seq} = 407.84 m/s



	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

5 INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR

Durante la campagna di analisi state condotte anche delle indagini geofisiche a tecnica passiva (HVSR); sono state infatti eseguite delle registrazioni al fine di evidenziare le caratteristiche di risposta sismica in termini di frequenza caratteristica del sito in base ai valori d'impedenza sismica rilevata.

I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo rivelano principalmente la frequenza caratteristica di risonanza del sito. Essa rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento delle opere in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nel realizzare opere aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, al fine di evitare effetti di "doppia risonanza", estremamente pericolosi per la stabilità delle stesse.


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

- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

Possiamo esprimere questo concetto come:

segnale registrazione al sito x = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento, ecc.) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente al sito le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso opportune tecniche.

Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un Tromografo digitale "TROMINO", prodotto da Micromed S.p.a., dotato di n. 3 sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente.

L'accorgimento adottato è stato quello di verificare che i geofoni fossero posizionati in bolla e che la loro componente longitudinale fosse rivolta verso Nord. Il tempo di acquisizione è stato di 30 minuti e le finestre temporali prese in considerazione per l'acquisizione sono di 20 secondi ciascuna.

La relazione che si applica per il calcolo della profondità delle superfici con i maggiori contrasti di impedenza è la seguente:

$$T_s = 2\pi / \omega = 4H / V_s \quad (1)$$

dove:

T_s = periodo della vibrazione (s)

ω = frequenza misurata (rad)

H = profondità del sismostrato (m)

V_s = velocità delle onde di taglio (m/s)

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si è potuto ricavare il valore di frequenza caratteristica di ogni sito.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	Strumentazione per prove HVSR
1	Sismografo -Tromografo digitale "TROMINO", prodotto da Micromed S.p.a.
1	2 Batterie 1.5 V
1	Bussola per corretto orientamento della stazione sismica

CONDIZIONI DI CONGRUITA'

La prima condizione, prima di procedere all'estrazione di qualsiasi informazione e interpretazione, riguarda la verifica di "congruità" della curva H/V; in pratica bisogna verificare l'attendibilità della curva ottenuta secondo i seguenti criteri:

f_0 (freq. di picco) $> 10 / l_w$ (lunghezza finestra temporale); questa condizione è proposta in maniera tale che, alla frequenza di interesse, in ogni finestra ci siano almeno 10 cicli significativi (tab. 1). Se i dati lo permettono è possibile verificare se la condizione f_0 (freq. di picco) $> 20 / l_w$, il che renderebbe il picco eventuale ancora più significativo, ma questo non è obbligatorio.

C'è bisogno di un grande numero di cicli e di finestre: quando si usa la selezione automatica delle finestre temporali con i parametri di default, il numero totale di cicli significativi: $nc = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ deve essere > 200 (ad esempio per un picco di 1 Hz ci devono essere almeno 20 finestre da 10 secondi ciascuna, o per un picco da 0.5 Hz 10 finestre da 40 secondi).

È necessario che ci sia un valore di *scattering* basso tra tutte le finestre: deviazioni standard elevate spesso sono dovute a rumore ambientale non stazionario che può perturbare il segnale e tradursi in un risultato non significativo relativamente alla determinazione del picco di frequenza H/V. Comunque si raccomanda che $\sigma_A(f)$ sia minore di un fattore 2 (per $f_0 > 0.5$ Hz), o un fattore 3 (per $f_0 < 0.5$ Hz), in un range di frequenze di almeno $[0.5f_0, 2f_0]$.

f_0 [Hz]	Minimum value for l_w [s]	Minimum number of significant cycles (nc)	Minimum number of windows	Minimum useful of signal duration [s]	Recommended minimum record duration [min]
0.2	50	200	10	1000	30'
0.5	20	200	10	400	20'
1	10	200	10	200	10'
2	5	200	10	100	5'
5	5	200	10	40	3'
10	5	200	10	20	2'

Tabella 4.7.1: Durata della registrazione raccomandata.

Nel nostro caso specifico è sempre stata utilizzata una durata di 30 minuti (1800 s) e un

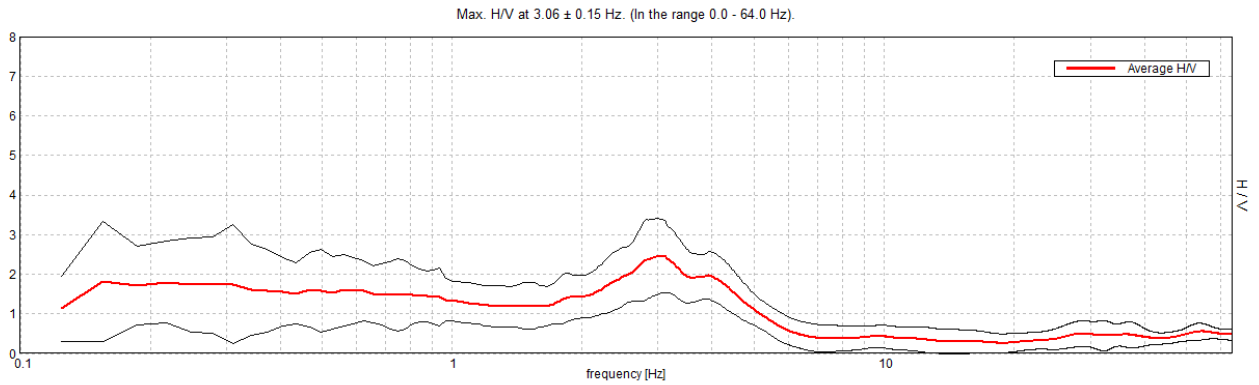
valore delle finestre temporali di 20 s. Di seguito si riportano le curve H/V ottenute.

6 RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSr)

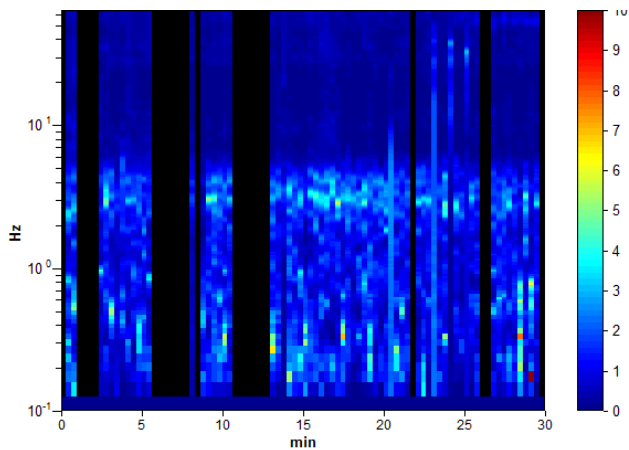
6.1 HVSr1

Strumento: TRZ-0017/01-09 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51
 Inizio registrazione: 11/10/21 11:36:28 Fine registrazione: 11/10/21 12:06:29
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile
 Durata registrazione: 0h30'00". Analizzato 73% tracciato (selezione manuale)
 Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s
 Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

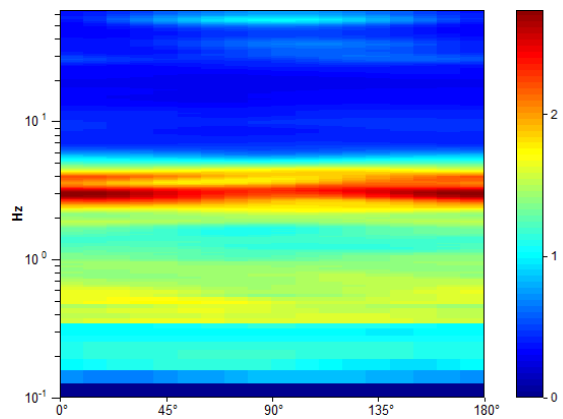
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



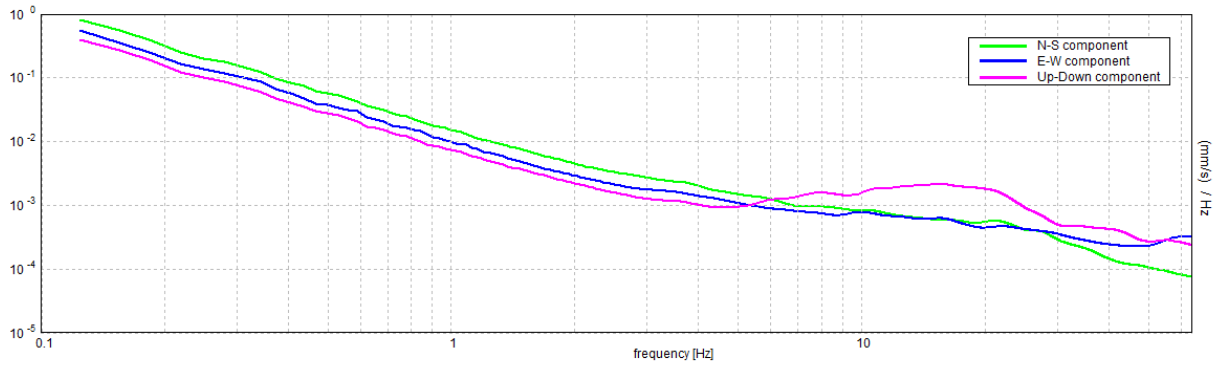
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

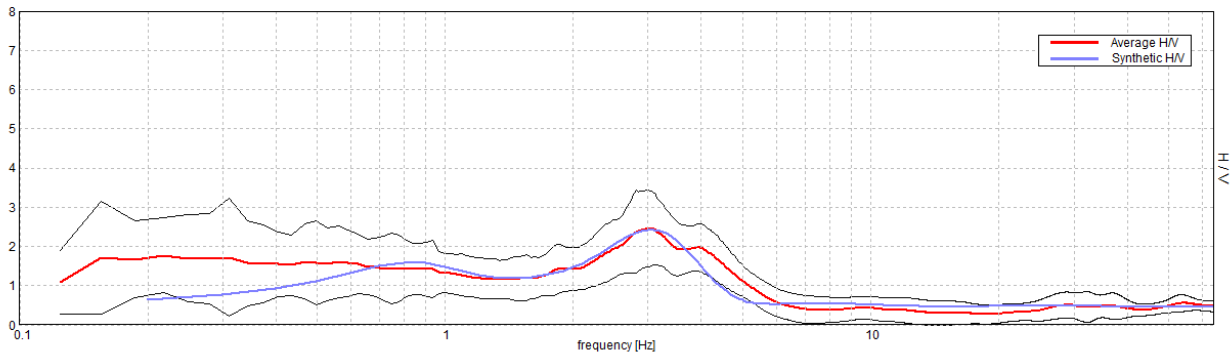


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

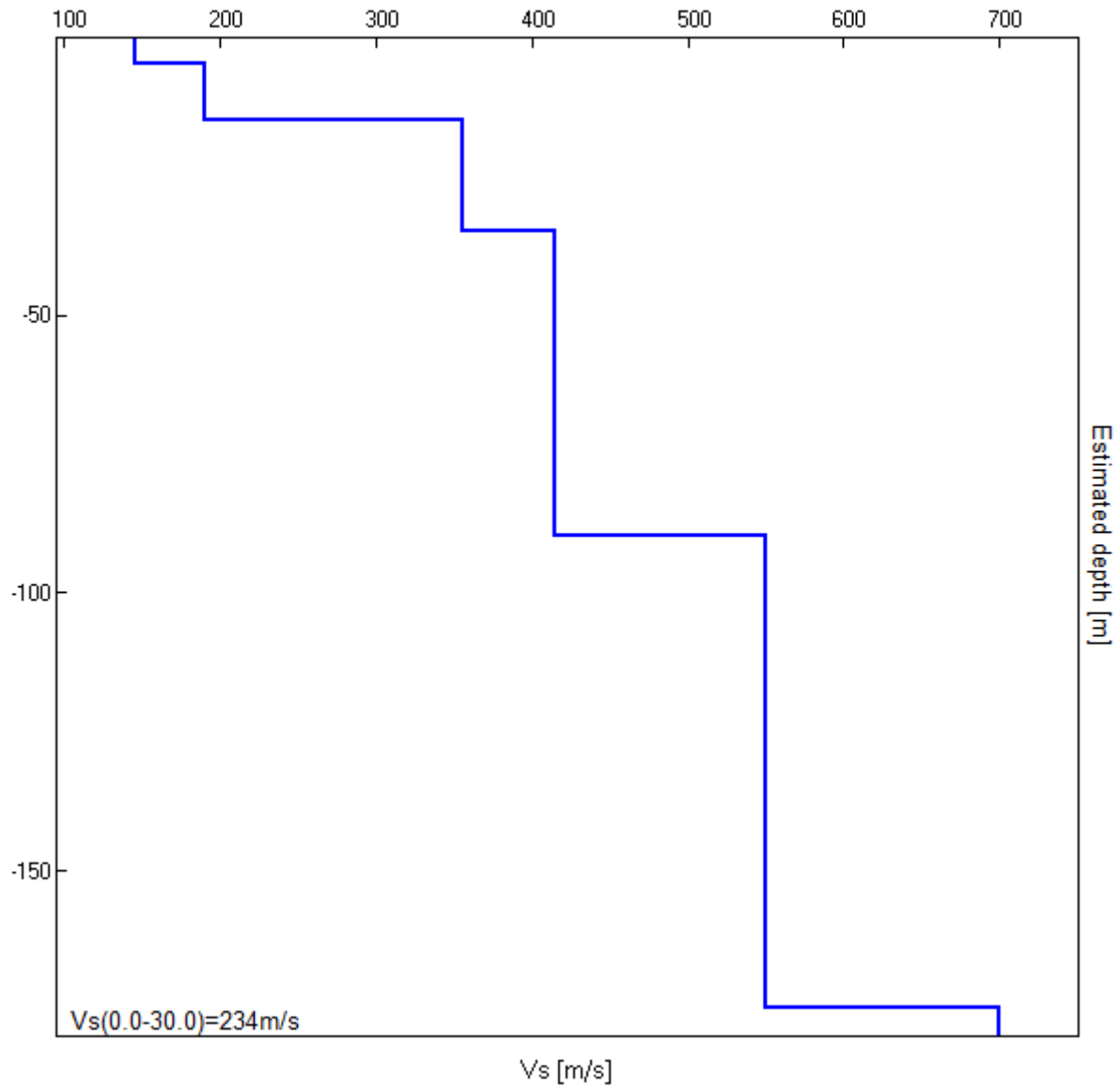
Max. H/V at 3.06 ± 0.16 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz)



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
4.70	4.70	145	0.35
14.70	10.00	190	0.35
34.70	20.00	355	0.35
89.70	55.00	415	0.35
174.70	85.00	550	0.35
inf.	inf.	700	0.35

$V_{seq} = 234 \text{ m/s}$

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* ($V_s = 800 \text{ m/s}$) risulta essere maggiore di 170 metri.



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

Picco H/V a 3.06 ± 0.16 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.06 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4042.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 148	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.656 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.46 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02585 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.07918 < 0.15313$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.47 < 1.58$	OK	

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

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

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



Figura 6.1: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica HVS1.

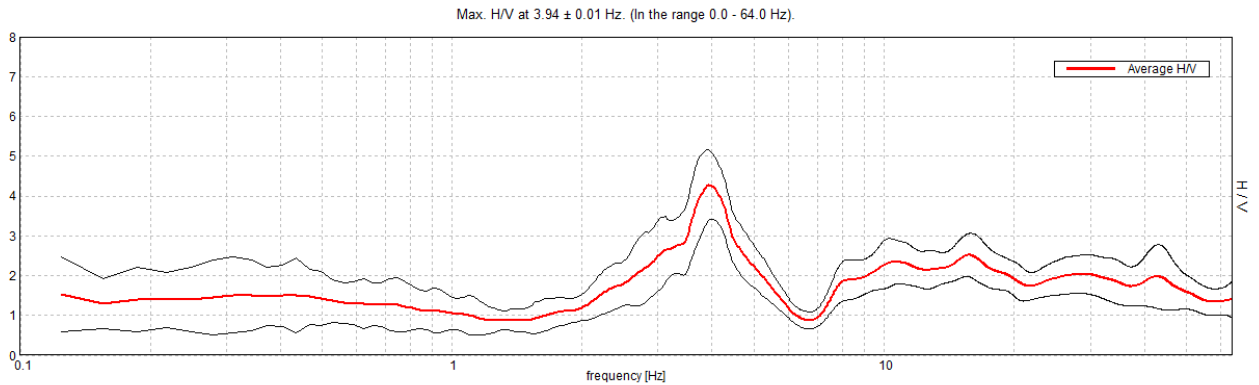


Figura 6.2: Foto relativa all'esecuzione della prova HVS1.

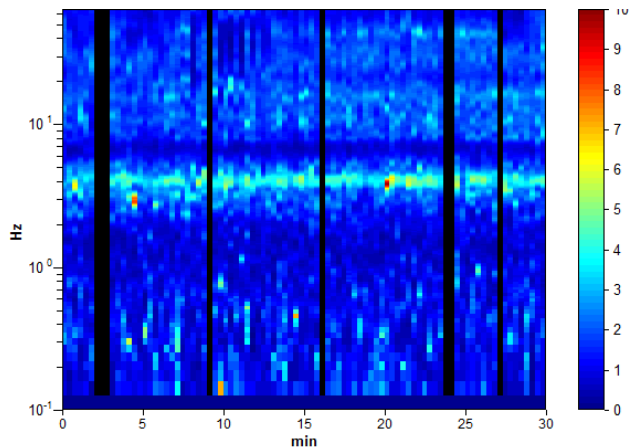
6.2 HVSR2

Strumento: TRZ-0017/01-09	Formato dati: 16 byte	Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 11/10/21 12:16:18	Fine registrazione: 11/10/21 12:46:19	
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN	Dato GPS non disponibile	
Durata registrazione: 0h30'00".	Analizzato 91% tracciato (selezione manuale)	
Freq. campionamento: 128 Hz	Lunghezza finestre: 20 s	
Tipo di lisciamento: Triangular window	Lisciamento: 10%	

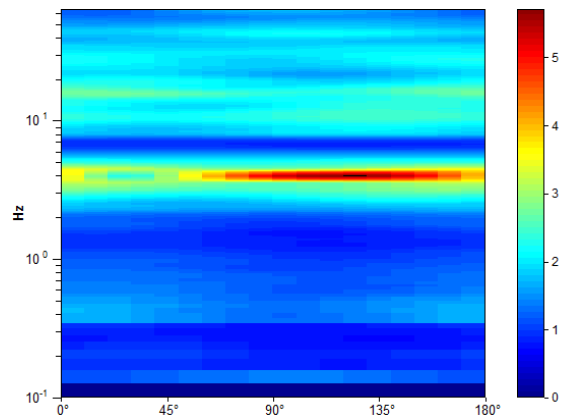
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



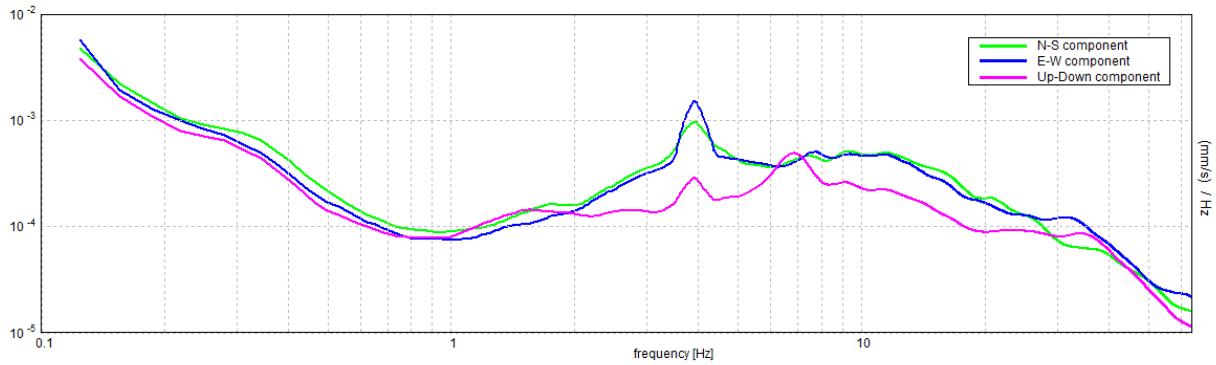
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

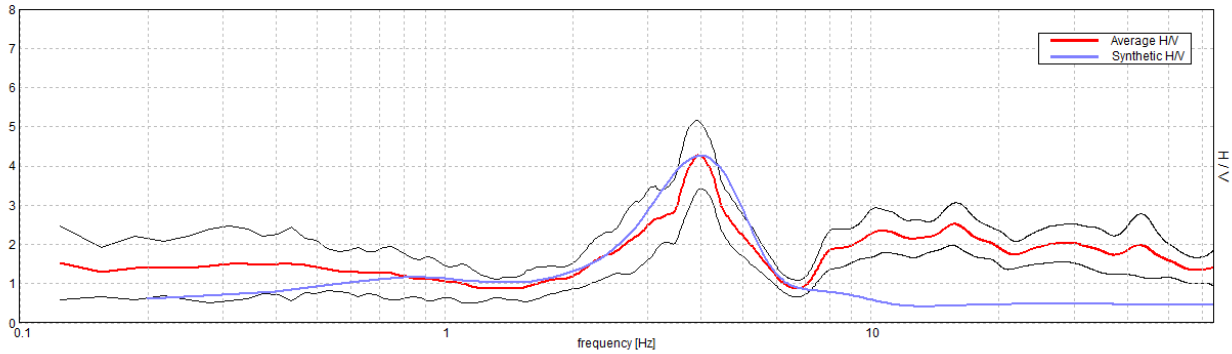


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

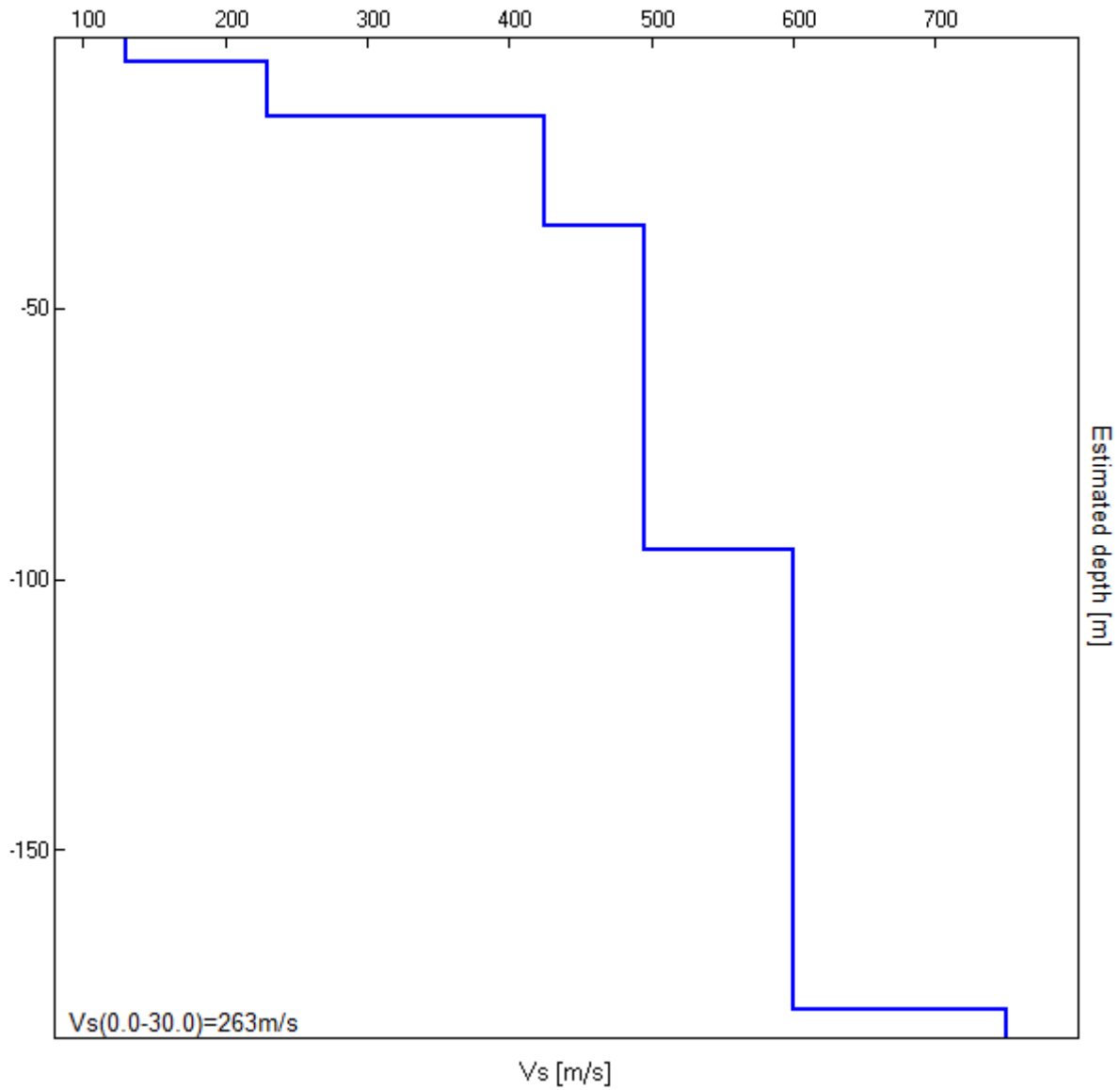
Max. H/V at 3.94 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
4.30	4.30	130	0.35
14.60	10.30	230	0.35
34.60	20.00	425	0.35
94.60	60.00	495	0.35
179.60	85.00	600	0.35
inf.	inf.	750	0.35

V_{seq} = 263 m/s

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* ($V_s = 800$ m/s) risulta essere superiore a 170 metri.



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

Picco H/V a 3.94 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.94 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$6457.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 190	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.719 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.125 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.27 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0014 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00552 < 0.19688$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4442 < 1.58$	OK	

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

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

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



Figura 6.3: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica HVS2.

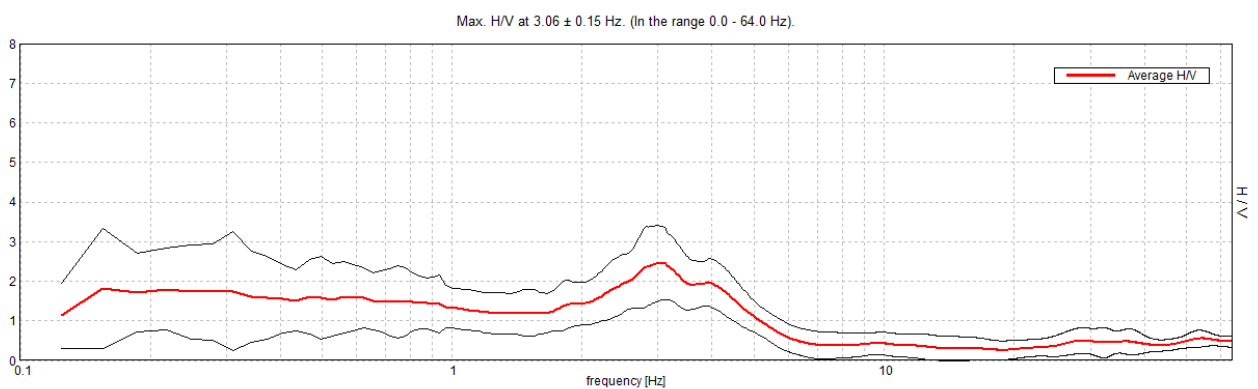


Figura 6.4: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR2.

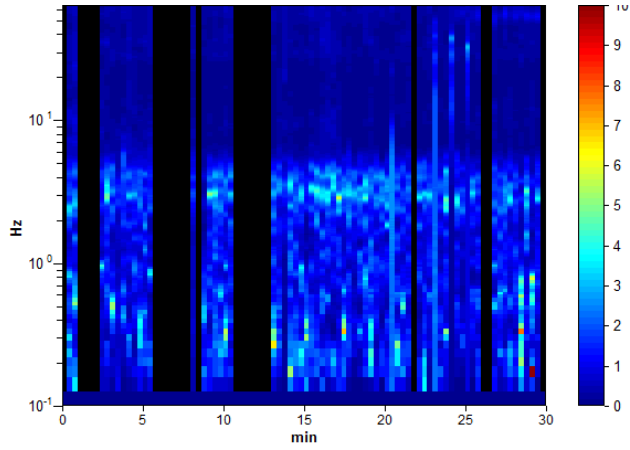
6.3 HVSR3

Strumento: TRZ-0017/01-09	Formato dati: 16 byte	Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 11/10/21 11:36:28	Fine registrazione: 11/10/21 12:06:29	
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN		Dato GPS non disponibile
Durata registrazione: 0h30'00".	Analizzato 73% tracciato (selezione manuale)	
Freq. campionamento: 128 Hz	Lunghezza finestre: 20 s	
Tipo di lisciamento: Triangular window	Lisciamento: 10%	

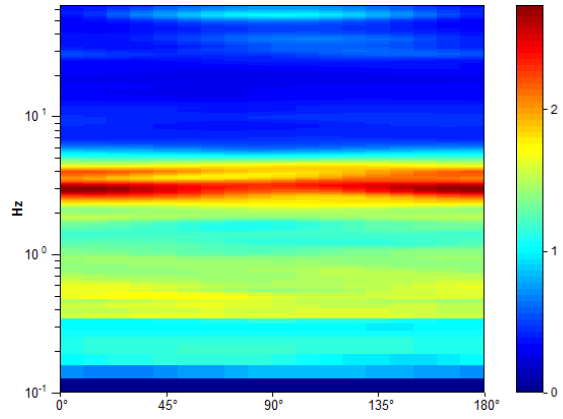
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



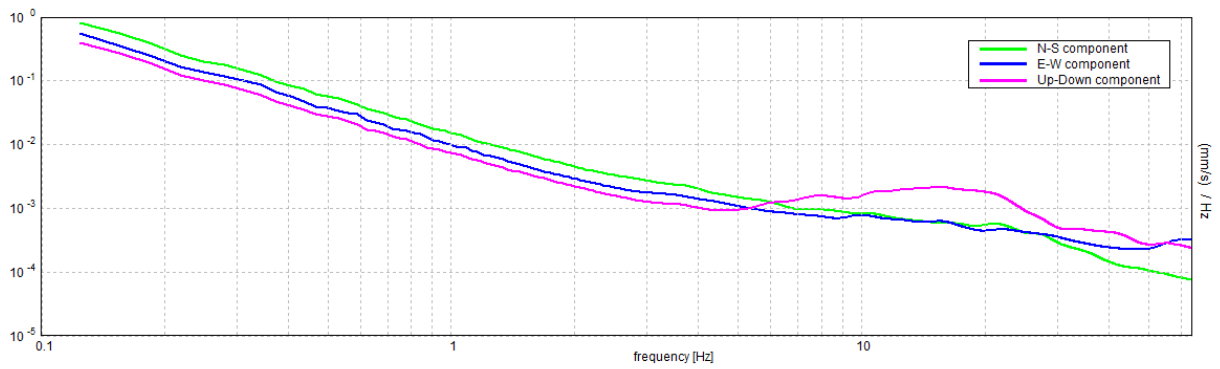
SERIE TEMPORALE H/V



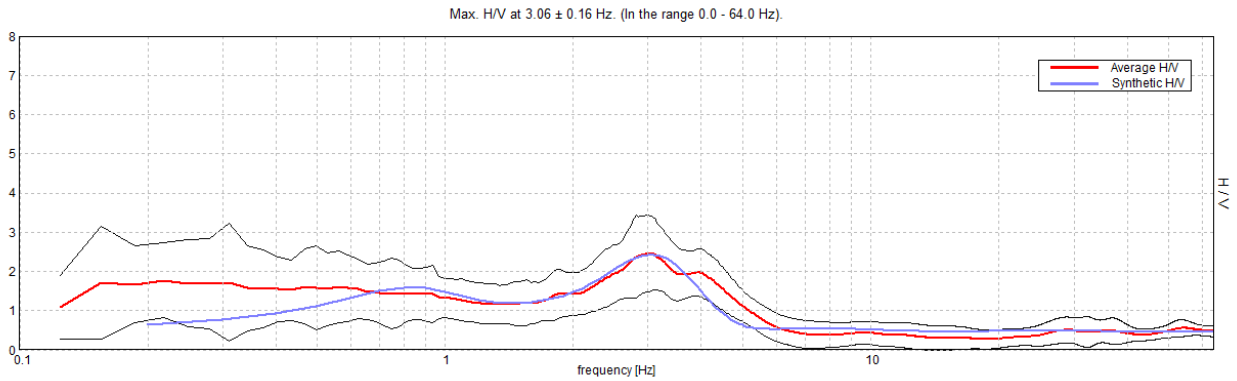
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



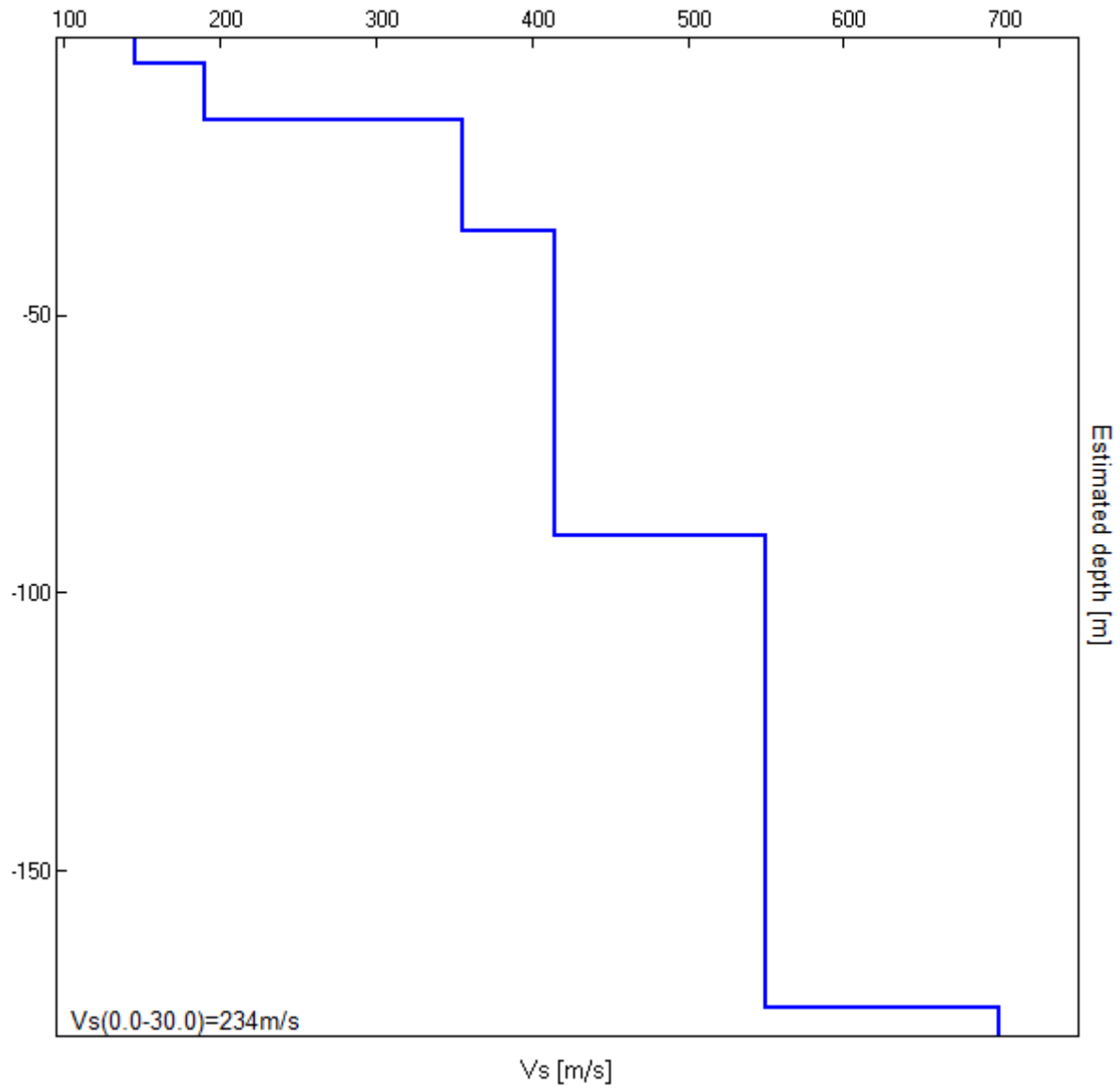
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
4.70	4.70	145	0.35
14.70	10.00	190	0.35
34.70	20.00	355	0.35
89.70	55.00	415	0.35
174.70	85.00	550	0.35
inf.	inf.	700	0.35

V_{seq} = 234 m/s

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* (Vs = 800 m/s) risulta essere superiore a 170 metri.



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

Picco H/V a 3.06 ± 0.16 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.06 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4042.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 148	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.656 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.875 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.46 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02585 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.07918 < 0.15313$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.47 < 1.58$	OK	

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

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

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



Figura 6.5: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica HVS3.

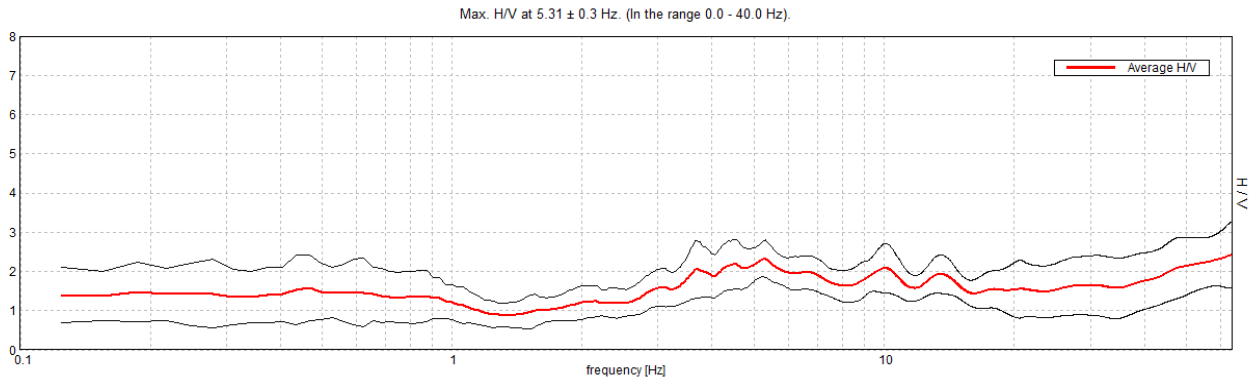


Figura 6.6: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR3.

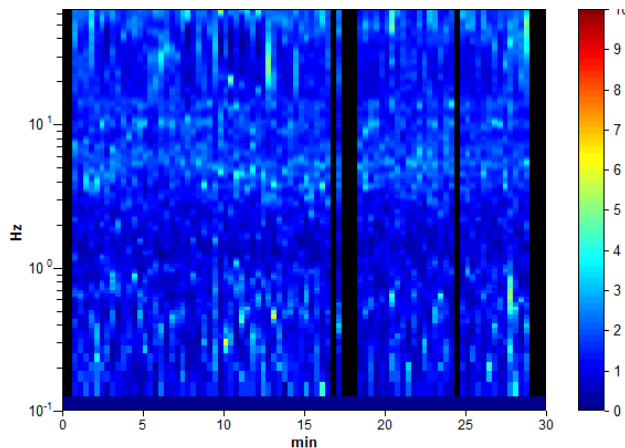
6.4 HVSR4

Strumento: TRZ-0017/01-09	Formato dati: 16 byte	Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 11/10/21 14:29:56	Fine registrazione: 11/10/21 14:59:57	
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN	Dato GPS non disponibile	
Durata registrazione: 0h30'00".	Analizzato 89% tracciato (selezione manuale)	
Freq. campionamento: 128 Hz	Lunghezza finestre: 20 s	
Tipo di lisciamento: Triangular window	Lisciamento: 10%	

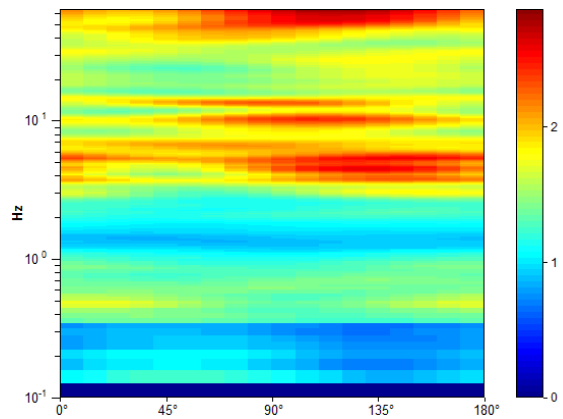
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



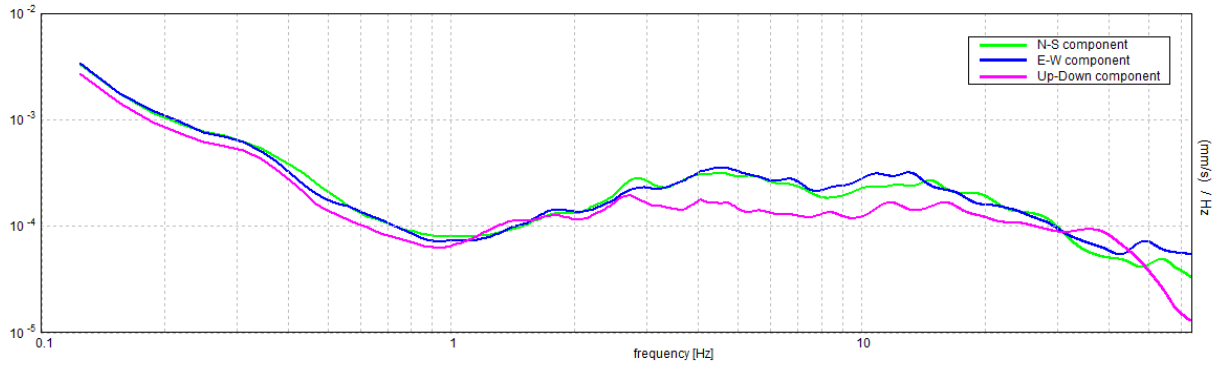
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

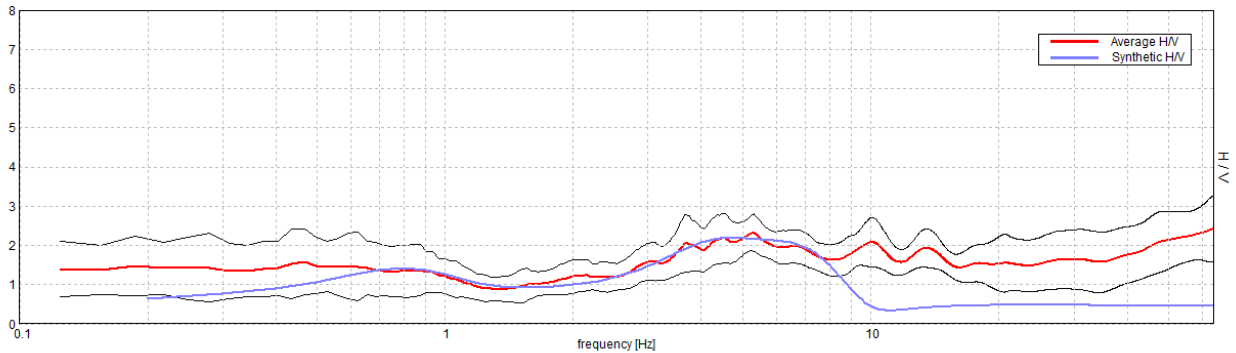


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 5.31 ± 0.3 Hz. (In the range 0.0 - 40.0 Hz).

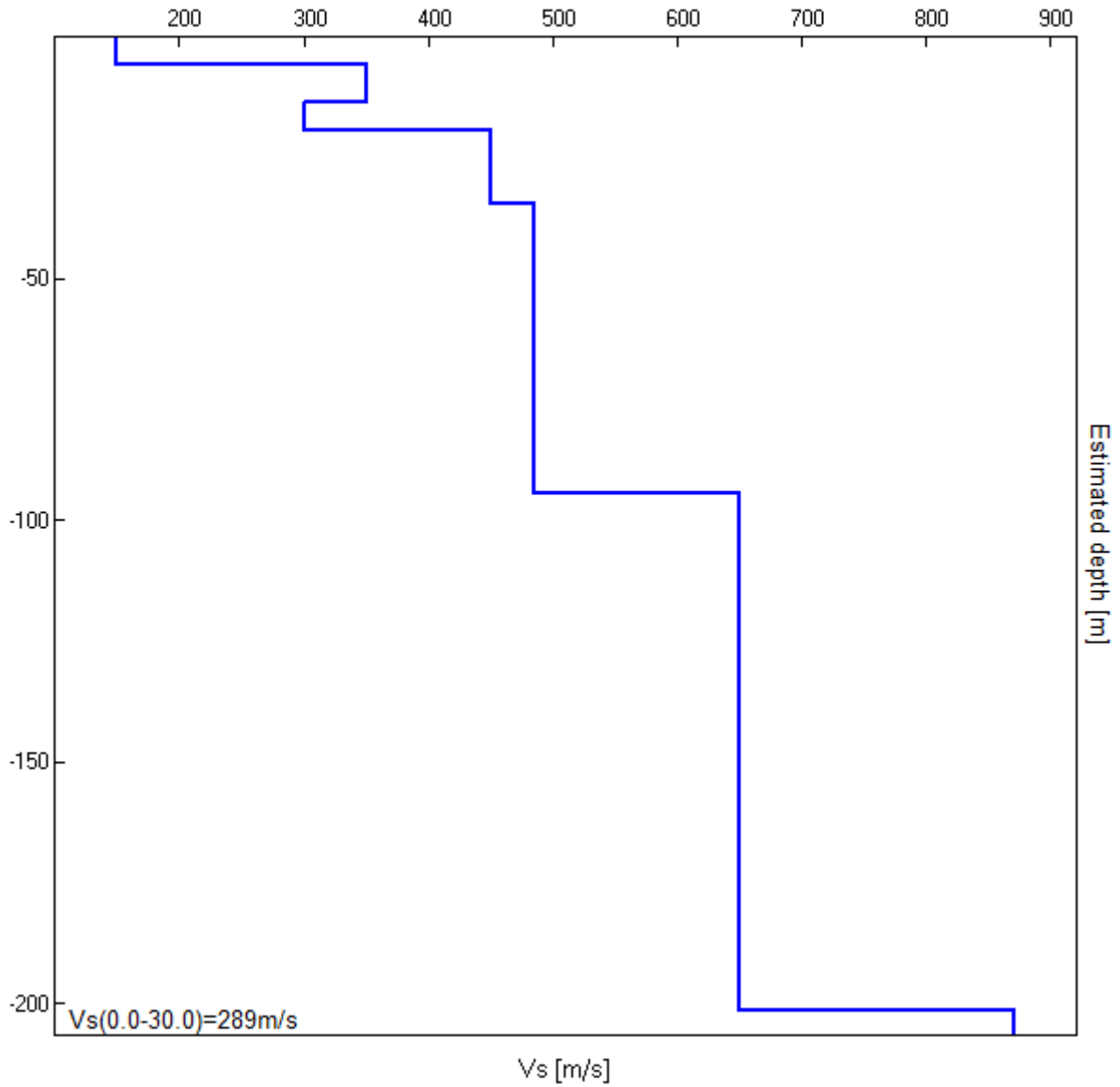


Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
5.80	5.80	150	0.35
13.40	7.60	350	0.35
19.40	6.00	300	0.35
34.40	15.00	450	0.35
94.40	60.00	485	0.35
201.40	107.00	650	0.35
inf.	inf.	870	0.35

V_{seq} = 289 m/s

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* (Vs = 800 m/s) risulta essere di

circa 200 metri.



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

Picco H/V a 5.31 ± 0.3 Hz (nell'intervallo 0.0 - 40.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$5.31 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$8500.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 256	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.906 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.32 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02823 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.14998 < 0.26563$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2408 < 1.58$	OK	

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

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

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58

$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20
---	------	------	------	------	------



Figura 6.7: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica HVS4.

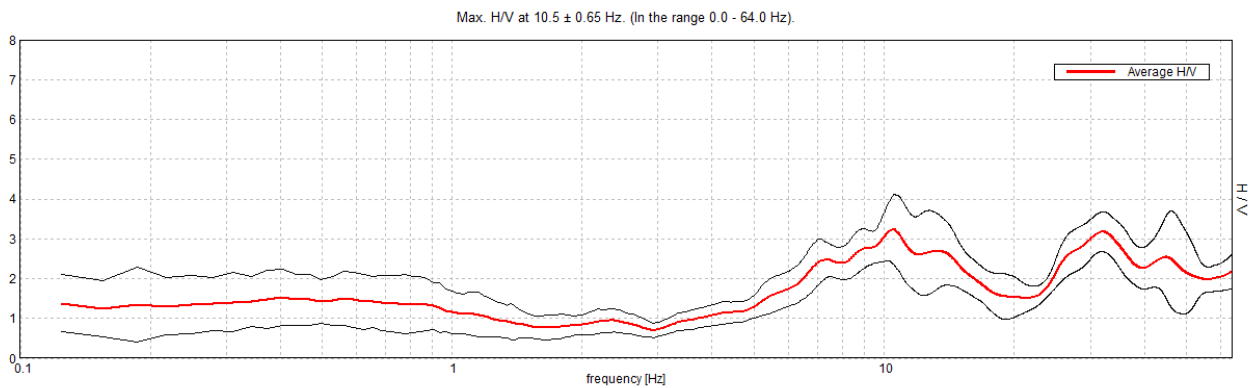


Figura 6.8: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR4.

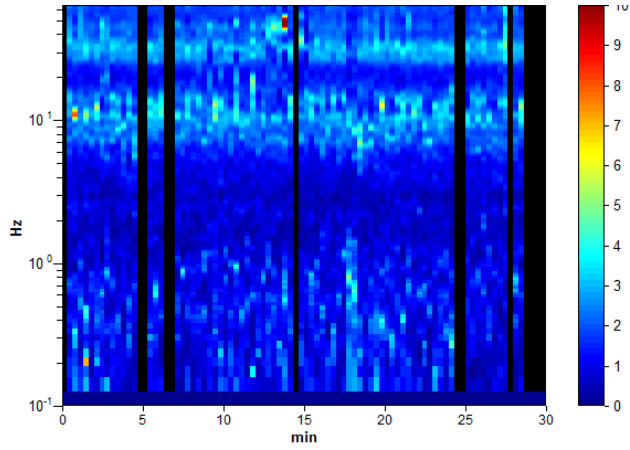
6.5 HVSR5

Strumento: TRZ-0017/01-09	Formato dati: 16 byte	Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 11/10/21 15:10:11	Fine registrazione: 11/10/21 15:40:12	
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN	Dato GPS non disponibile	
Durata registrazione: 0h30'00".	Analizzato 86% tracciato (selezione manuale)	
Freq. campionamento: 128 Hz	Lunghezza finestre: 20 s	
Tipo di lisciamiento: Triangular window	Lisciamiento: 10%	

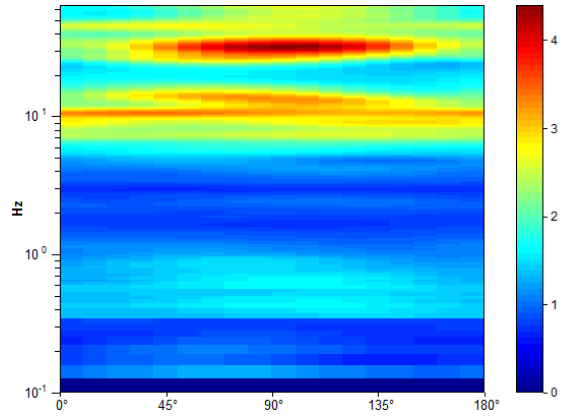
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



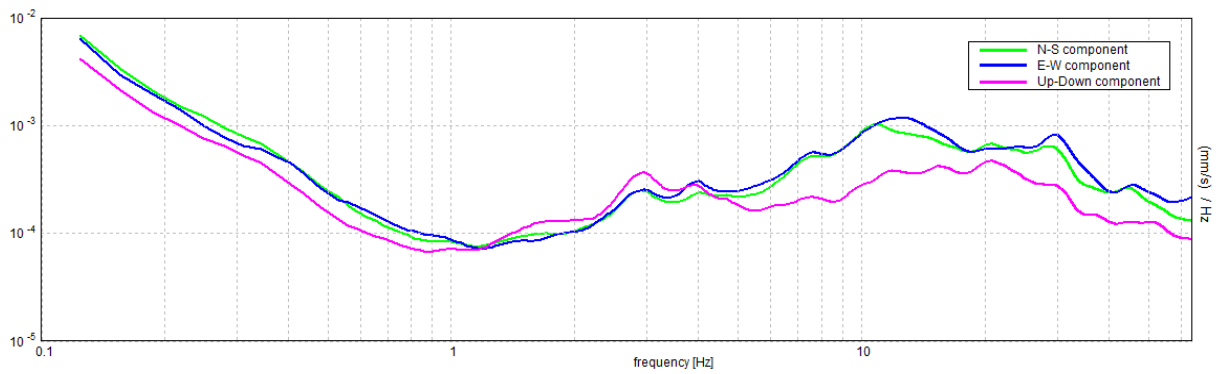
SERIE TEMPORALE H/V



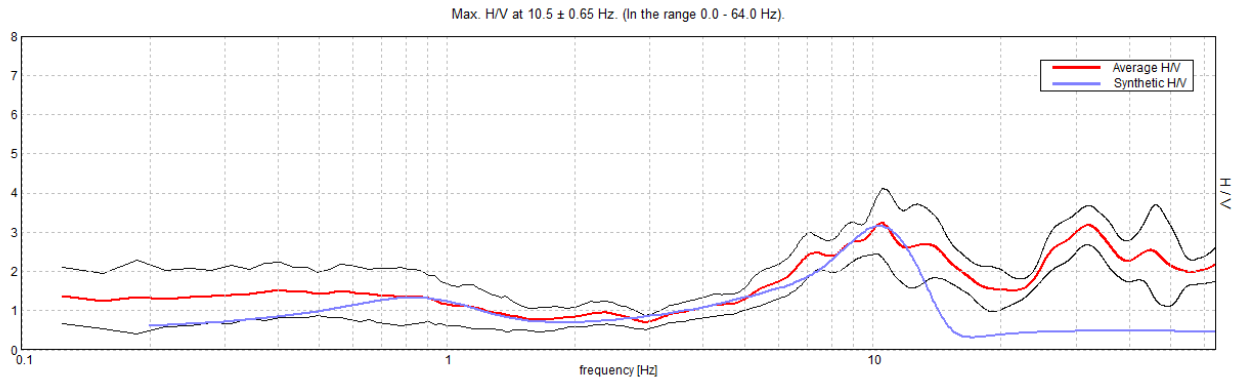
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



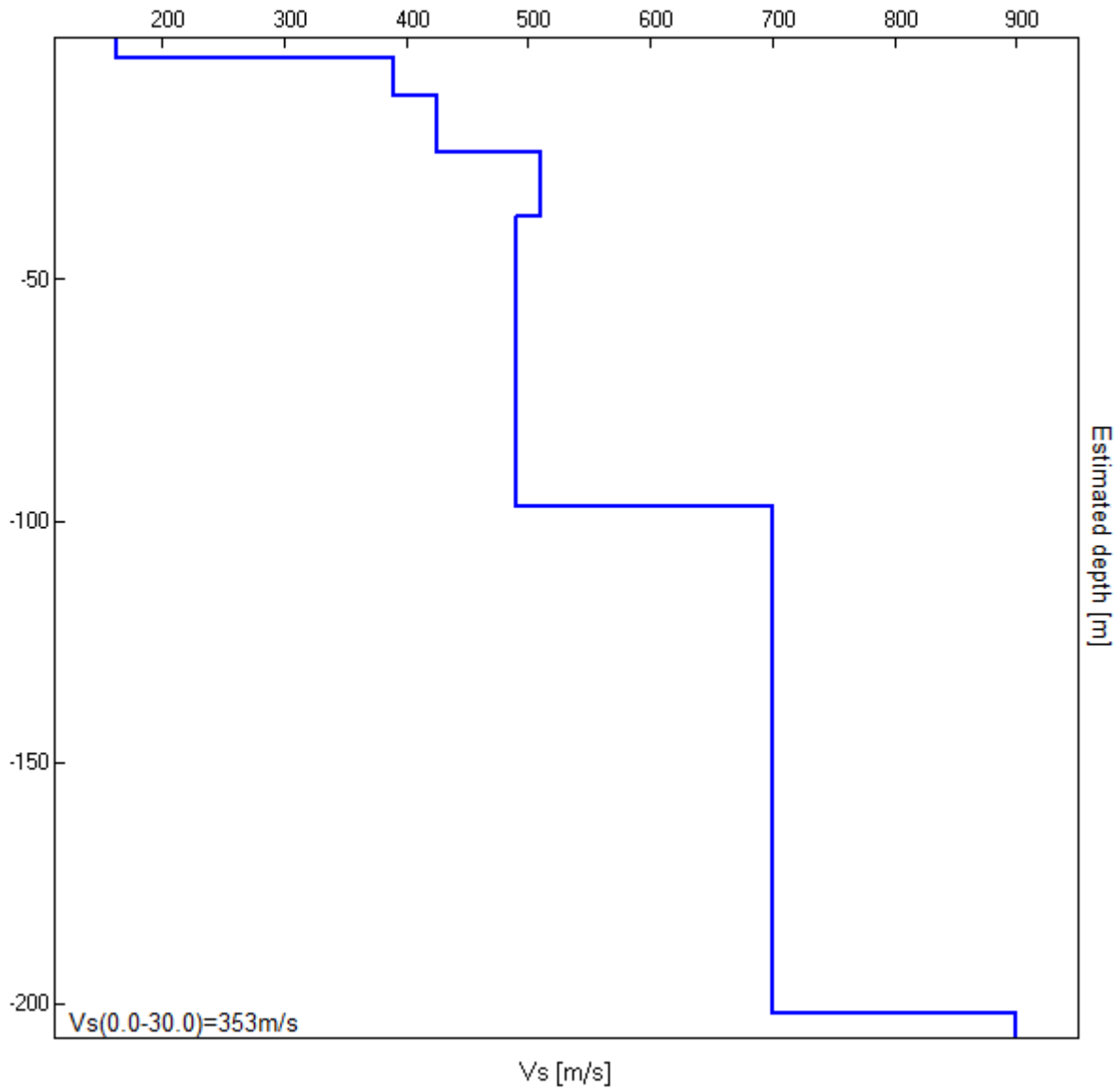
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
4.00	4.00	162	0.35
11.90	7.90	390	0.35
23.70	11.80	425	0.35
37.00	13.30	510	0.35
97.00	60.00	490	0.35
202.00	105.00	700	0.35
inf.	inf.	900	0.35

V_{seq} = 353 m/s

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* (Vs = 800 m/s) risulta essere di circa 200 metri.



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

Picco H/V a 10.5 ± 0.65 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$10.50 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$16170.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 505	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.563 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	18.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.23 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0311 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.32659 < 0.525$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4302 < 1.58$	OK	

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

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

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



Figura 6.9: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica HVS5.



Figura 6.10: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR5.

6.6 HVSR6

Strumento: TRZ-0017/01-09

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 11/10/21 15:52:04

Fine registrazione: 11/10/21 16:22:05

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h30'00".

Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)

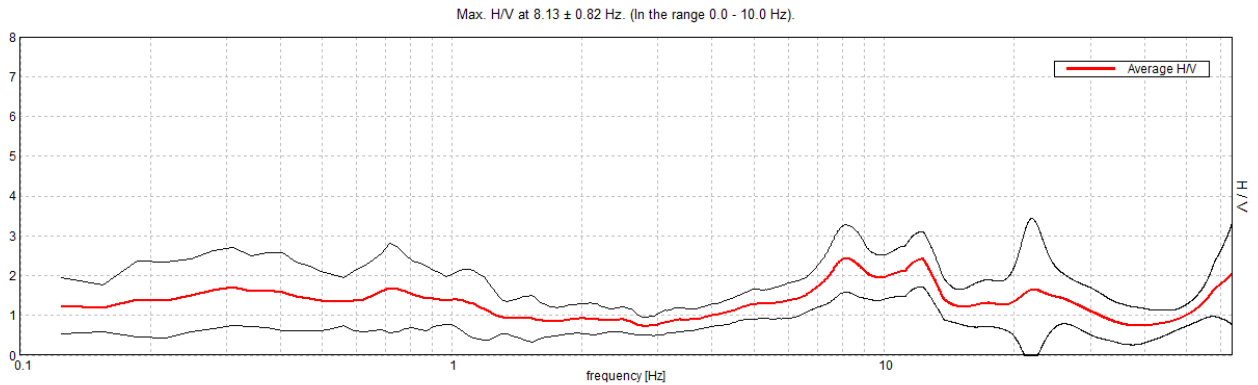
Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

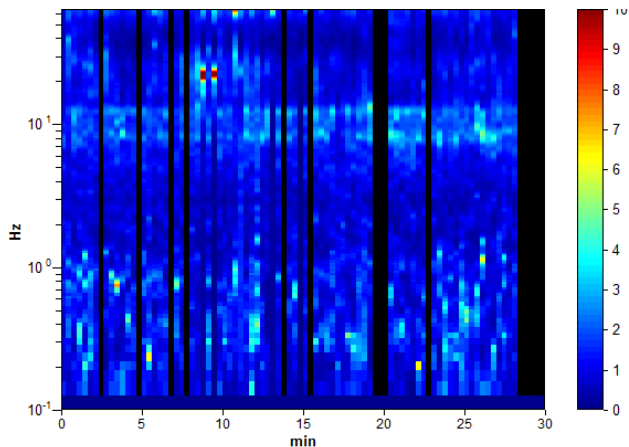
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

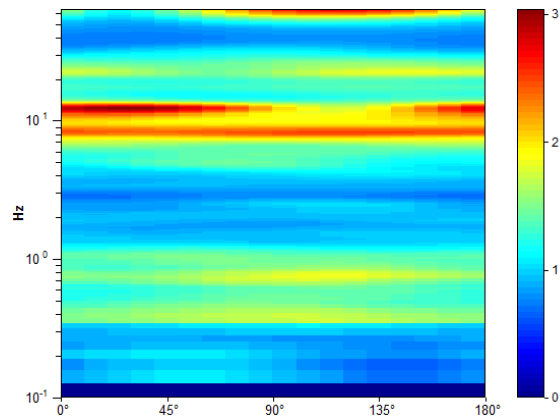
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



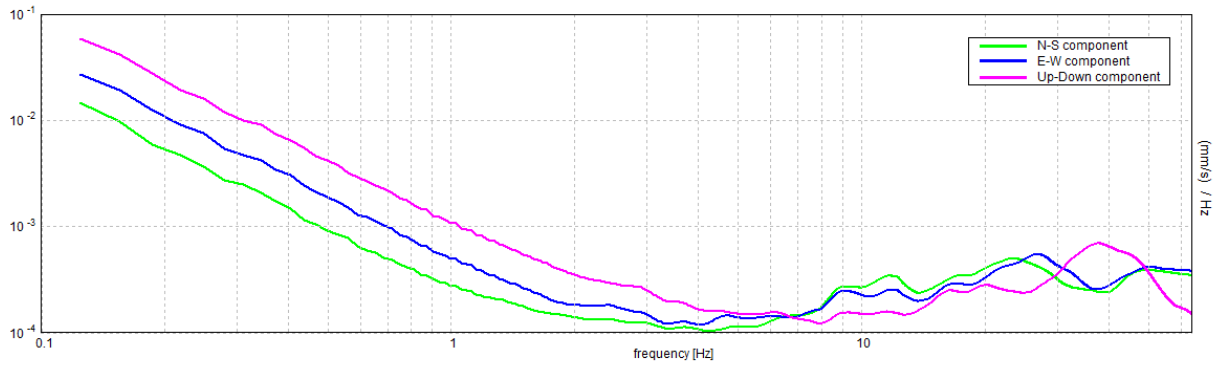
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V

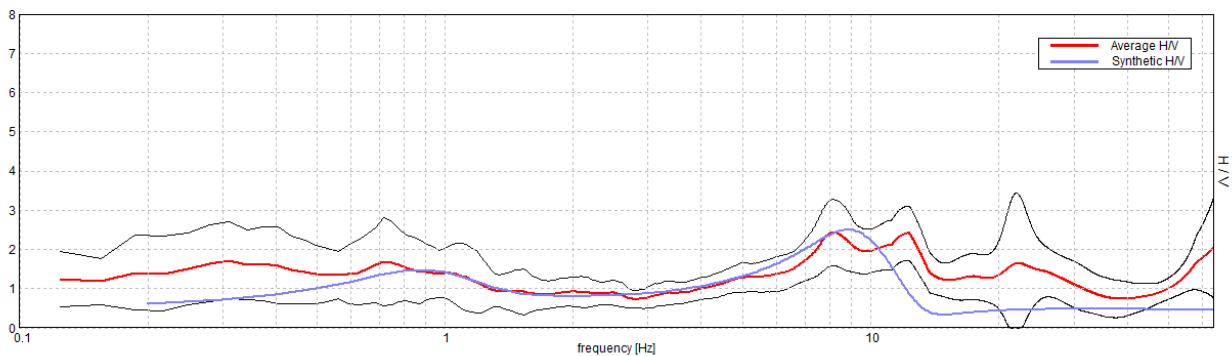


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

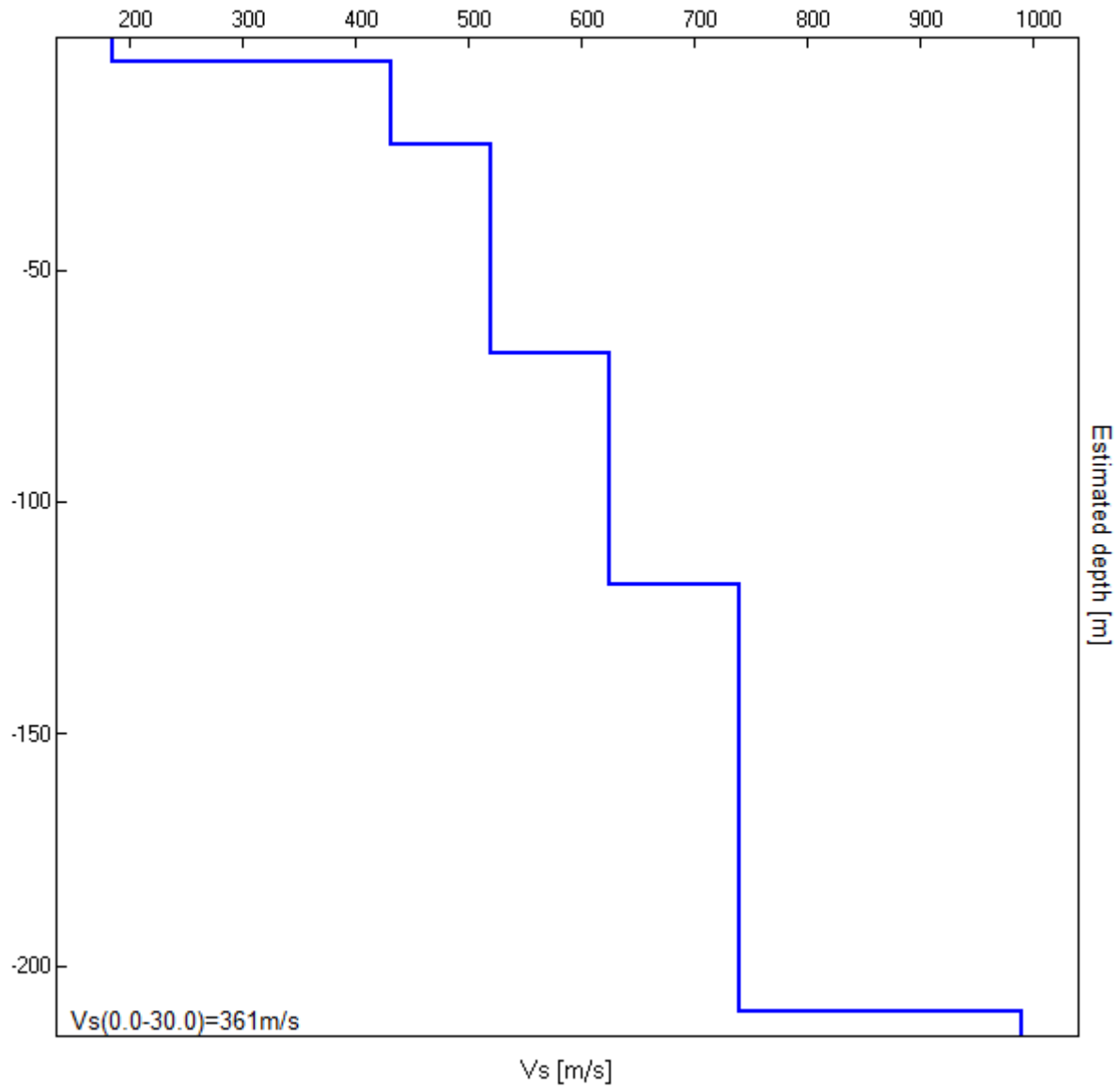
Max. H/V at 8.13 ± 0.82 Hz. (In the range 0.0 - 10.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
5.30	5.30	185	0.35
23.00	17.70	432	0.35
68.00	45.00	520	0.35
118.00	50.00	625	0.35
210.00	92.00	740	0.35
inf.	inf.	990	0.35

$V_{seq} = 361 \text{ m/s}$

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* ($V_s = 800 \text{ m/s}$) risulta essere di poco superiore a 120 metri.



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

Picco H/V a 8.13 ± 0.82 Hz (nell'intervallo 0.0 - 10.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$8.13 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$12187.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 391	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.688 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	15.063 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.43 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0501 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.40706 < 0.40625$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4248 < 1.58$	OK	

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

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

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



Figura 6.11: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica HVSR6.

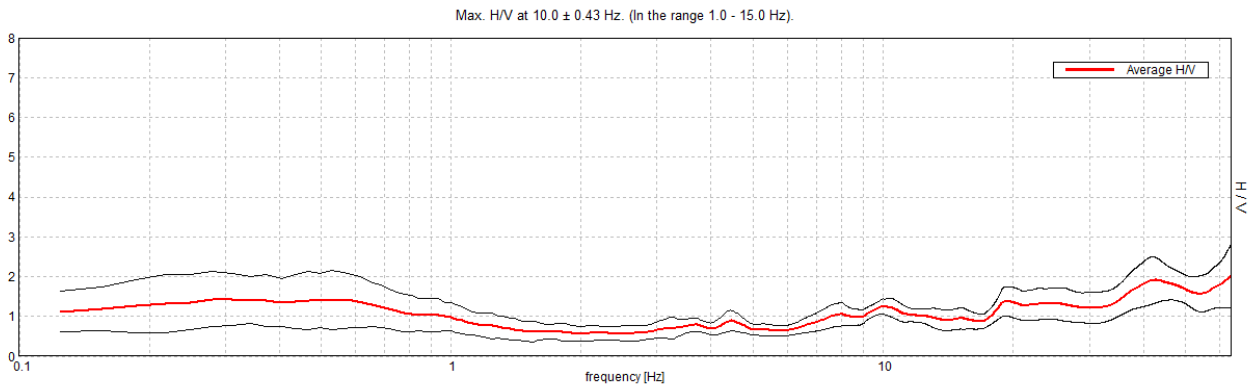


Figura 6.12: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR6.

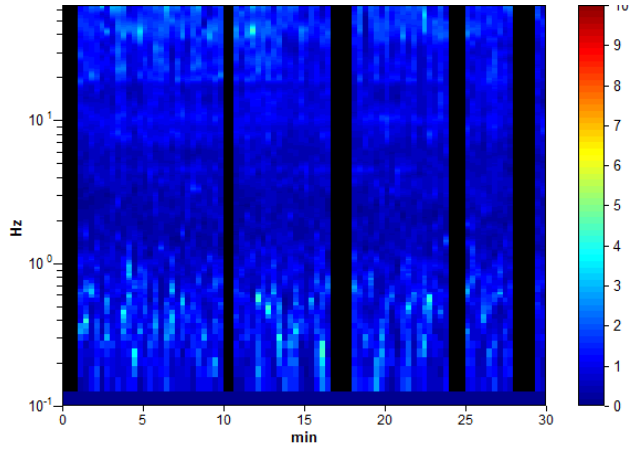
6.7 HVSR7

Strumento: TRZ-0017/01-09	Formato dati: 16 byte	Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 11/10/21 16:46:47	Fine registrazione: 11/10/21 17:16:48	
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN	Dato GPS non disponibile	
Durata registrazione: 0h30'00".	Analizzato 82% tracciato (selezione manuale)	
Freq. campionamento: 128 Hz	Lunghezza finestre: 20 s	
Tipo di lisciamento: Triangular window	Lisciamento: 10%	

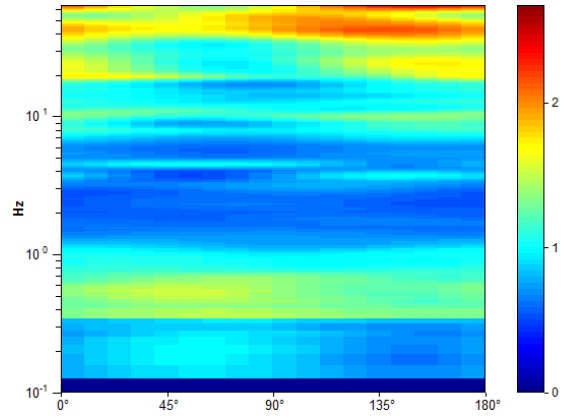
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



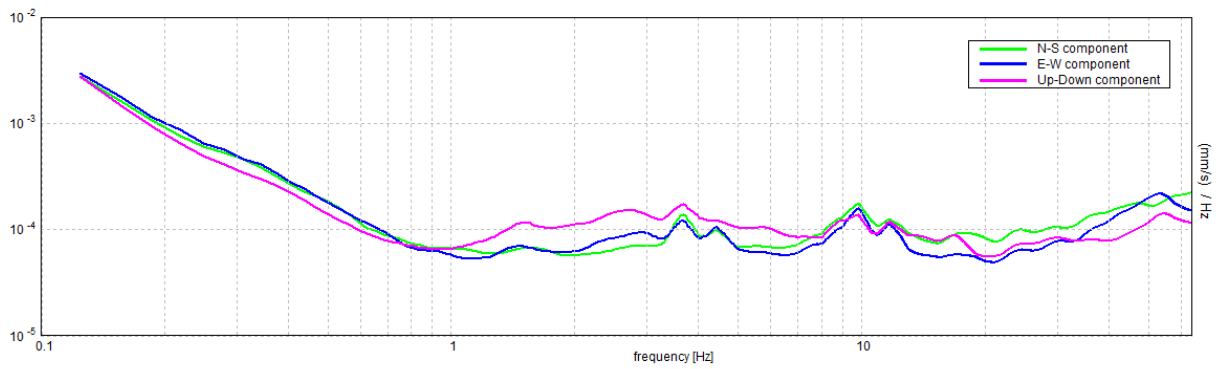
SERIE TEMPORALE H/V



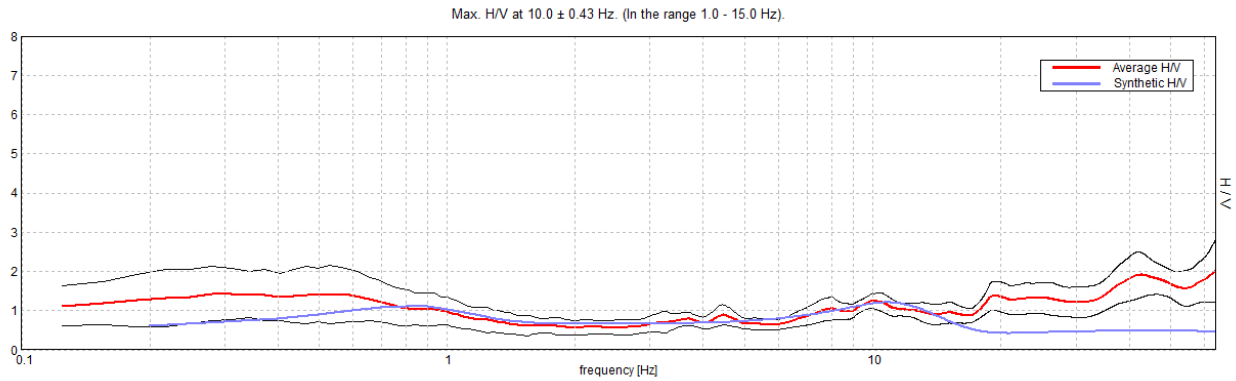
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



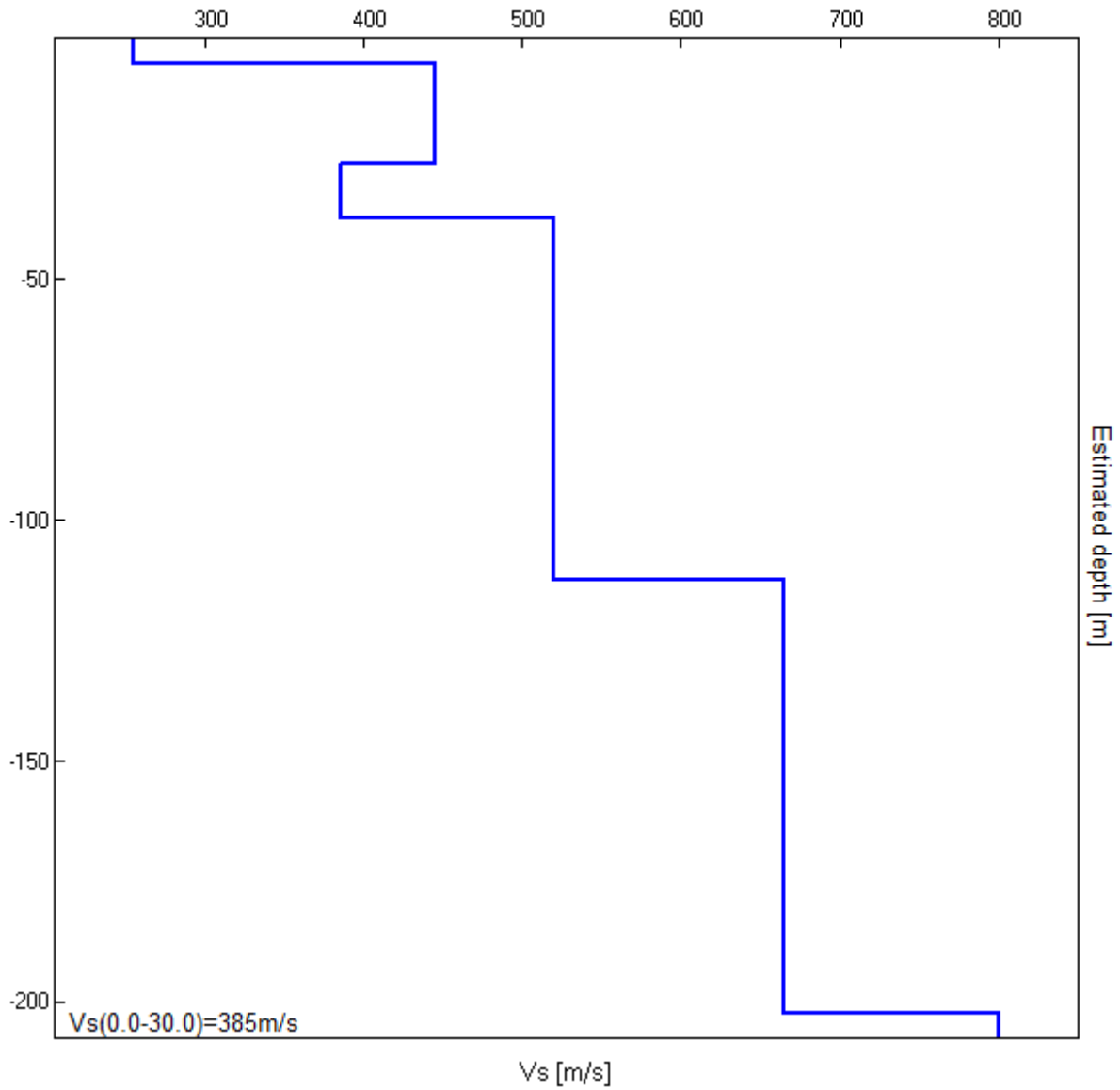
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
5.40	5.40	255	0.35
26.00	20.60	445	0.35
37.30	11.30	385	0.35
112.30	75.00	520	0.35
202.30	90.00	665	0.35
inf.	inf.	800	0.35

V_{seq} = 385 m/s

Lo spessore della coltre detritica al di sopra del *bedrock* (Vs = 800 m/s) risulta essere di circa 200 metri.



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

Picco H/V a 10.0 ± 0.43 Hz (nell'intervallo 1.0 - 15.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$10.00 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$14800.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 481	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	2.906 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$1.25 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02151 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.21513 < 0.5$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.0941 < 1.58$	OK	

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

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


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



Figura 6.13: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova sismica HVS7.



Figura 6.14: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSr7.

	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

7 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWN-HOLE

Lo scopo della prova sismica down-hole consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde SH), calcolando il tempo a esse necessario per raggiungere il geofono ricevitore (all'interno del foro di sondaggio) dalla zona sorgente (su piano campagna a distanza nota dal foro). Si suppone che il volume di terreno, interessato dalle indagini sia stratificato orizzontalmente e che all'interno di ogni strato il comportamento del terreno si possa considerare elastico, omogeneo e isotropo.

La prova consiste nel produrre in superficie sollecitazioni verticali, per la generazione di onde di compressione P, e orizzontali, per la generazione di onde di taglio polarizzate orizzontalmente S_H , e nel registrare l'istante di primo arrivo del treno d'onde a un sistema composto da un geofono da foro (in questo caso costituito da 5 sensori di cui uno polarizzato verticalmente e quattro polarizzati sul piano orizzontale orientati a 45° l'uno rispetto all'altro), ancorati a profondità nota nel foro di sondaggio (Figura 7.1: Rappresentazione schematica di un carotaggio sismico per il down-hole.).

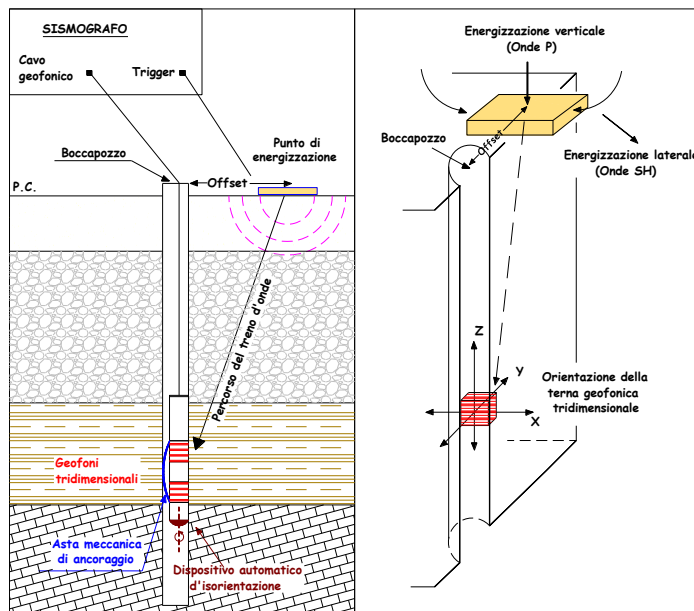



Figura 7.1: Rappresentazione schematica di un carotaggio sismico per il down-hole.

Conosciuta la distanza tra la sorgente e i ricevitori e determinato il tempo di propagazione, è possibile stimare in maniera accurata la distribuzione delle velocità sismiche (P e SH) in corrispondenza della verticale di misura.

Per generare le onde di compressione P è stata utilizzata una massa battente da 8 kg. Per le onde SH è stato invece utilizzato, come sorgente, un apposito dispositivo, la cui forma permette colpi laterali su entrambi i lati. Il sistema energizzante adottato è in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza, con forme d'onda ripetibili e direzionali, vale a dire con la possibilità di ottenere prevalentemente onde di compressione e/o di taglio polarizzate su piani orizzontali, ed eventualmente anche verticali. Come sistema di ricezione è stata utilizzata una sonda meccanizzata al cui interno sono alloggiati cinque ricevitori, ciascuno dei quali è costituito da un trasduttore di velocità. Il trasduttore verticale è orientato secondo la lunghezza della sonda, mentre i trasduttori orizzontali, sono disposti in direzioni a essa perpendicolare e a 45° l'uno dall'altro. I trasduttori hanno

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

una frequenza propria di 12 Hz ed una sensibilità tale da poter ricevere in maniera adeguata il treno d'onde prodotto dalla sorgente. La sonda possiede un'asta meccanica motorizzata che garantisce l'aderenza tra i ricevitori e le pareti del rivestimento. Il sistema d'acquisizione dati è di tipo multicanale ed è in grado di registrare su ciascun canale in forma digitale le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica a 24 bit.

Le prove down-hole si sono sviluppate secondo le seguenti fasi:

- Dopo ad aver predisposto un opportuno piano d'appoggio, il dispositivo sorgente è stato collocato sulla superficie in prossimità del foro ad una distanza di 3.0 metri e orientato con direzione perpendicolare al raggio condotto dal foro.
- Il sistema, costituito dai cinque ricevitori, è stato calato a fondo foro.
- Dopo aver calato il dispositivo si è provveduto ad ancorare quest'ultimo alle pareti del foro.
- Campionamento del rumore ambientale.
- È stato quindi attivato il dispositivo sorgente in modo da produrre una sollecitazione che, attivando il trigger, si propaga dalla sorgente verso i ricevitori con vibrazioni di tipo compressivo; di seguito (con energizzazione separata e distinta) sono state generate vibrazioni di tipo SH, dirette perpendicolarmente alla direzione di percussione e polarizzate sul piano orizzontale. Per ottenere una buona qualità dei dati, è necessario produrre alla sorgente due onde di polarità opposta e sommare le registrazioni d'ogni singolo arrivo, in modo da individuare in modo migliore l'istante di primo arrivo (metodo *cross-over*).
- La prova è stata quindi ripetuta con interdistanza fra le misure pari a 1.0 metri per tutto la lunghezza del foro di sondaggio.

Nel presente rilievo sono stati impiegati rispettivamente fondo scala di 0.2 secondi e passo di campionamento di 0,125 millisecondi. I tempi relativi alle onde P ed SH sono stati letti attraverso uno specifico programma di picking (Intersism - precisione dell'ordine di 0,1 millisecondi).

Per avere un buon controllo sulla procedura di lettura dei tempi e valutare al contempo la qualità dei dati sismici acquisiti per tutto il tragitto di ogni sondaggio, i valori numerici dei primi arrivi delle onde sismiche P ed SH sono stati riportati su sezioni tempo/tracce ove le varie tracce sono scelte in funzione dell'orientamento del sistema ricevitore/sorgente.

Tale procedura consente di ottenere delle forme d'onda più definite nelle ampiezze. In particolare, con riferimento alle onde di taglio sono state scelte le tracce riferite alla differenza tra la battuta destra e quella sinistra.

I tempi di arrivo delle onde di compressione e di taglio sono stati riportati in un diagramma profondità – tempi e solo dopo la correzione rispetto alla verticale sono state determinate le velocità puntuali in corrispondenza di ogni singola stazione (grafico velocità – profondità). In seguito, sono state calcolate anche le velocità intervallari delle onde P ed SH nel terreno metro per metro e riportate nel rispettivo grafico.

8 RISULTATI INDAGINE SISMICA DOWN-HOLE

8.1 DH BH5



Figura 8.1: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova down-hole BH5.



Figura 8.2: Foto relativa all'esecuzione della prova down-hole BH5.

Di seguito si riporta la tabella con i valori dei tempi d'arrivo sperimentali (in millisecondi) e delle velocità puntuali medie (in metri/secondo), ricavate dai tempi corretti in funzione della profondità di indagine (espressa in metri dal piano campagna). I grafici relativi sono riportati nelle figure Figura 8.3 e Figura 8.4.

depth	P-time	S _H -time	P-punctual velocity	S _H -punctual velocity
m	ms	ms	m/s	m/s
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	6.87	18.00	460.30	175.68
2	8.38	20.82	430.26	173.18
3	9.56	21.56	443.79	196.78
4	10.73	23.44	465.98	213.31
5	12.23	26.13	476.77	223.15
6	13.80	29.12	486.10	230.36
7	15.30	31.80	497.76	239.49
8	16.52	33.93	517.19	251.81
9	17.47	35.60	543.04	266.48
10	18.16	37.28	574.91	280.05
11	18.85	38.96	604.87	292.65
12	19.55	40.39	632.70	306.25
13	20.27	41.86	658.20	318.72
14	21.00	43.34	681.80	330.36
15	21.80	44.92	701.70	340.54
16	22.60	46.50	720.30	350.08
17	23.35	47.95	739.30	360.01
18	24.11	49.41	756.88	369.32
19	24.97	51.10	770.34	376.43
20	25.84	53.05	782.65	381.22
21	26.56	54.45	798.69	389.59
22	27.29	55.91	813.62	397.13
23	28.11	57.75	825.15	401.64
24	28.94	59.67	835.76	405.34
25	29.71	61.16	847.50	411.70
26	30.45	62.61	859.52	418.02

depth	P-time	S _H -time	P-punctual velocity	S _H -punctual velocity
27	31.20	64.09	870.71	423.88
28	31.63	65.35	890.30	430.91
29	32.05	66.60	909.66	437.79
30	32.50	67.86	927.68	444.29
31	32.99	69.90	944.07	445.56
32	33.45	71.73	960.85	448.07
33	33.92	74.14	976.89	446.94
34	34.35	76.24	993.66	447.69
35	34.89	79.59	1006.83	441.37
36	35.37	82.64	1021.34	437.13
37	35.82	85.03	1036.33	436.57
38	36.31	87.55	1049.80	435.39
39	36.77	89.64	1063.78	436.36
40	37.23	91.73	1077.42	437.29

Nella seguente tabella sono riportate le velocità intervallari (in metri/secondo) per ciascun metro di indagine; il grafico relativo è riportato in Figura 8.5.

depth	P-interval velocity	S _H -interval velocity
m	m/s	m/s
0	0.0	0.0
1	460.30	175.68
2	403.89	170.74
3	473.59	270.54
4	548.23	285.16
5	525.45	273.65
6	538.81	274.77
7	581.45	314.16
8	711.62	393.57
9	904.70	499.13
10	1218.58	516.89
11	1263.15	532.07

depth	P-interval velocity	S _H -interval velocity
12	1281.25	626.23
13	1274.50	623.46
14	1277.24	628.95
15	1186.51	598.90
16	1195.81	603.91
17	1279.12	659.28
18	1270.23	659.04
19	1133.17	575.72
20	1124.01	502.92
21	1353.28	694.60
22	1339.23	669.09
23	1198.85	535.44
24	1186.75	514.32
25	1279.02	660.01
26	1331.68	678.89
27	1316.01	666.37
28	2268.47	781.19
29	2326.27	791.52
30	2179.42	780.20
31	2008.48	487.39
32	2139.64	542.92
33	2097.61	413.45
34	2291.67	474.06
35	1833.27	298.13
36	2060.63	327.30
37	2197.75	417.13
38	2022.09	395.79
39	2153.68	476.75
40	2155.00	476.84

Il carotaggio sismico *down-hole* ha permesso di stimare i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S_H. La seguente tabella mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati metro per

metro.

Profondità (m da p.c.)	VP (m/s)	VS (m/s)	γ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè λ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
1	460.30	175.68	1.64	0.41	50.42	142.65	245.26	278.87
2	403.89	170.74	1.60	0.39	46.45	129.25	167.02	197.99
3	473.59	270.54	1.64	0.26	120.20	302.37	127.94	208.07
4	548.23	285.16	1.69	0.31	137.31	361.01	232.89	324.43
5	525.45	273.65	1.68	0.31	125.44	329.62	211.60	295.23
6	538.81	274.77	1.68	0.32	127.07	336.54	234.48	319.19
7	581.45	314.16	1.71	0.29	168.53	436.12	240.25	352.61
8	711.62	393.57	1.78	0.28	274.85	703.44	348.87	532.10
9	904.70	499.13	1.86	0.28	462.69	1185.62	594.71	903.17
10	1218.58	516.89	1.97	0.39	525.10	1460.08	1868.22	2218.28
11	1263.15	532.07	1.98	0.39	560.21	1559.78	2036.86	2410.33
12	1281.25	626.23	1.99	0.34	778.12	2090.12	1700.97	2219.72
13	1274.50	623.46	1.98	0.34	770.47	2069.04	1678.79	2192.43
14	1277.24	628.95	1.99	0.34	784.43	2102.19	1666.03	2188.98
15	1186.51	598.90	1.96	0.33	701.37	1864.32	1350.10	1817.68
16	1195.81	603.91	1.96	0.33	714.22	1898.12	1371.89	1848.04
17	1279.12	659.28	1.99	0.32	862.14	2274.53	1521.12	2095.87
18	1270.23	659.04	1.98	0.32	860.38	2264.23	1475.38	2048.97
19	1133.17	575.72	1.94	0.33	642.48	1703.90	1204.06	1632.38
20	1124.01	502.92	1.94	0.37	489.52	1346.03	1466.14	1792.49
21	1353.28	694.60	2.01	0.32	967.30	2555.92	1737.11	2381.98
22	1339.23	669.09	2.00	0.33	895.78	2389.36	1797.18	2394.36
23	1198.85	535.44	1.96	0.38	561.72	1545.19	1692.49	2066.97
24	1186.75	514.32	1.96	0.38	517.29	1432.23	1719.52	2064.37
25	1279.02	660.01	1.99	0.32	864.04	2278.55	1516.71	2092.74
26	1331.68	678.89	2.00	0.32	921.23	2440.17	1702.11	2316.26
27	1316.01	666.37	2.00	0.33	885.55	2351.32	1682.78	2273.15
28	2268.47	781.19	2.21	0.43	1349.68	3867.46	8681.67	9581.46
29	2326.27	791.52	2.22	0.43	1392.24	3994.42	9241.25	10169.41
30	2179.42	780.20	2.20	0.43	1336.05	3811.77	7753.37	8644.07
31	2008.48	487.39	2.16	0.47	513.37	1507.97	7691.10	8033.34
32	2139.64	542.92	2.19	0.47	644.72	1889.79	8723.79	9153.61
33	2097.61	413.45	2.18	0.48	372.48	1102.37	8842.54	9090.86
34	2291.67	474.06	2.22	0.48	498.00	1471.74	10641.52	10973.53
35	1833.27	298.13	2.13	0.49	188.77	561.19	6760.70	6886.55
36	2060.63	327.30	2.17	0.49	232.64	691.89	8755.91	8911.00

Profondità (m da p.c.)	VP (m/s)	VS (m/s)	γ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio G_0 (MPa)	Mod. di elasticità E_d (MPa)	Mod. di Lamè λ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
37	2197.75	417.13	2.20	0.48	382.51	1133.25	9853.37	10108.38
38	2022.09	395.79	2.17	0.48	338.98	1003.42	8169.77	8395.75
39	2153.68	476.75	2.19	0.47	497.75	1467.61	9162.15	9493.99
40	2155.00	476.84	2.19	0.47	498.00	1468.37	9175.31	9507.31

Calcolo della V_{seq} nei primi 30 metri di suolo (**tratto 0-30m**)

Valore $V_{seq} = 444.29$ m/s

Il carotaggio sismico down-hole evidenzia che l'area in esame può essere collocata, secondo la normativa vigente, in **classe sismica B**.

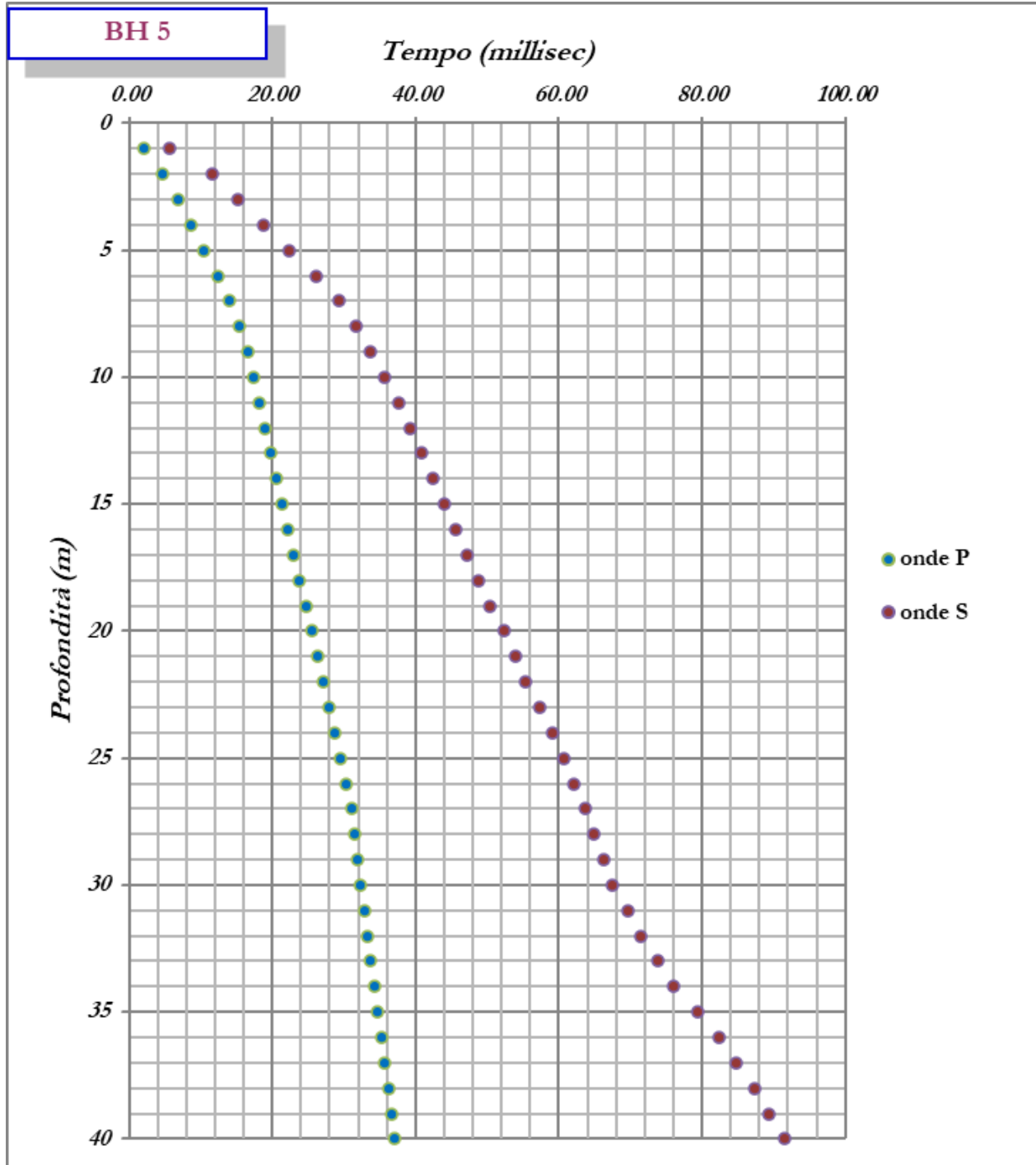


Figura 8.3: Andamento dei tempi-profondità per la prova down-hole BH5 metro per metro.

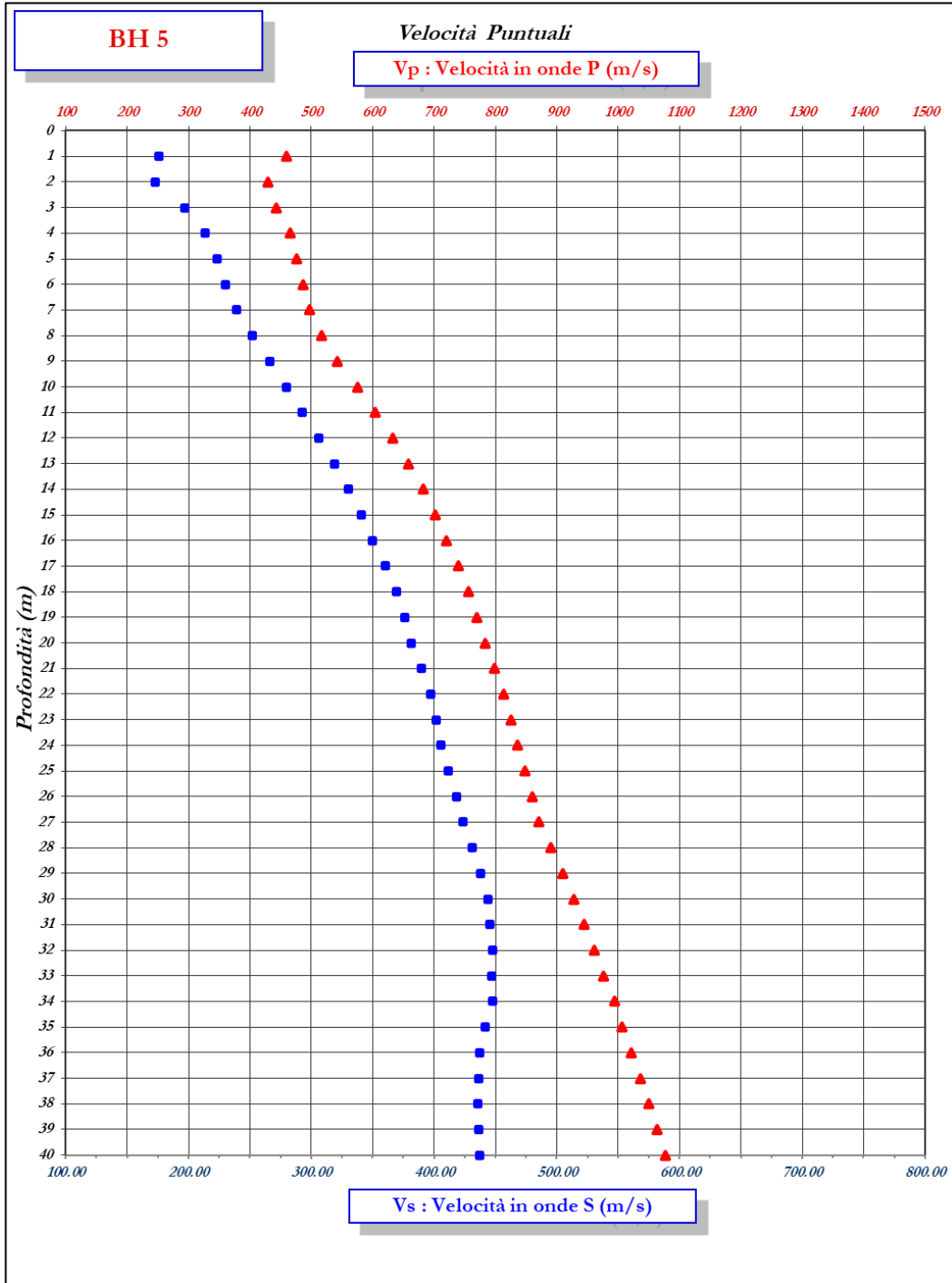
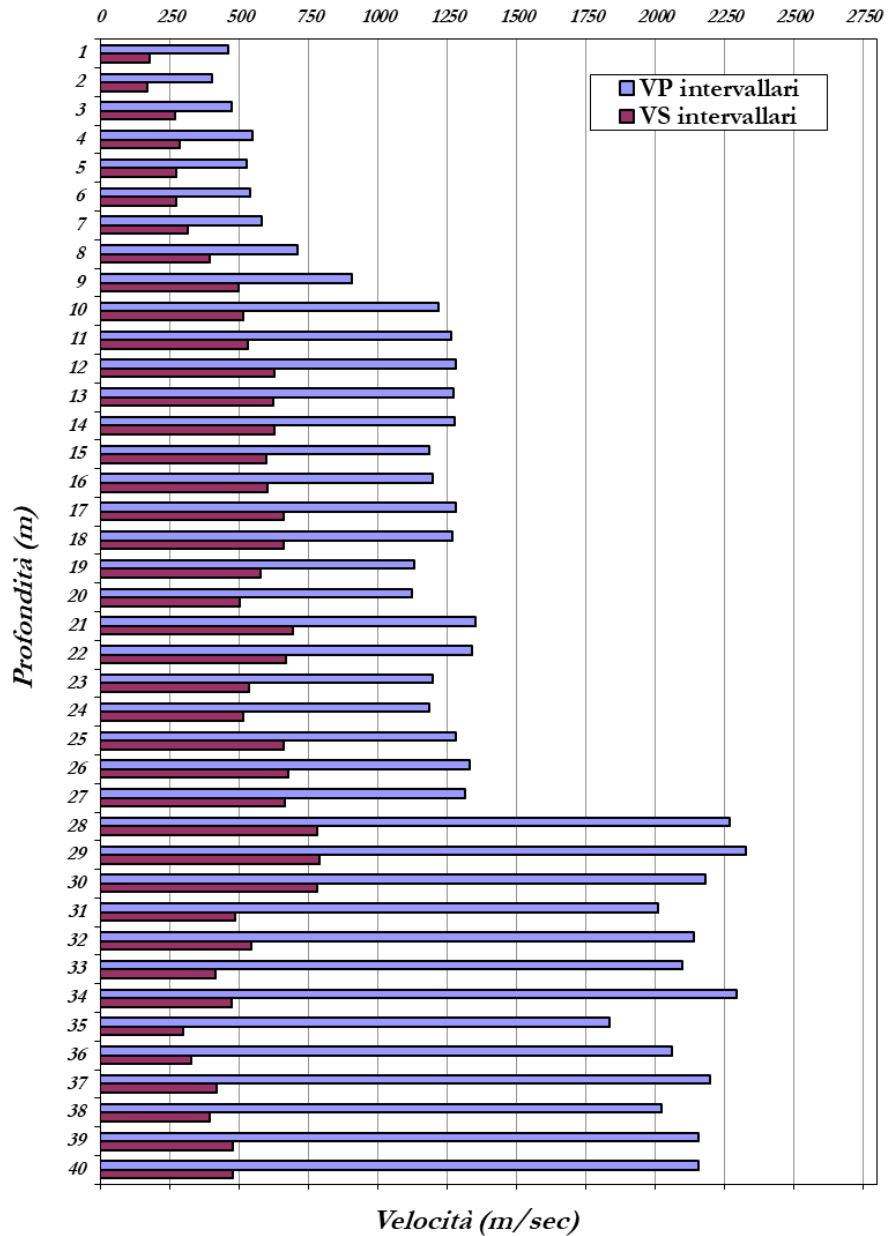


Figura 8.4: andamento delle V_p e V_s, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità puntuali metro per metro.

BH 5

Velocità Intervallari




	<p>COMPLETAMENTO RADDOPPIO LINEA PARMA – LA SPEZIA (PONTREMOLESE) TRATTA PARMA - VICOFERTILE</p>					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IP00	LOTTO 00	CODIFICA D69IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 118 di 118

Figura 8.5: Andamento delle V_p e V_s , in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità intervallari metro per metro.