

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



## U.O. GEOLOGIA TECNICA, DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

### PROGETTO DEFINITIVO

**LINEA SALERNO - PONTECAGNANO AEROPORTO  
COMPLETAMENTO METROPOLITANA DI SALERNO  
TRATTA ARECHI - PONTECAGNANO AEROPORTO**

### INDAGINI GEOFISICHE

Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

SCALA:

-

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

NN1X 10 D 69 IG GE0005 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Escutiva	T. Vicenzetto	Maggio 2020	S. Giugliano	Maggio 2020	M. D'Avino	Maggio 2020	M. COMEDINI Maggio 2020



## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	METODOLOGIE DI INDAGINE .....	4
3.	INDAGINE SISMICA CON METODO MASW ATTIVO.....	5
4.	RISULTATI PROSPEZIONI MASW .....	6
5.	INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR.....	36
6.	RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSR).....	39
7.	INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWNHOLE .....	84
8.	ANALISI DEI RISULTATI DEI CAROTAGGI SISMICI DOWN-HOLE .....	87
	ALLEGATO: UBICAZIONE PROVE GEOFISICHE .....	163

## 1 PREMESSA

La presente relazione illustra e riassume i risultati delle indagini geofisiche eseguite a supporto del Progetto Definitivo del prolungamento della Metropolitana di Salerno.



Figura 1: Ubicazione dell'area di intervento (da Google Earth).

## 2 METODOLOGIE DI INDAGINE

La campagna di misure geofisiche condotta, è consistita in indagini sismiche di superficie con metodologia MASW (5 prove) ed HVSR (14 prove) ed in foro attraverso la tecnica del down-hole (9 prove). Di seguito si riporta una breve descrizione dei principi base delle tecniche d'indagine e i relativi risultati.



**Figura 2:** Strumentazione impiegata per le prove sismiche mediante metodologia MASW (in alto a sinistra), HVSR (in alto a destra) e down-hole (in basso).

### 3. INDAGINE SISMICA CON METODO MASW ATTIVO

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidità del sito tramite la misura della velocità di propagazione delle onde di superficie di Rayleigh con un successivo processo d'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 piano paralleli, può essere attribuito convenzionalmente alla stratigrafia relativa al centro della stesa, in quanto si assume che lungo tutto lo sviluppo dello stendimento la stratigrafia rimanga invariata.

In riferimento all'acquisizione di 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: variabile;
- Sorgente: massa da 8 kg;
- Distanza energizzazioni: 3-4-5 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)
24	geofoni verticali con frequenza 40 Hz (Hueihai Sunfull)
24	geofoni orizzontali con frequenza 12 Hz (Hueihai Sunfull)
1	cavo di collegamento per geofoni 24 take-out/2,0-5,0 metri
1	massa battente del peso di 8 kg
1	linea trigger con dispositivo hammer-switch

## 4. RISULTATI PROSPEZIONI MASW

### 4.1 MASW BH1

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

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

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

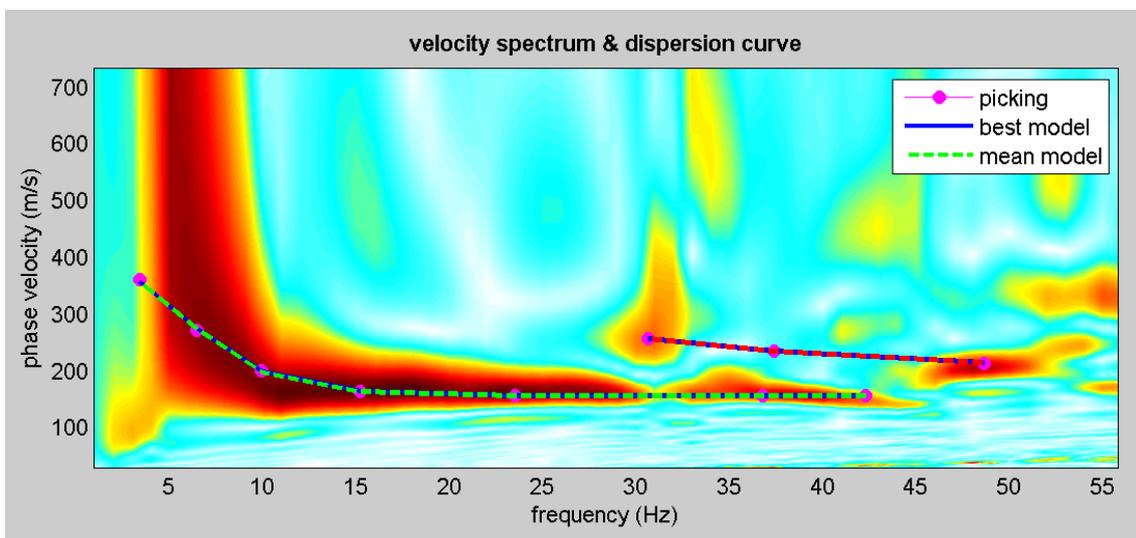


Figura 3: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

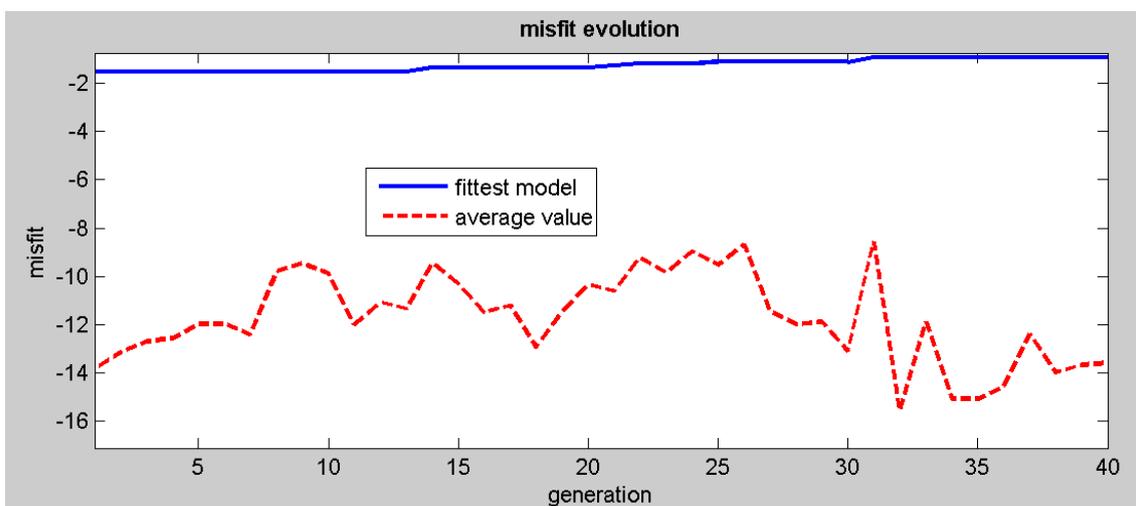
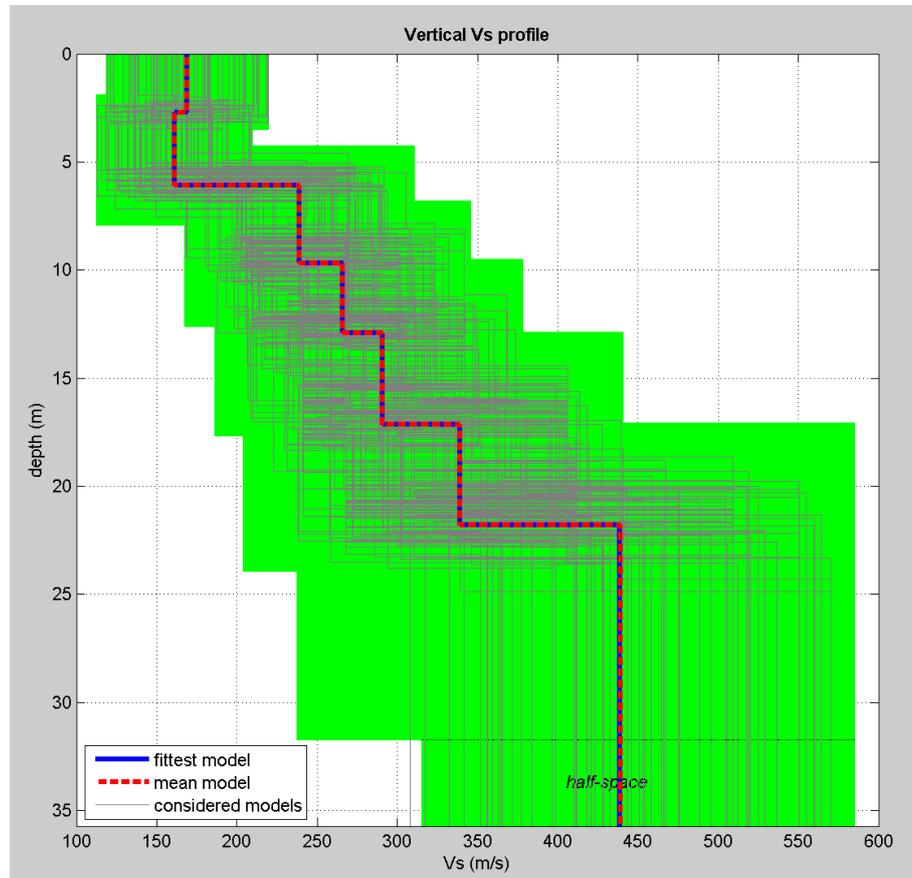


Figura 4: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.



**Figura 5:** 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 2.5 m.

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

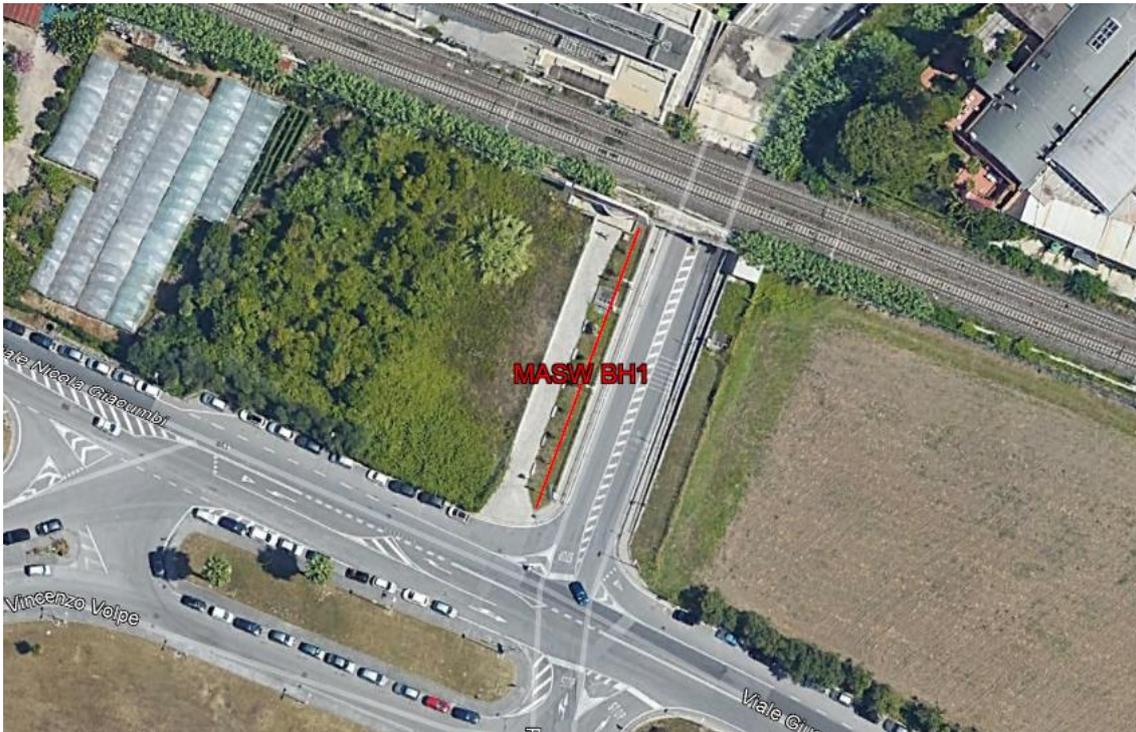
$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{v_i}}$$

Nel caso specifico è risultato:

**$V_{s,eq} = 270$  m/s**

Si tratta quindi di un suolo di **tipo C** ( $S_s = 1.5$  secondo le NTC 2018).

Vengono inoltre fornite tabelle recanti 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 (secondo NTC).



**Figura 6:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW BH1.



**Figura 7:** Foto relativa all'esecuzione della prova MASW BH1.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	9 di 163

## CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW BH1

**Data: febbraio 2020**

**Località** Stadio Arechi (SA)

**Coordinate** LAT 40.647679 LONG 14.824916 (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 2.5 m

### 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 <sub>s</sub> *S <sub>r</sub>
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.	1.50	1.37	1.50
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<sub>0</sub> e T\* vengono forniti dalla normativa

### Categorie topografiche

S<sub>t</sub>

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

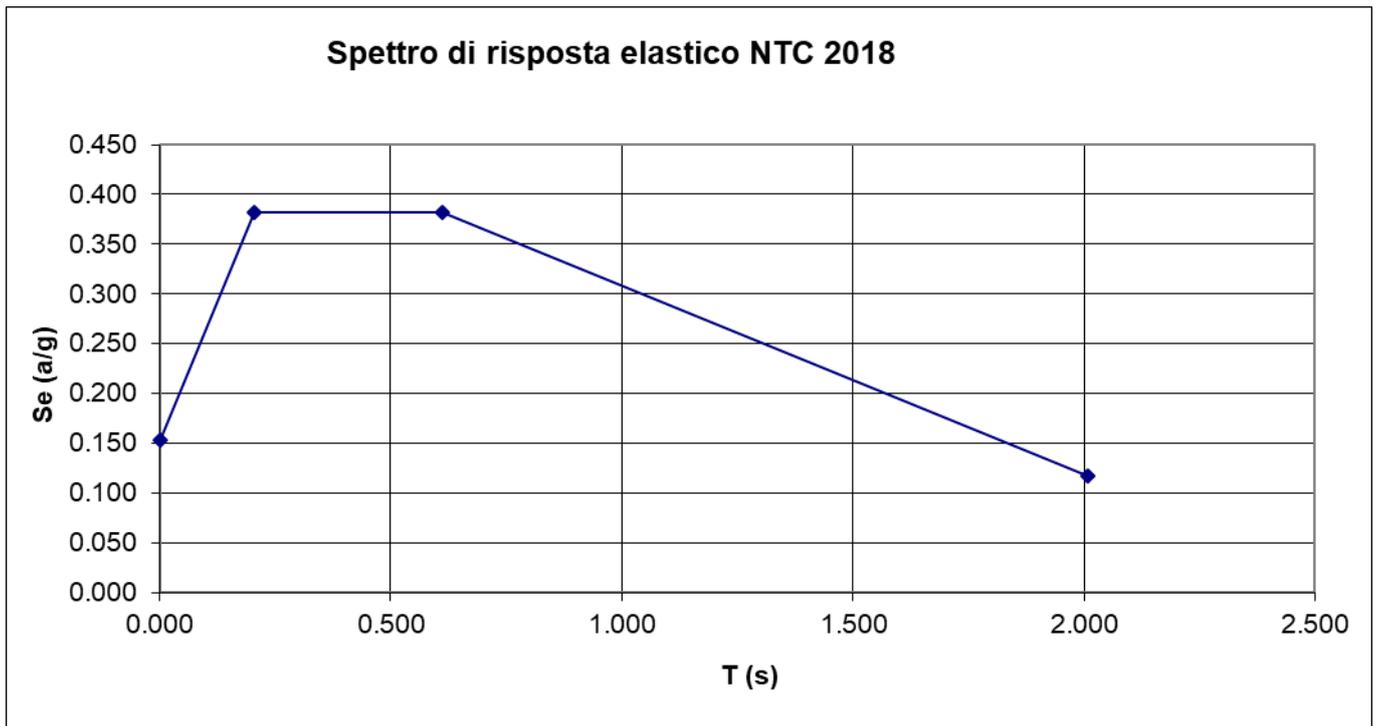
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \cdot T_c$$

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

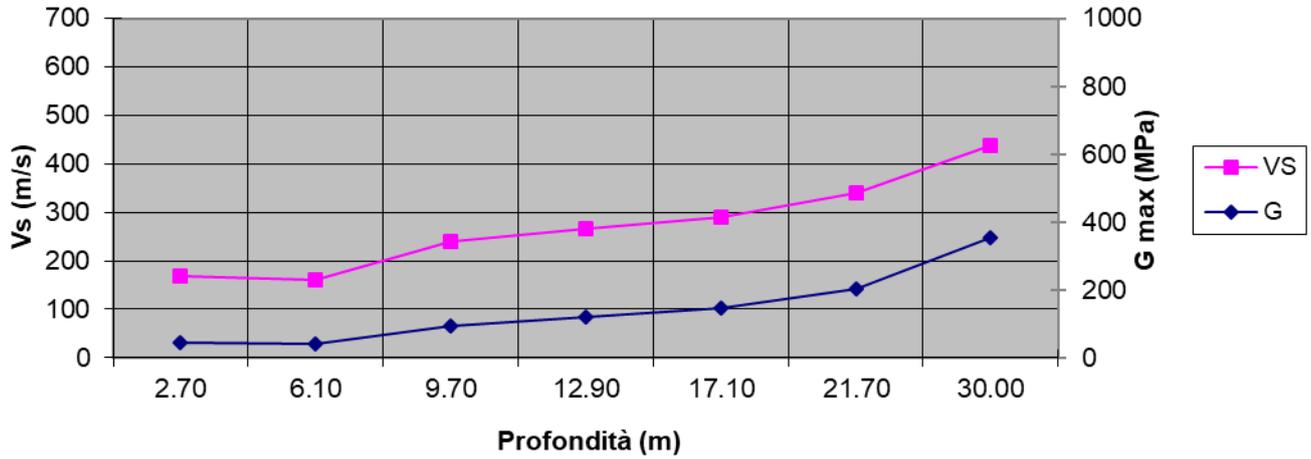
Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.153
0.204	0.383
0.612	0.383
2.008	0.117



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
<b>2.70</b>	1.56	169	45
<b>6.10</b>	1.55	161	40
<b>9.70</b>	1.66	239	95
<b>12.90</b>	1.69	166	120
<b>17.10</b>	1.72	291	146
<b>21.70</b>	1.78	339	204
<b>30.00</b>	1.83	439	354

$$V_{s,eq} = 270.04 \text{ m/s}$$

### Andamento G - Vs con profondità

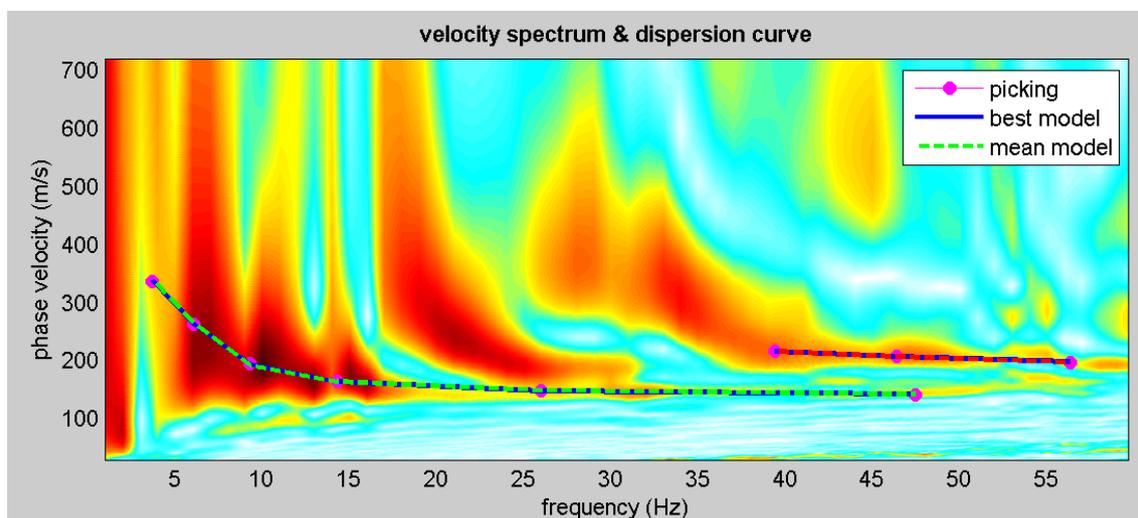


## 4.2 MASW BH3

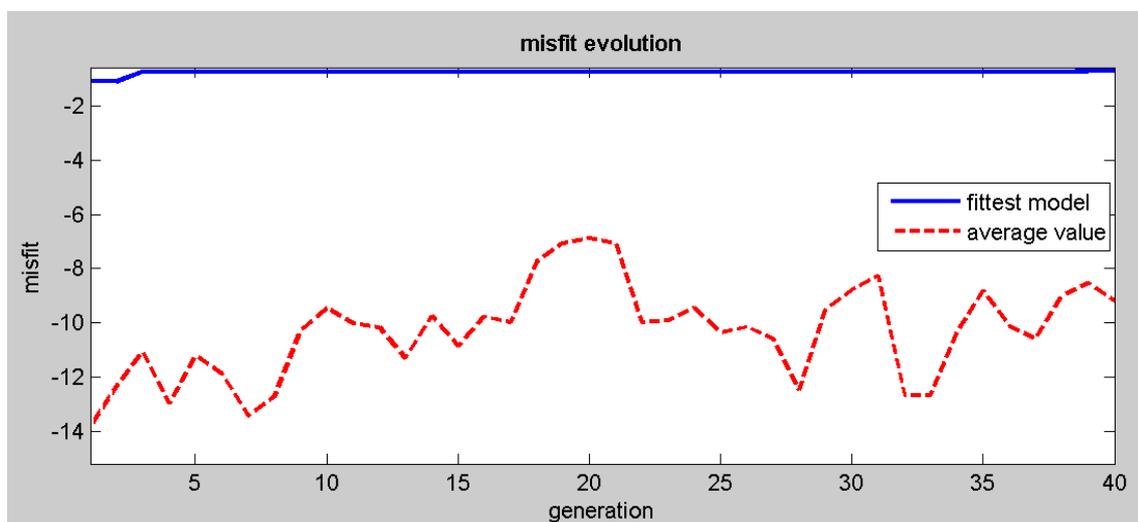
L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

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

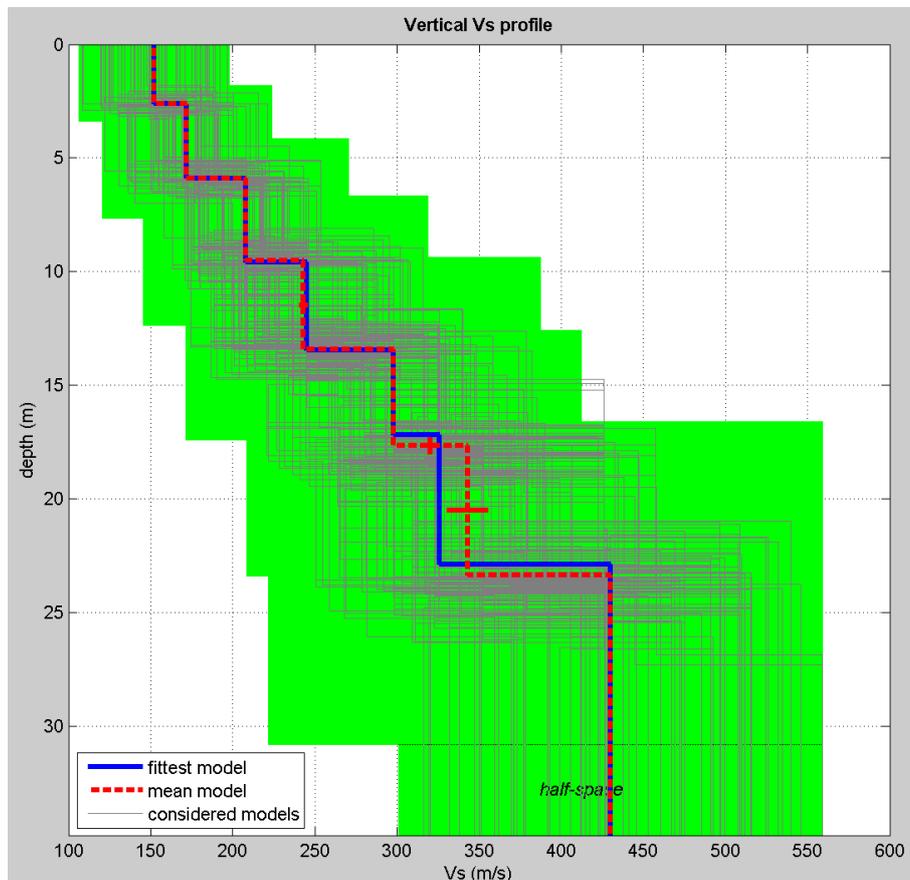
L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.



**Figura 8:** Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.



**Figura 9:** Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.



**Figura 10:** 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 2.5 m.

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:

**$V_{s,eq} = 259 \text{ m/s}$**

Si tratta quindi di un suolo di **tipo C** ( $S_s = 1.5$  secondo le NTC 2018).

Vengono inoltre fornite tabelle recanti 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 (secondo NTC).



**Figura 11:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW BH3.



**Figura 12:** Foto relativa all'esecuzione della prova MASW BH3.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	15 di 163

## CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW BH3

**Data: febbraio 2020**

**Località** Stadio Arechi (SA)

**Coordinate** LAT 40.644946 LONG 14.834716 (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 2.5 m

### 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 <sub>s</sub> *S <sub>r</sub>
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.	1.50	1.37	1.50
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<sub>0</sub> e T\* vengono forniti dalla normativa

#### Categorie topografiche

S<sub>t</sub>

T	Descrizione	S <sub>t</sub>	Valore
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

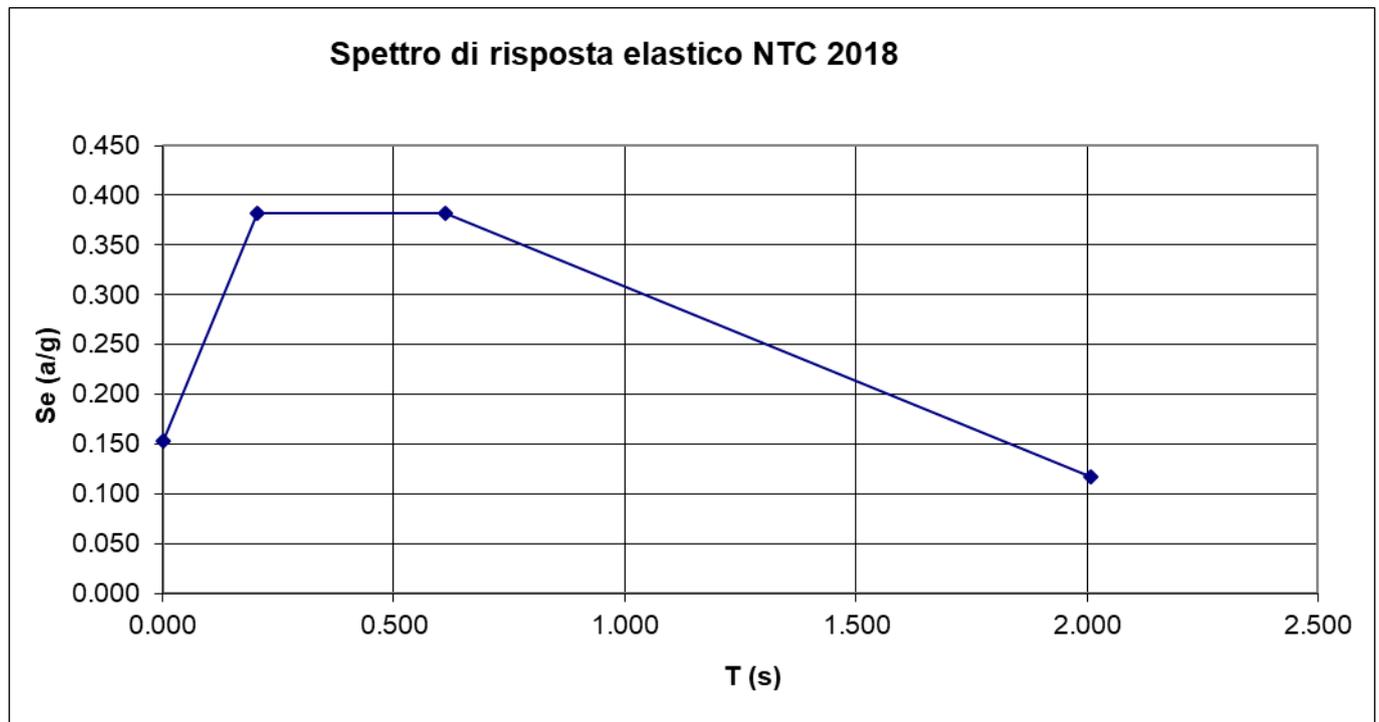
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

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

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

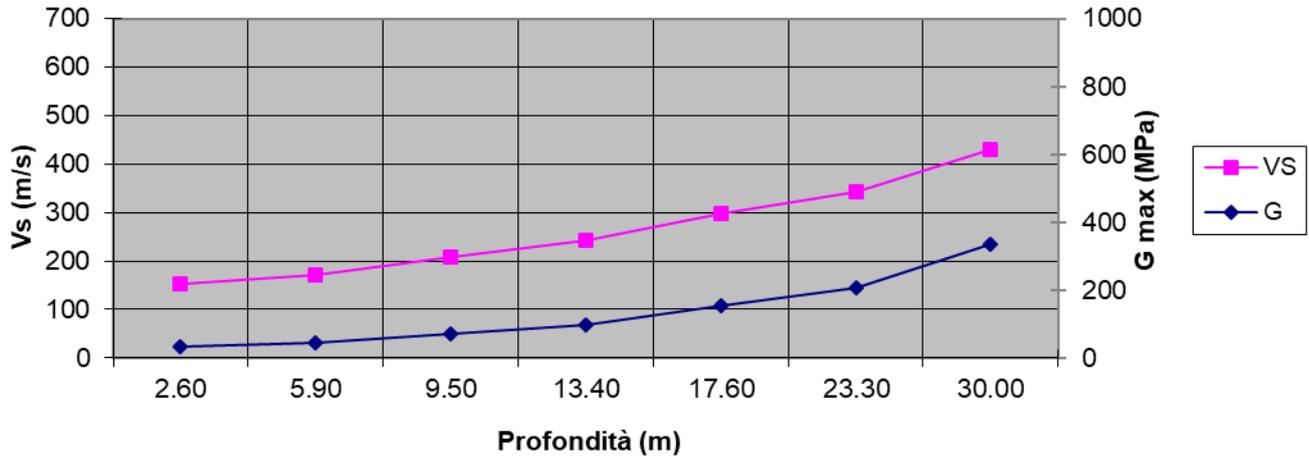
Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.153
0.204	0.383
0.612	0.383
2.008	0.117



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
2.60	1.52	191	35
5.90	1.57	264	46
9.50	1.62	389	70
13.40	1.67	428	99
17.60	1.74	470	154
23.30	1.76	472	208
30.00	1.82	691	336

$$V_{s,eq} = 258.75 \text{ m/s}$$

### Andamento G - Vs con profondità

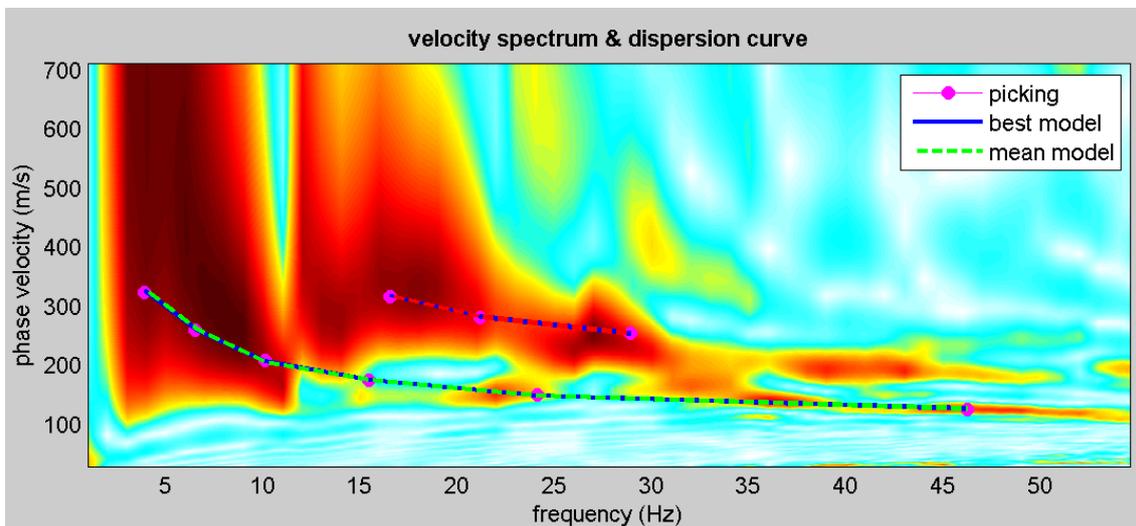


### 4.3 MASW BH15

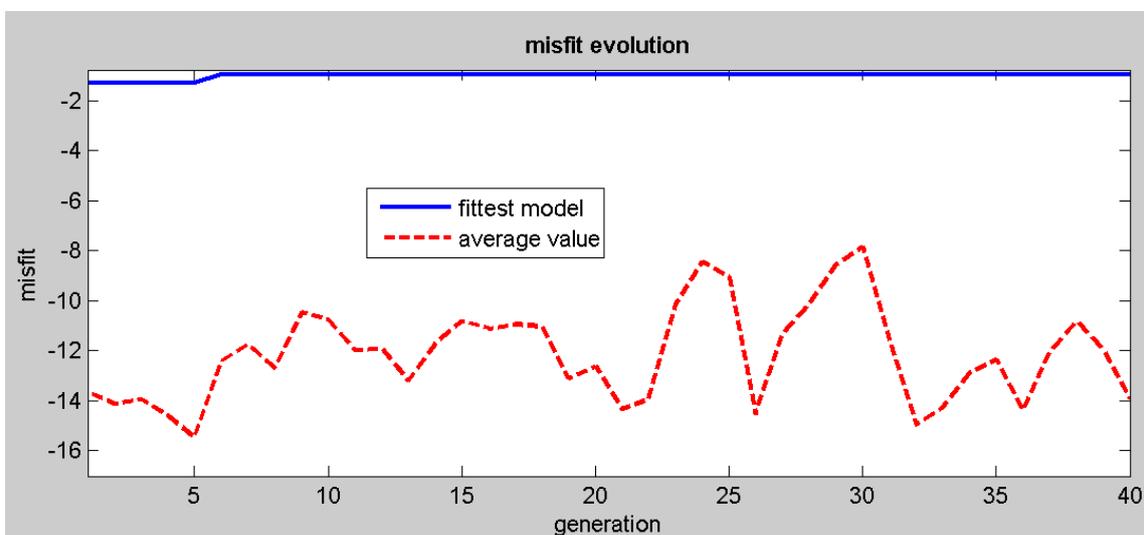
L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

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

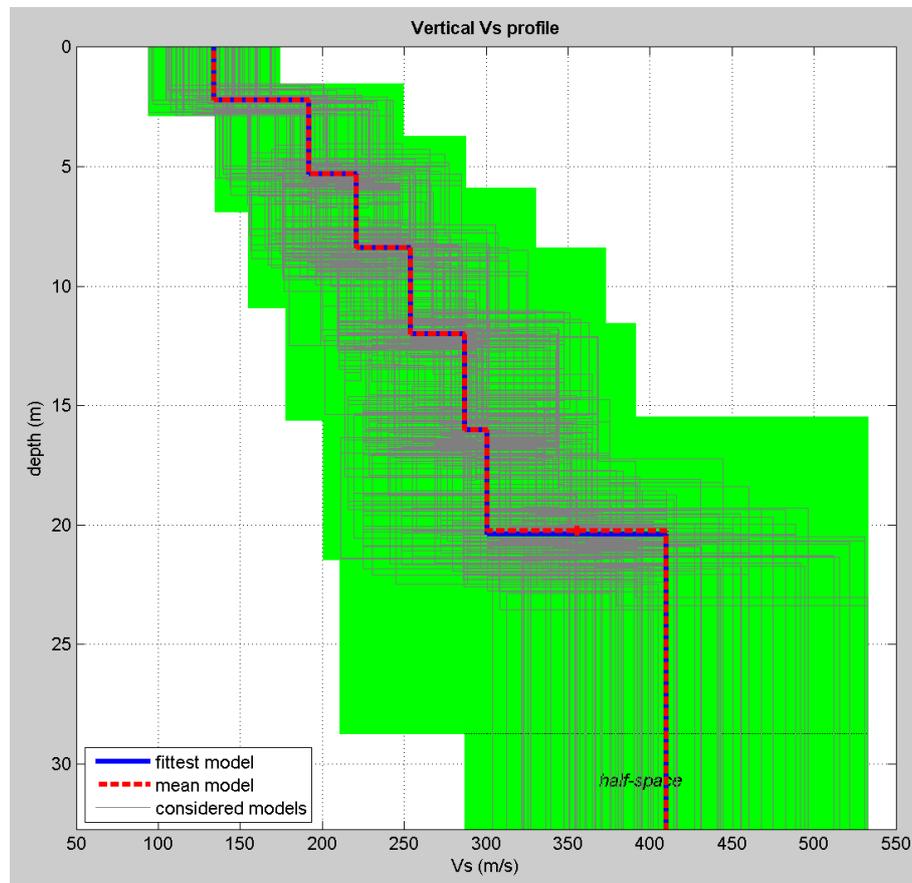
L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.



**Figura 13:** Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.



**Figura 14:** Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.



**Figura 15:** 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 2.5 m.

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:

**$V_{s,eq} = 266$  m/s**

Si tratta quindi di un suolo di **tipo C** ( $S_s = 1.5$  secondo le NTC 2018).

Vengono inoltre fornite tabelle recanti 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 (secondo NTC).



**Figura 16:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW BH15.



**Figura 17:** Foto relativa all'esecuzione della prova MASW BH15.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	21 di 163

## CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW BH15

**Data: febbraio 2020**

**Località** Sant'Antonio (SA)

**Coordinate** LAT 40.633691 LONG 14.893798 (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 2.5 m

### 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 <sub>s</sub> *S <sub>r</sub>
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.	1.50	1.37	1.50
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<sub>0</sub> e T\* vengono forniti dalla normativa

#### Categorie topografiche

S<sub>t</sub>

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

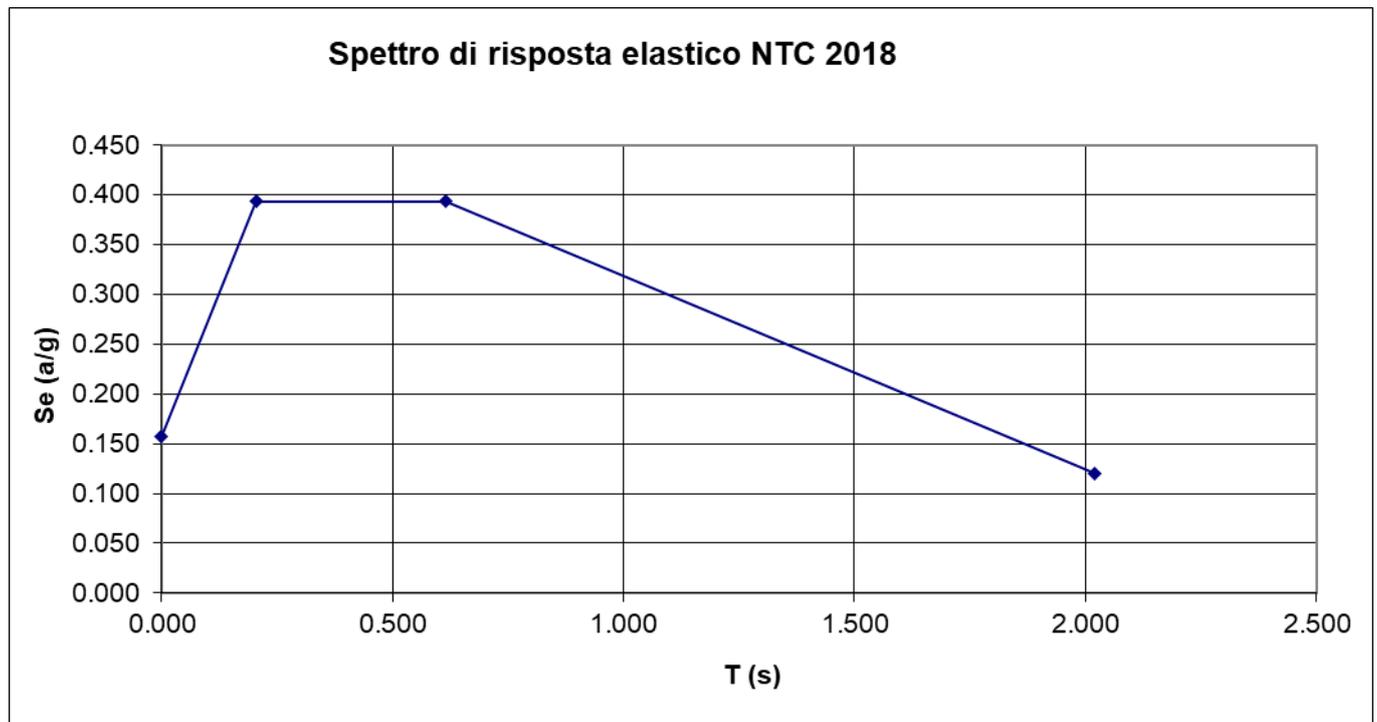
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

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

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

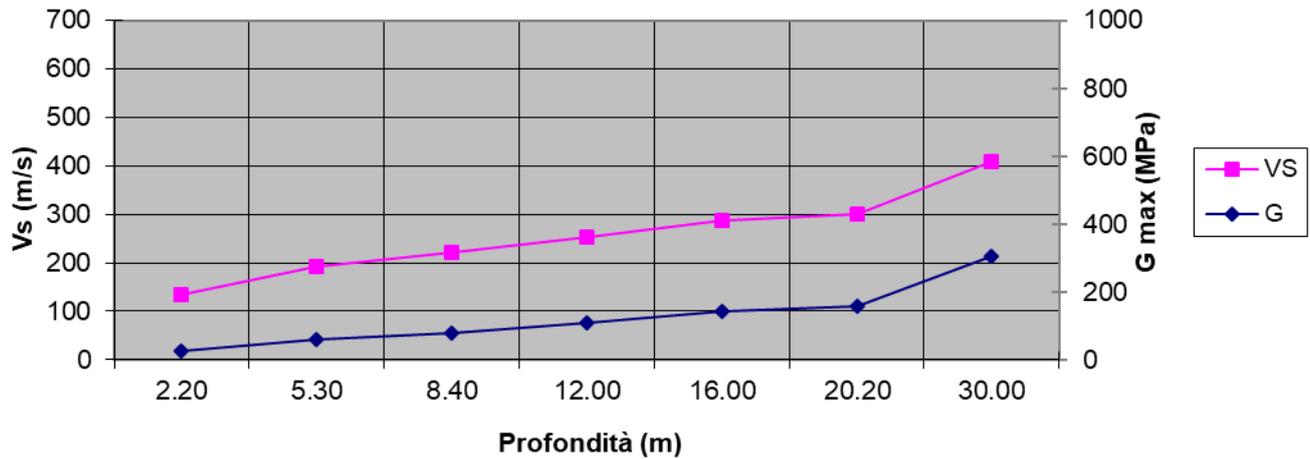
Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.158
0.206	0.394
0.617	0.394
2.020	0.120



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
2.20	1.48	134	26
5.30	1.60	192	59
8.40	1.64	221	80
12.00	1.68	254	109
16.00	1.72	287	142
20.20	1.73	301	156
30.00	1.80	410	303

$$V_{s,eq} = 266.53 \text{ m/s}$$

### Andamento G - Vs con profondità

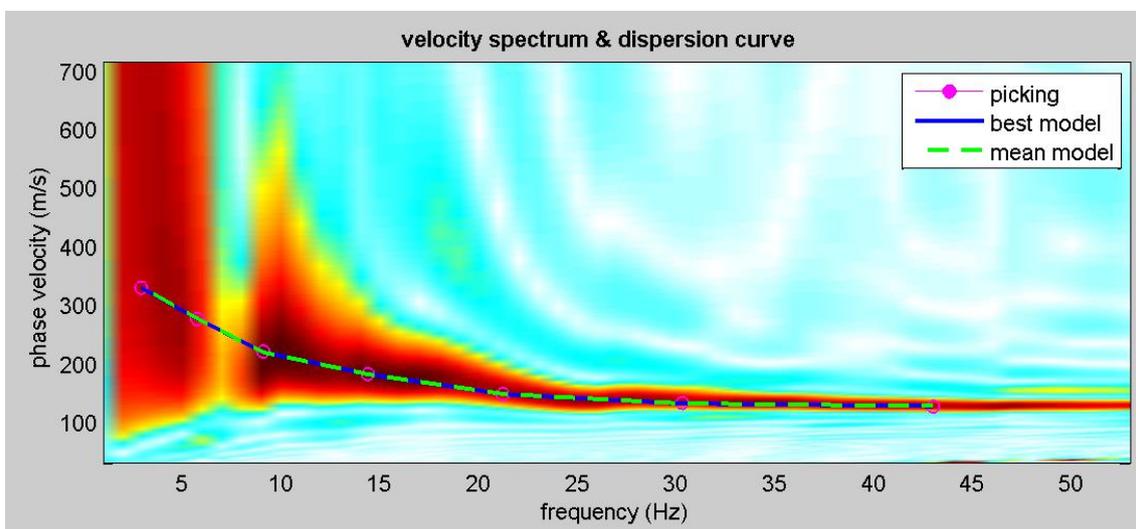


#### 4.4 MASW BH20

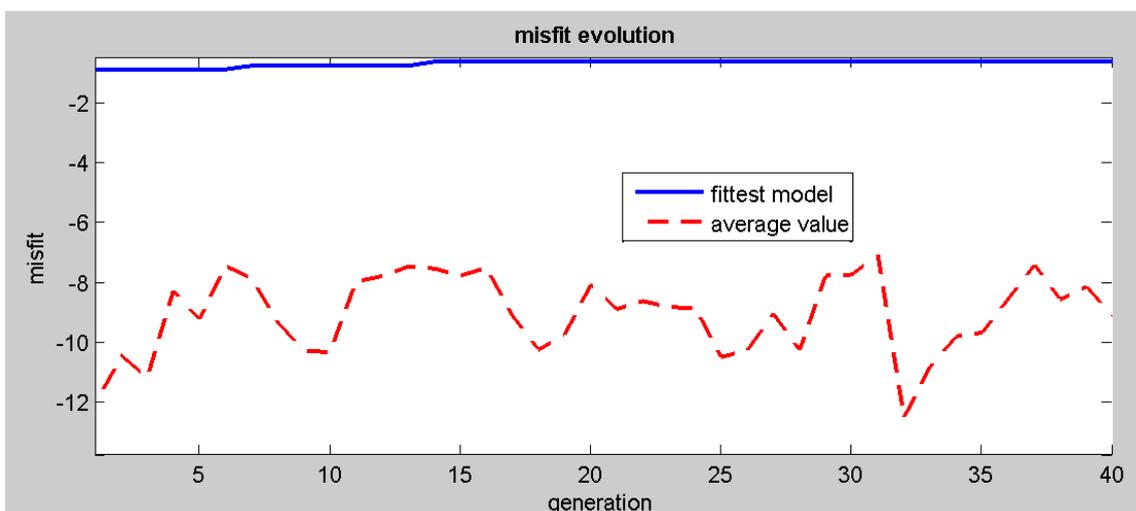
L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

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

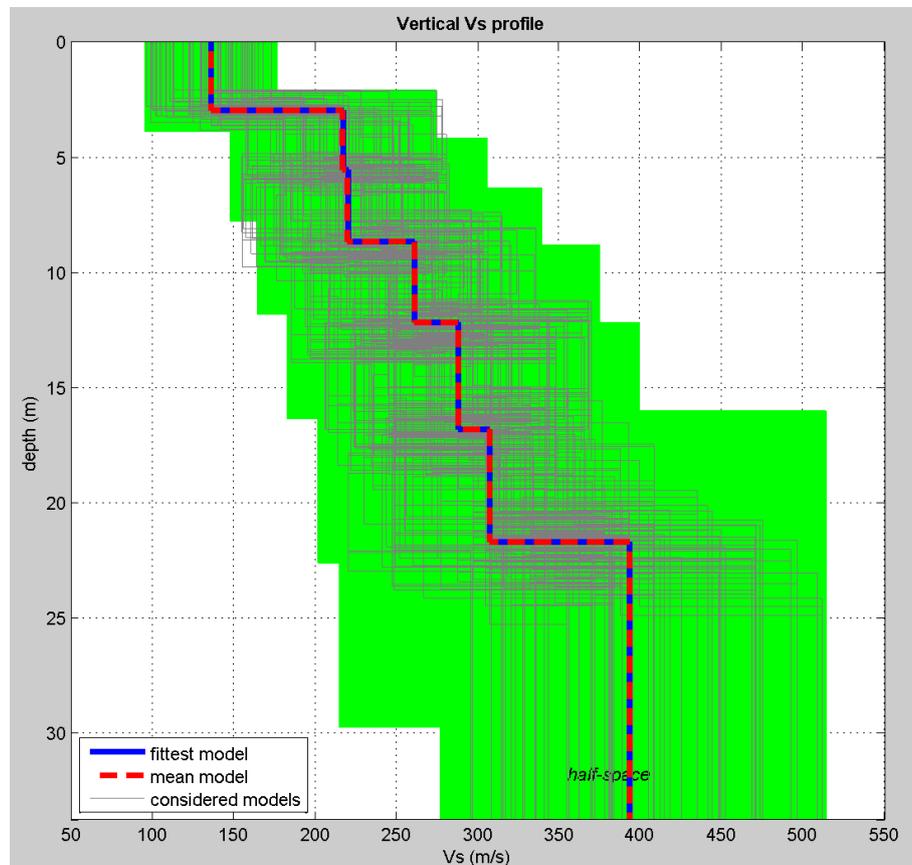
L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.



**Figura 18:** Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.



**Figura 19:** Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.



**Figura 20:** 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 2.5 m.

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:

**$V_{s,eq} = 262 \text{ m/s}$**

Si tratta quindi di un suolo di **tipo C** ( $S_s = 1.5$  secondo le NTC 2018).

Vengono inoltre fornite tabelle recanti 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 (secondo NTC).



**Figura 21:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW BH20.



**Figura 22:** Foto relativa all'esecuzione della prova MASW BH20.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	27 di 163

## CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW BH20

**Data: febbraio 2020**

**Località** Pagliarone (SA)

**Coordinate** LAT 40.628407 LONG 14.909415 (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 2.5 m

### 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 <sub>s</sub> *S <sub>r</sub>
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.	1.50	1.37	1.50
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<sub>0</sub> e T\* vengono forniti dalla normativa

#### Categorie topografiche

S<sub>t</sub>

T	Descrizione	S <sub>t</sub>	Valore
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

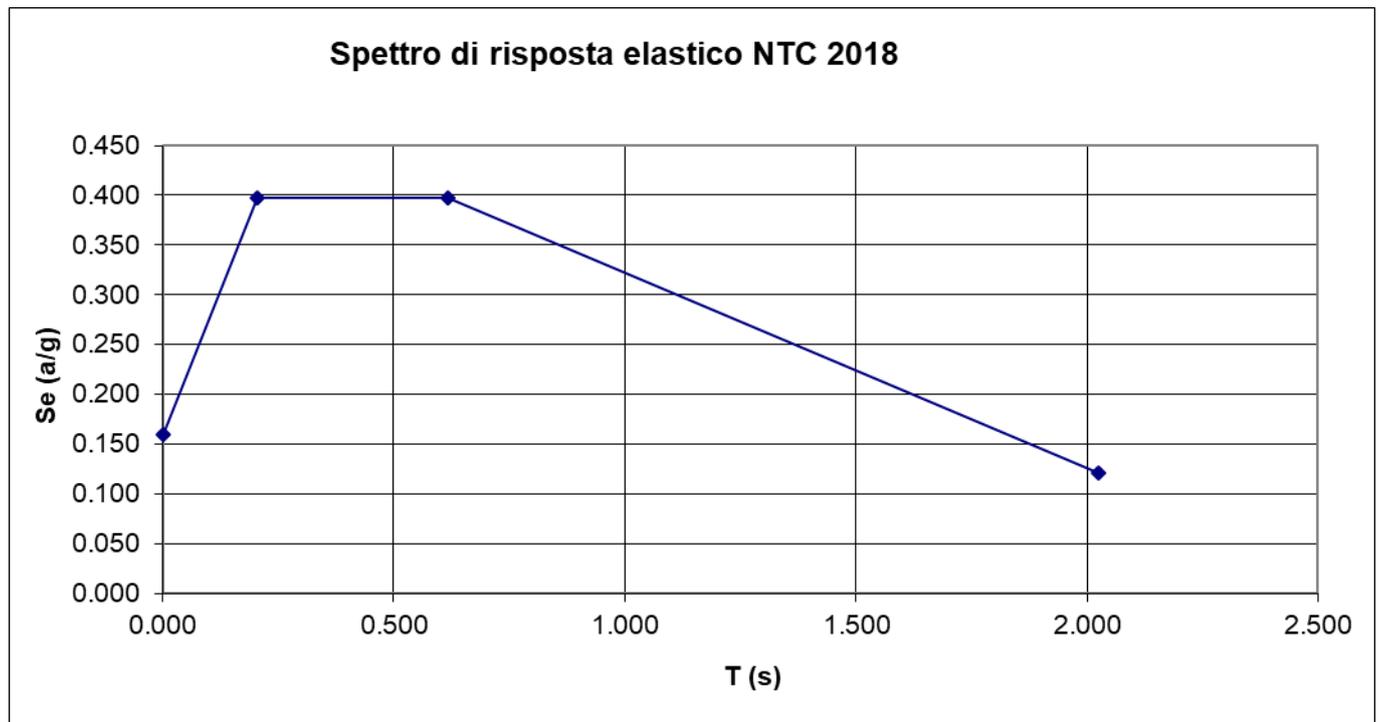
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

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

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

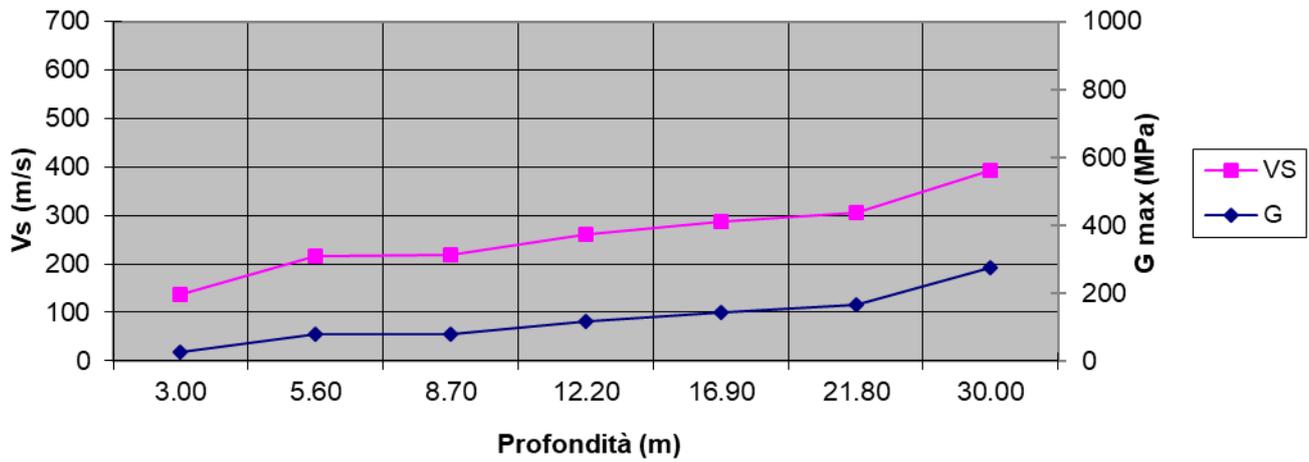
Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.159
0.206	0.398
0.617	0.398
2.024	0.121



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
<b>3.00</b>	1.49	136	27
<b>5.60</b>	1.64	217	77
<b>8.70</b>	1.64	220	79
<b>12.20</b>	1.69	261	115
<b>16.90</b>	1.72	288	143
<b>21.80</b>	1.74	307	164
<b>30.00</b>	1.79	393	277

$$V_{s,eq} = 261.58 \text{ m/s}$$

### Andamento G - Vs con profondità

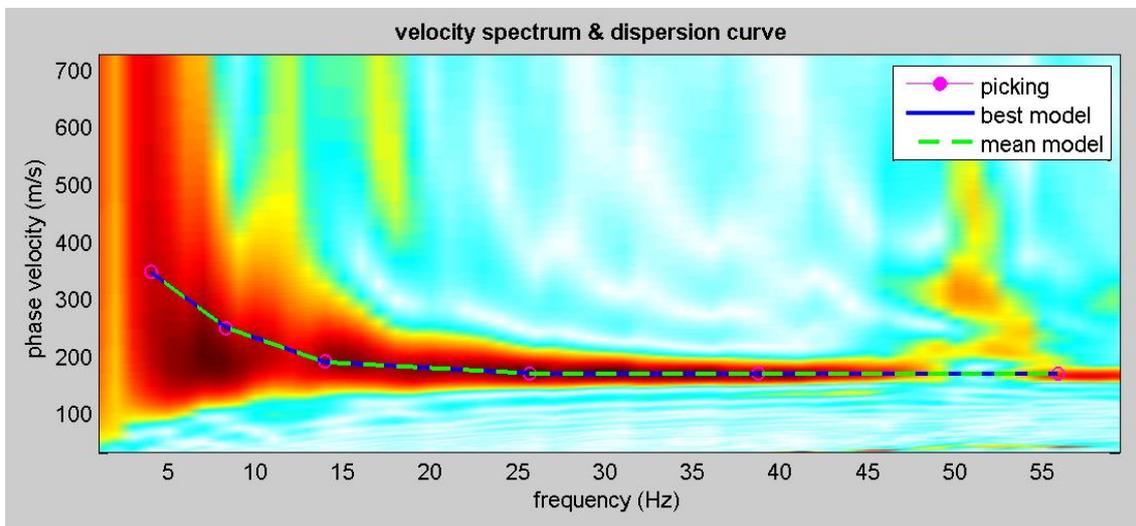


#### 4.5 MASW BH26

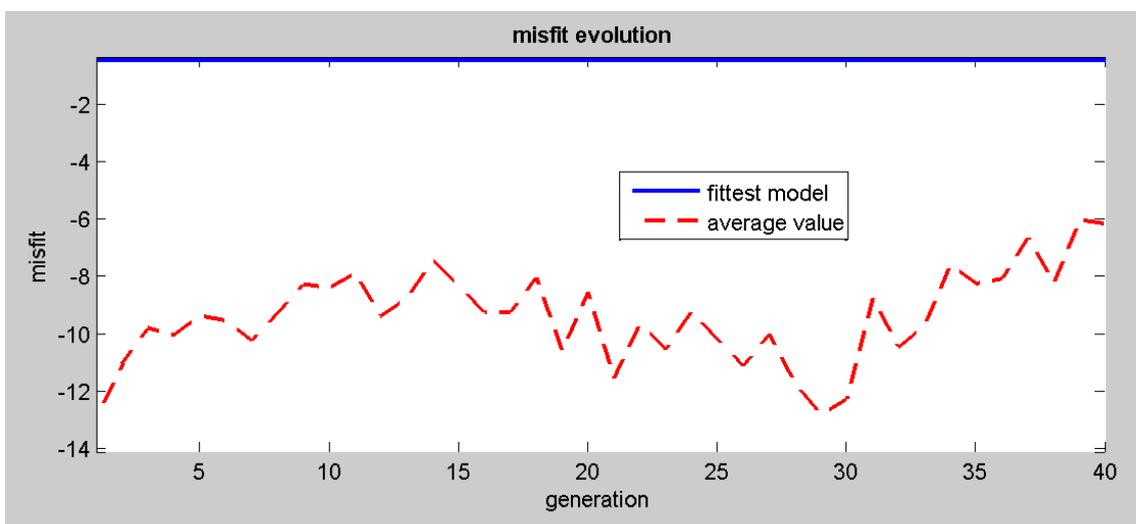
L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

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

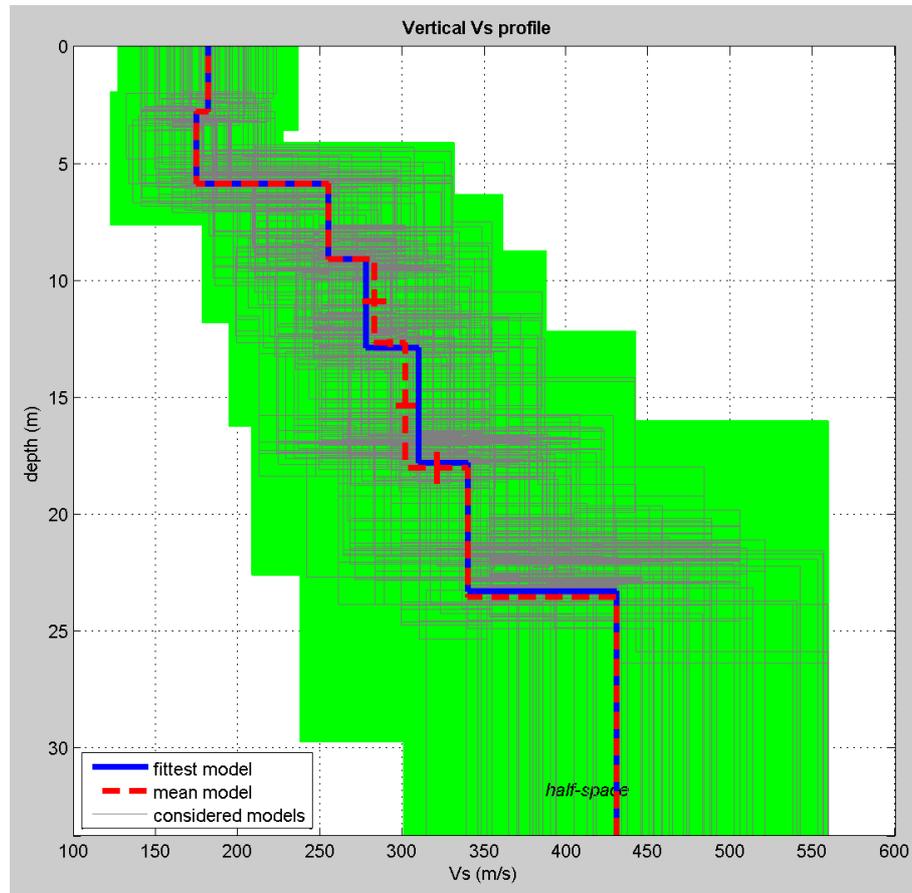
L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.



**Figura 23:** Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.



**Figura 24:** Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.



**Figura 25:** 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 2.5 m.

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:

**$V_{s,eq} = 280$  m/s**

Si tratta quindi di un suolo di **tipo C** ( $S_s = 1.5$  secondo le NTC 2018).

Vengono inoltre fornite tabelle recanti 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 (secondo NTC).

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	32 di 163



Figura 26: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW BH26.



Figura 27: Foto relativa all'esecuzione della prova MASW BH26.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	33 di 163

## CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW BH26

**Data: febbraio 2020**

**Località** Salerno - Mercatello

**Coordinate** LAT 40.660132 LONG 14.804122 (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 2.5 m

### 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 <sub>s</sub> *S <sub>r</sub>
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.	1.50	1.37	1.50
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<sub>0</sub> e T\* vengono forniti dalla normativa

#### Categorie topografiche

S<sub>t</sub>

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

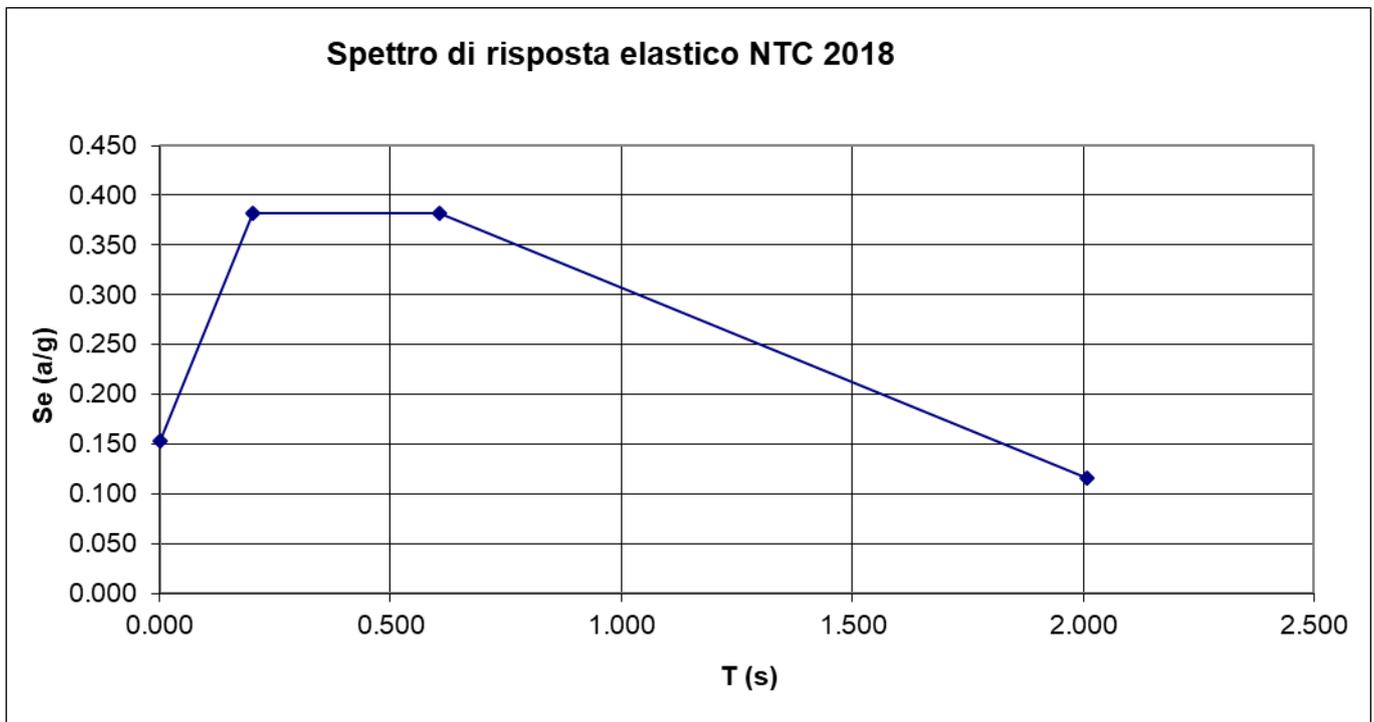
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

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

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

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.153
0.202	0.383
0.607	0.383
2.008	0.116



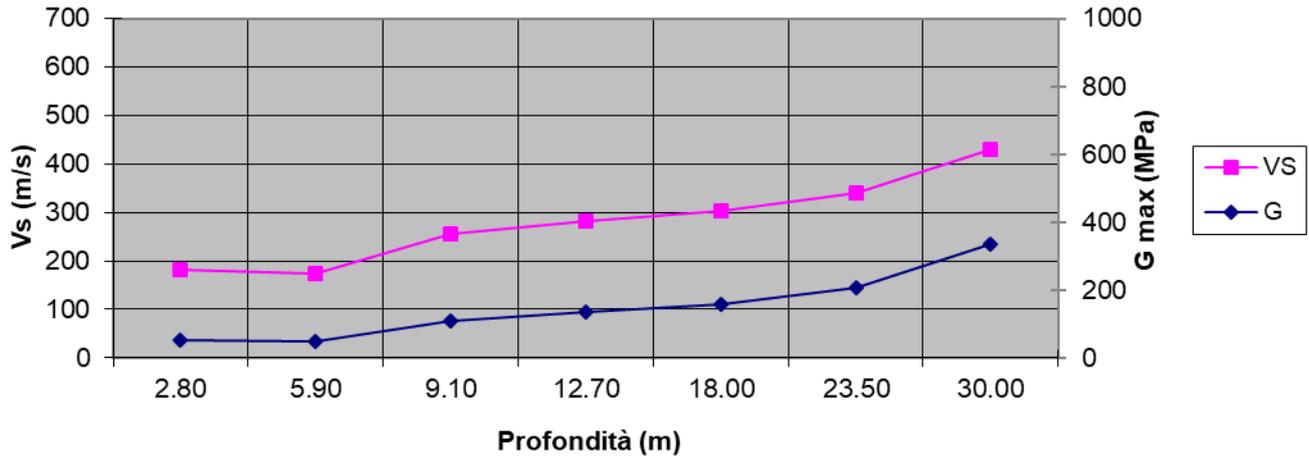
Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
<b>2.80</b>	1.58	182	52
<b>5.90</b>	1.57	175	48
<b>9.10</b>	1.68	255	109
<b>12.70</b>	1.70	283	137
<b>18.00</b>	1.75	302	159
<b>23.50</b>	1.78	340	205
<b>30.00</b>	1.82	430	337

$$V_{s,eq} = 279.82 \text{ m/s}$$

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	35 di 163

### Andamento G - Vs con profondità



## 5. INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR

Come detto sopra, sono 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 degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nel realizzare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno, al fine di evitare effetti di "doppia risonanza", estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi.

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:

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

Possiamo 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) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nel tragitto dalla sorgente  $s$  al sito per le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può

essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

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

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un 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 20 minuti e le finestre temporali prese in considerazione per l'acquisizione sono di 20 s 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)
- $\omega$  = 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:

- 1)  $f_0$  (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 d'obbligo.
- 2) 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 n. totale di cicli significativi:  $nc = l_w \cdot n_w \cdot f_0$  deve essere  $> 200$  (che significa che ad esempio per un picco di 1 Hz, ci siano almeno 20 finestre da 10 secondi ciascuna, o per un picco da 0.5 Hz ci siano 10 finestre da 40 s).
- 3) 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  $[0.5f_0, 2f_0]$ .

Tabella 1. Durata delle registrazioni raccomandata.

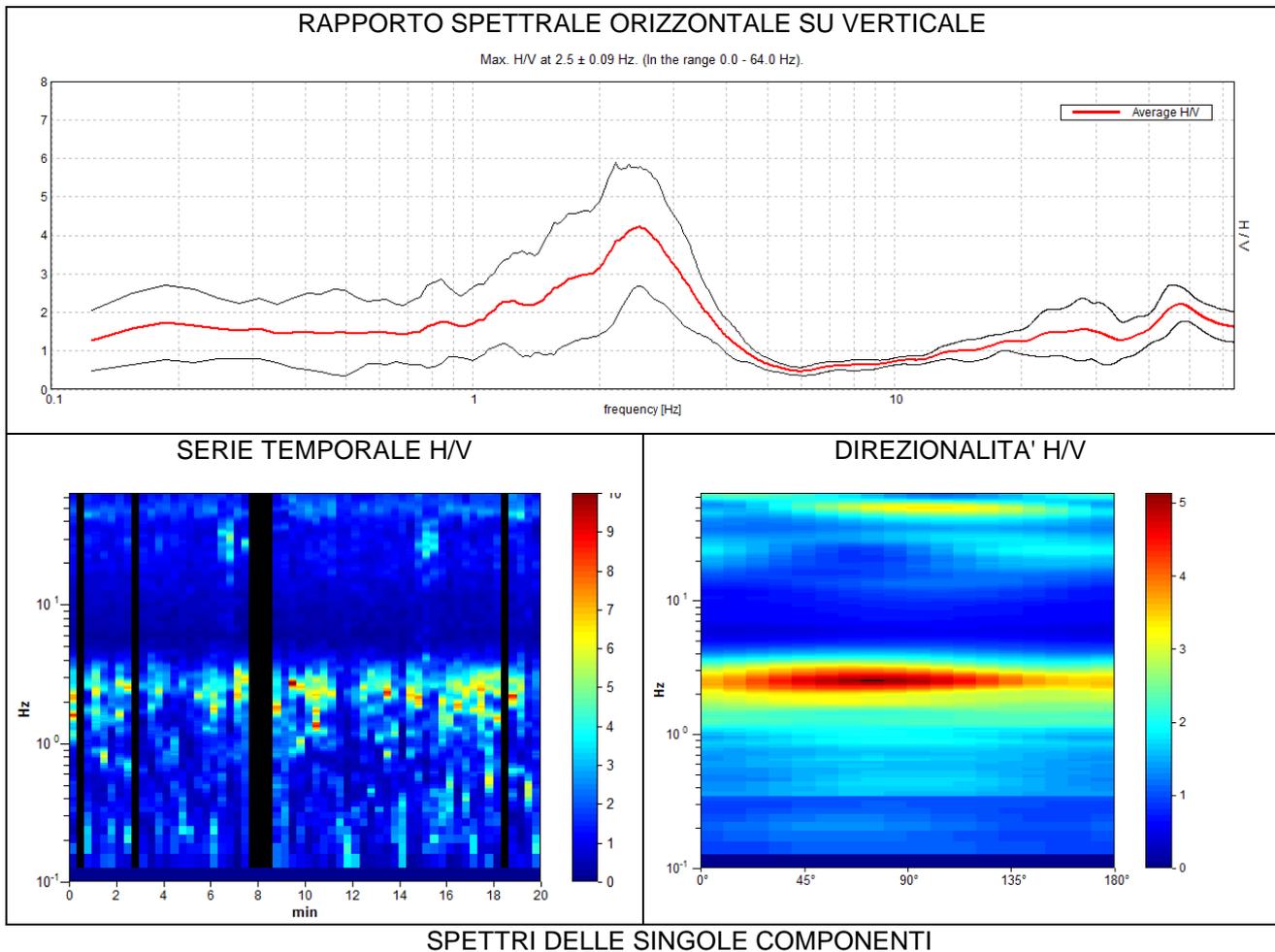
$f_0$ [Hz]	Minimum value for $l_w$ [s]	Minimum number of significant cycles (nc)	Minimum number of windows	Minimum useful signal duration [s]	Recommended minimum record duration [min]
0.2	50	200	10	1000	30'
0.5	20	200	10	400	20'
1	10	200	10	200	10'
2	5	200	10	100	5'
5	5	200	10	40	3'
10	5	200	10	20	2'

Nel nostro caso specifico è sempre stata utilizzata una durata di 20' (1200 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 HVSR BHI

Strumento: TRZ-0017/01-09	Formato dati: 16 byte	Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 03/02/20 16:59:40	Fine registrazione: 03/02/20 17:19:41	
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN	Dato GPS non disponibile	
Durata registrazione: 0h20'00".	Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)	
Freq. campionamento: 128 Hz	Lunghezza finestre: 20 s	
Tipo di lisciamento: Triangular window	Lisciamento: 10%	



Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	40 di 163

[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  $2.5 \pm 0.09$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.50 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$2700.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 2 volte su 121		

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.125 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.531 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$4.23 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0171  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.04275 < 0.125$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.7659 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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 $\sigma_f$ 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

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed  
HVSr

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	41 di 163



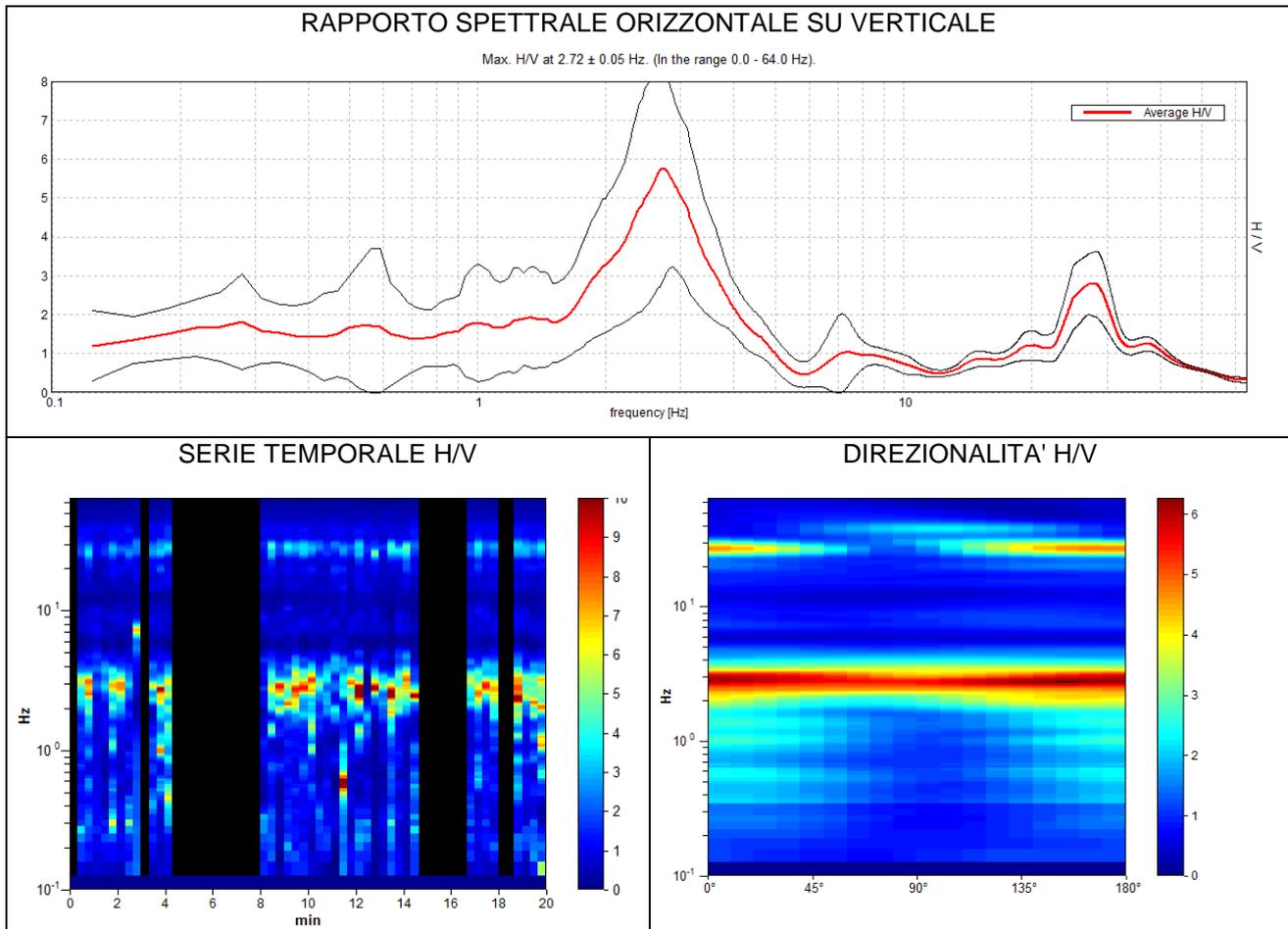
**Figura 28:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSr BH1.



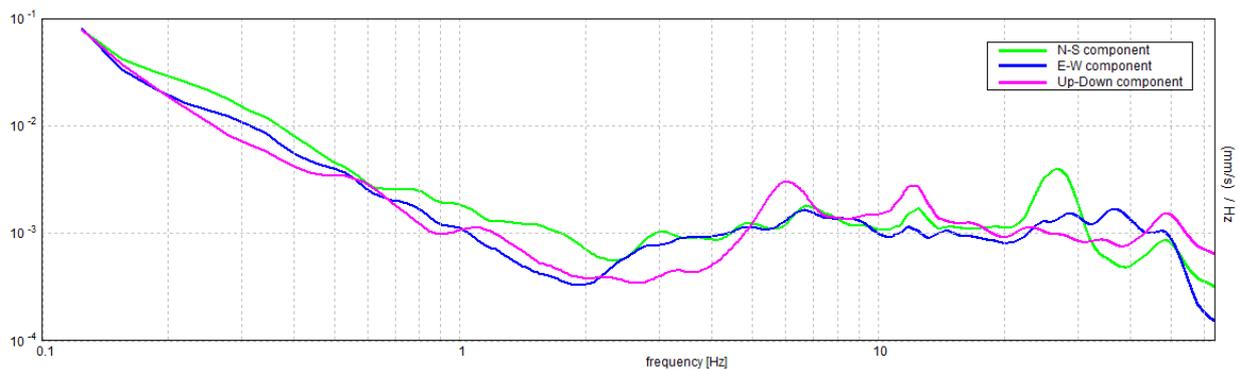
**Figura 29:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSr BH1.

## 6.2 HVSR BH3

Strumento: TRZ-0017/01-09      Formato dati: 16 byte      Fondo scala [mV]: 51  
 Inizio registrazione: 03/02/20 17:30:04      Fine registrazione: 03/02/20 17:50:05  
 Nomini canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN      Dato GPS non disponibile  
 Durata registrazione: 0h20'00".      Analizzato 65% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz      Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window      Lisciamento: 10%



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[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  $2.72 \pm 0.05$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.72 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$2120.6 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 31 volte su 132		

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.844 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.688 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$5.76 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00811  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02205 < 0.13594$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.4169 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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 $\sigma_f$ 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

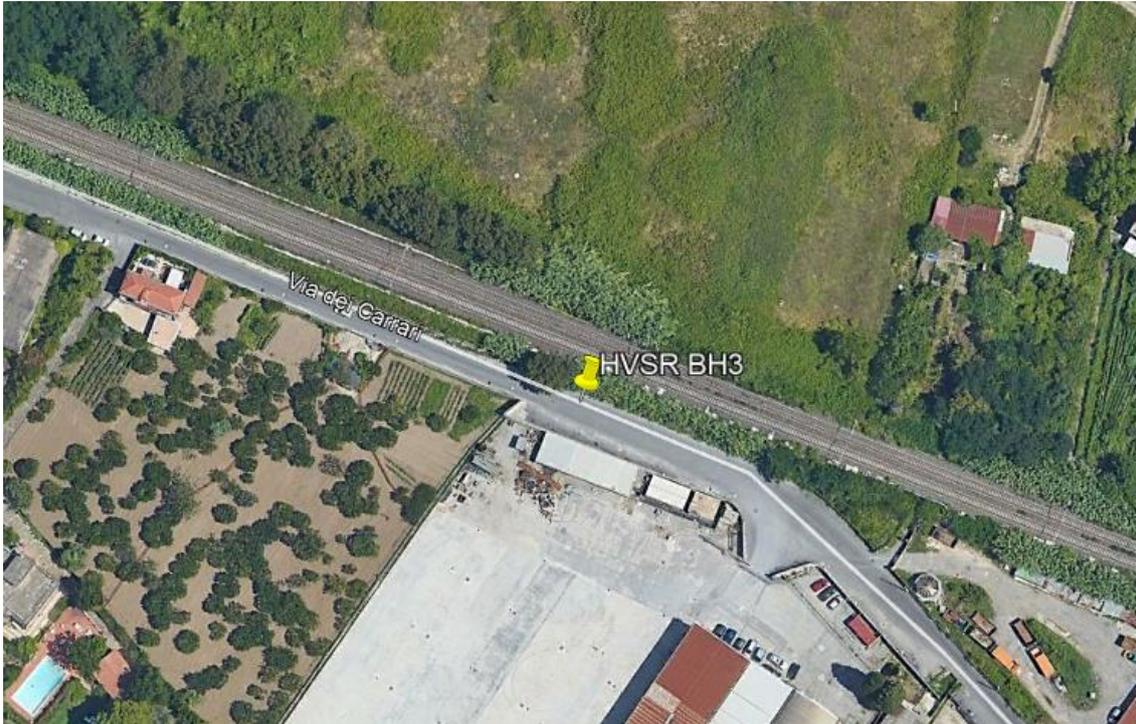


Figura 30: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSr BH3.



Figura 31: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSr BH3.

### 6.3 HVSR BH13

Strumento: TRZ-0017/01-09

Inizio registrazione: 07/03/20 11:43:39

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Tipo di lisciamento: Triangular window

Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

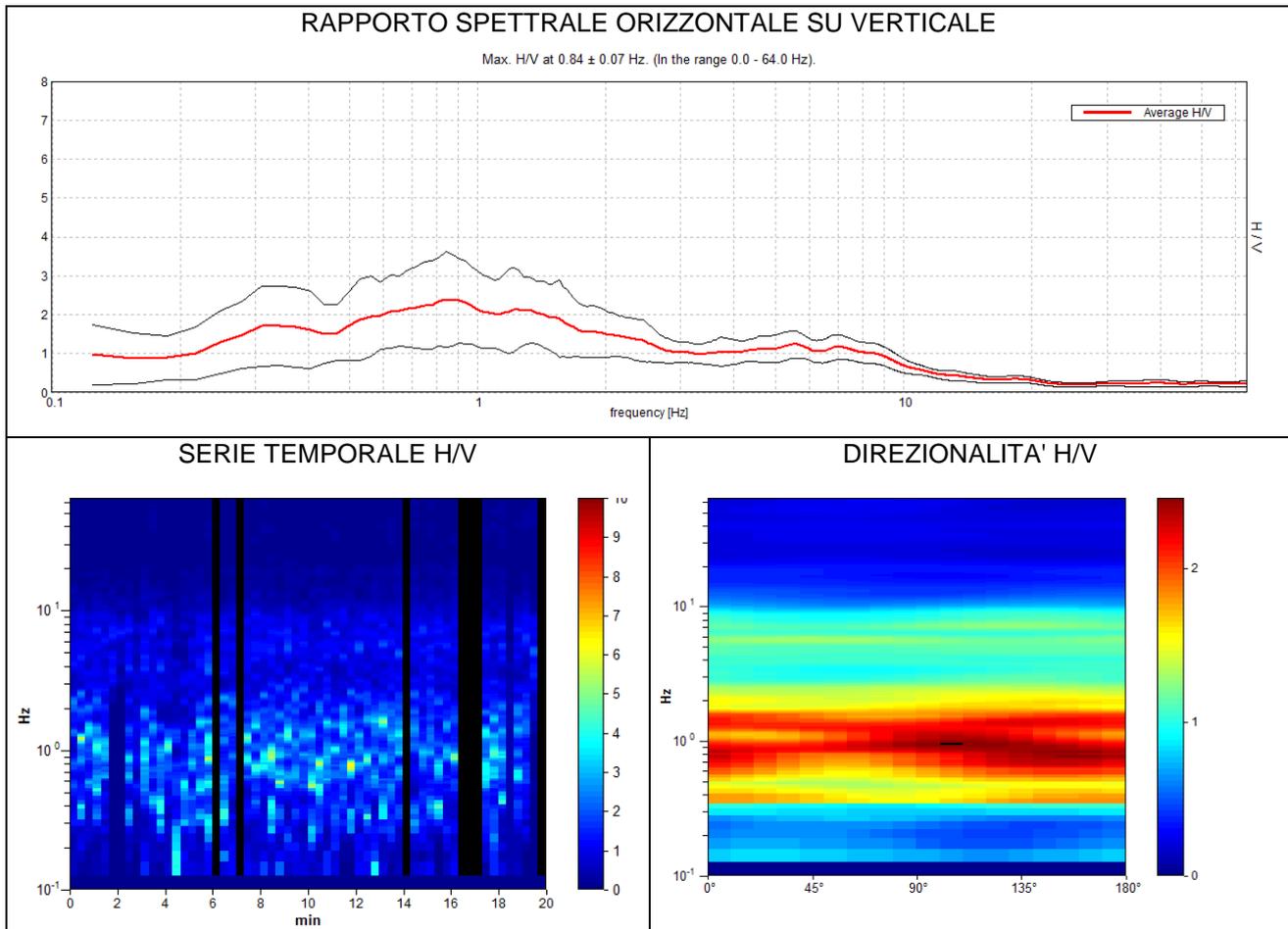
Fine registrazione: 07/03/20 12:03:40

Dato GPS non disponibile

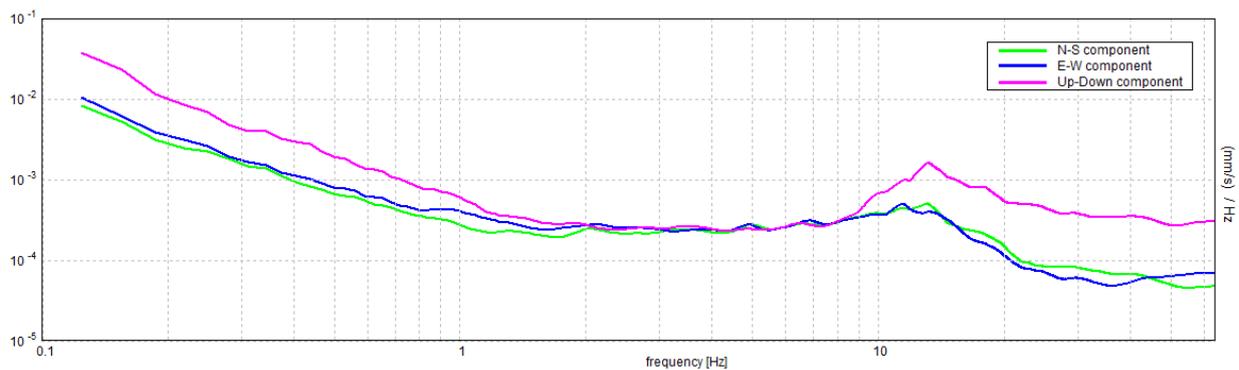
Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)

Lunghezza finestre: 20 s

Lisciamento: 10%



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

**Picco H/V a  $0.84 \pm 0.07$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.84 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$894.4 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 42	<b>OK</b>	

### Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.219 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.625 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.39 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03957  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03339 < 0.12656$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6078 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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 $\sigma_f$ 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

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	47 di 163



**Figura 32:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR BH13.



**Figura 33:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR BH13.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	48 di 163

## 6.4 HVSR BH15

Strumento: TRZ-0017/01-09

Inizio registrazione: 04/02/20 09:48:45

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Tipo di lisciamento: Triangular window

Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

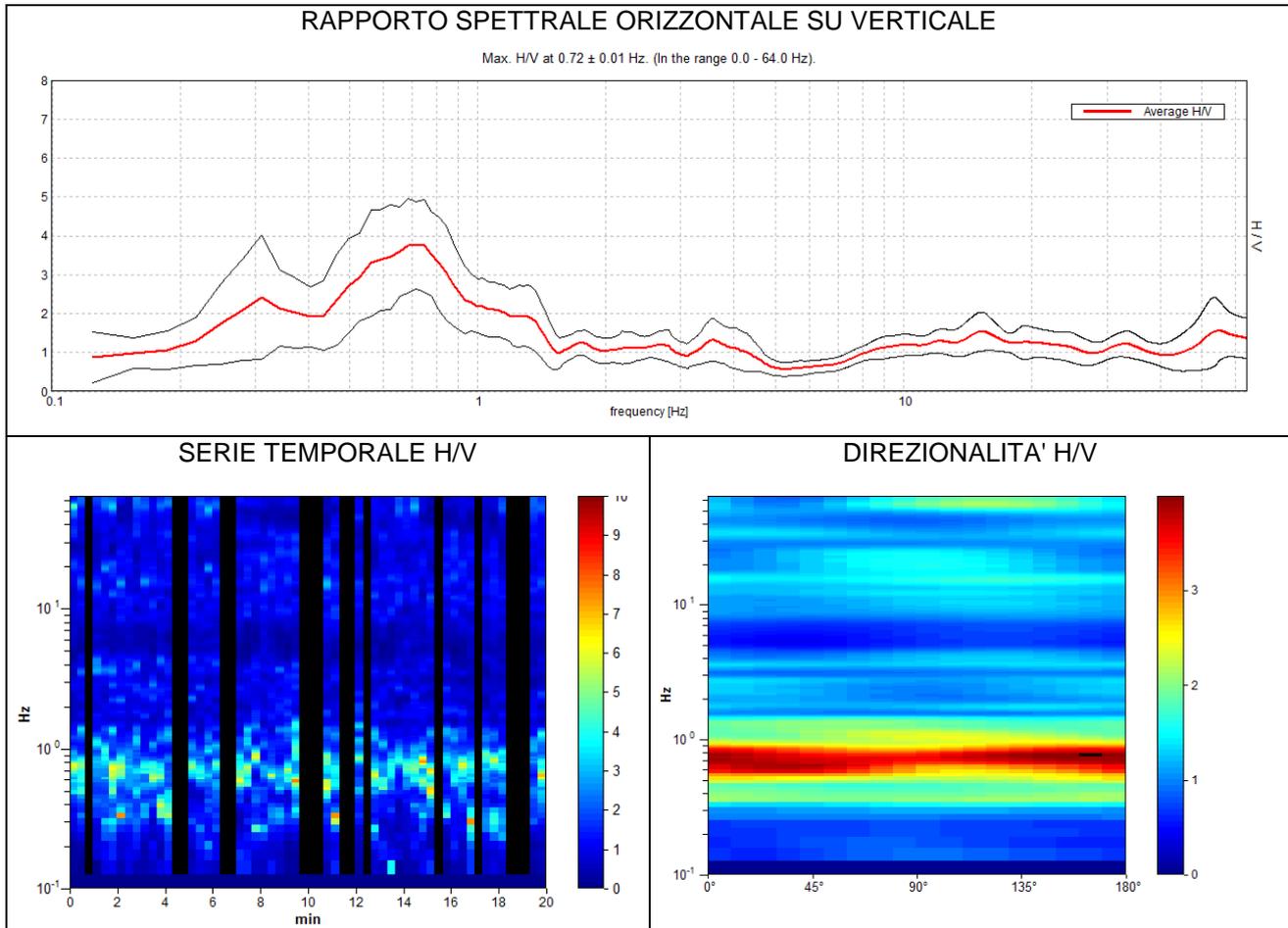
Fine registrazione: 04/02/20 10:08:46

Dato GPS non disponibile

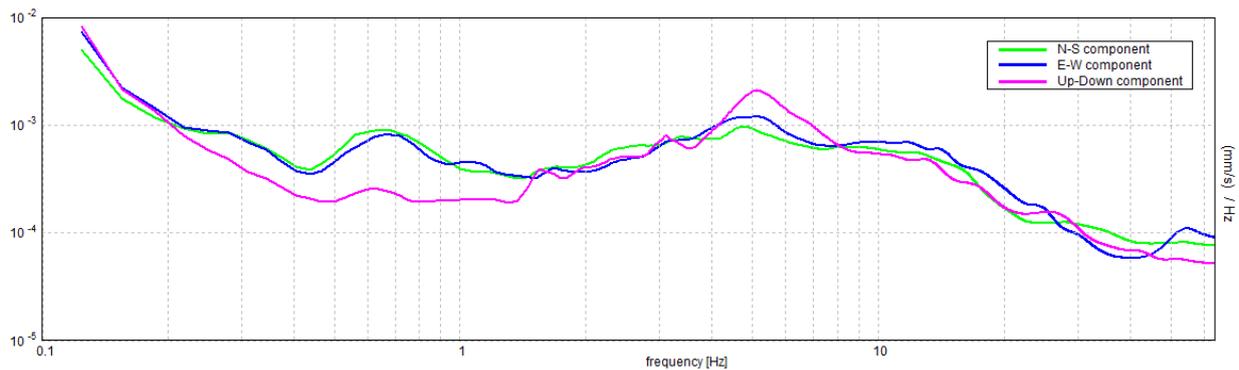
Analizzato 73% tracciato (selezione manuale)

Lunghezza finestre: 20 s

Lisciamento: 10%



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	49 di 163

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

**Picco H/V a  $0.72 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.72 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$632.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 36	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.25 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.344 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.76 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00342  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00246 < 0.10781$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5509 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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 34:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSr BH15.



**Figura 35:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSr BH15.

## 6.5 HVSR BH16

Strumento: TRZ-0017/01-09

Inizio registrazione: 08/03/20 09:26:31

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Tipo di lisciamento: Triangular window

Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

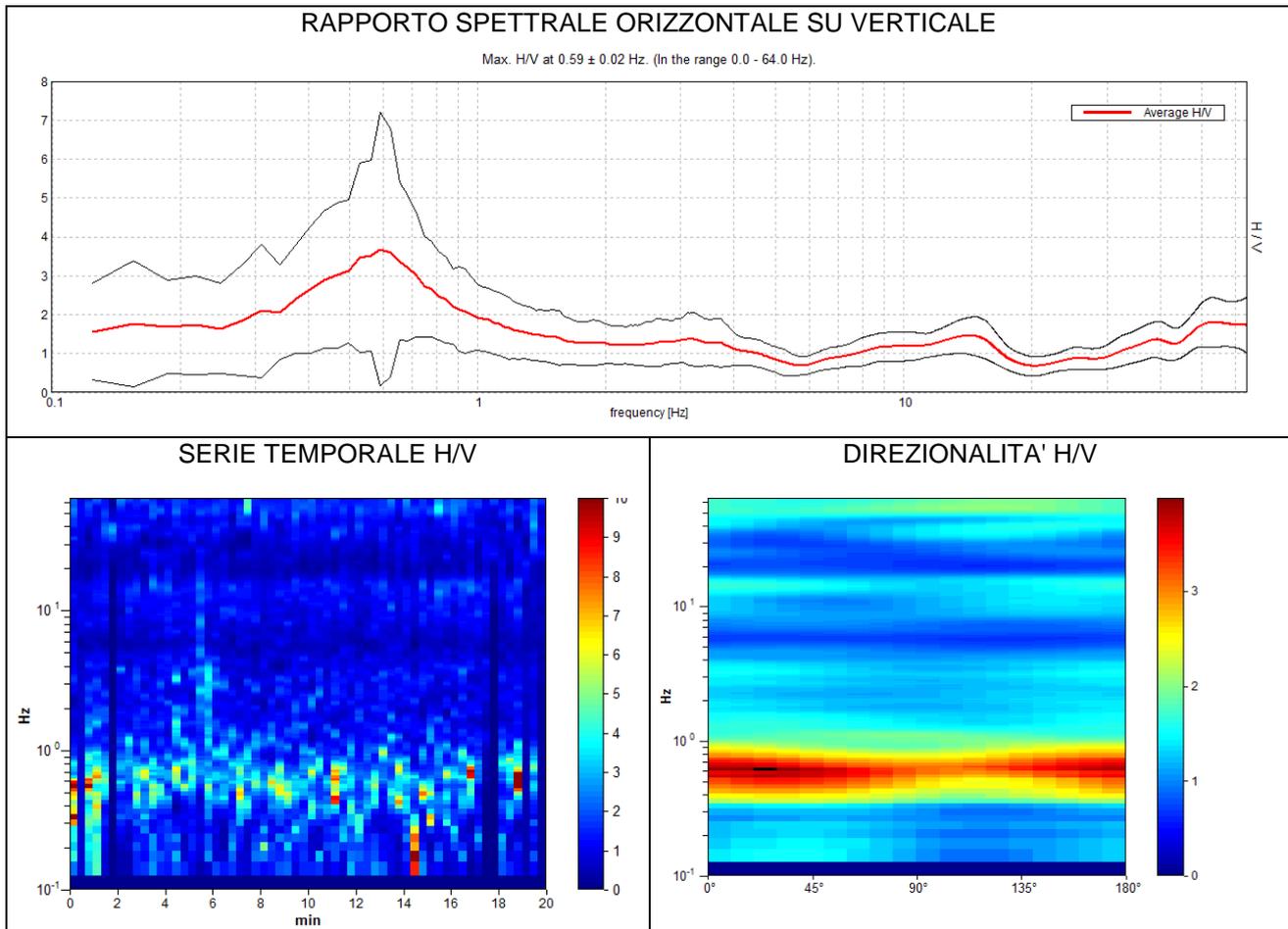
Fine registrazione: 08/03/20 09:46:32

Dato GPS non disponibile

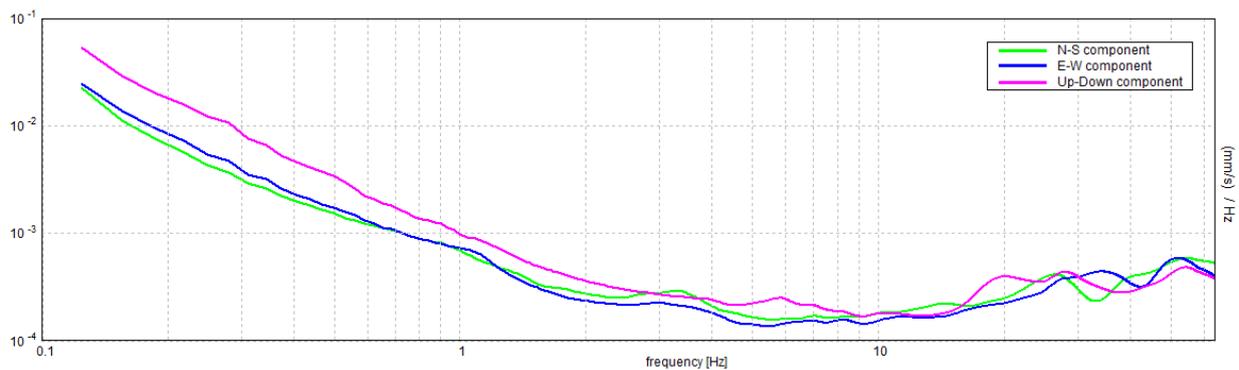
Analisi effettuata sull'intera traccia

Lunghezza finestre: 20 s

Lisciamento: 10%



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

**Picco H/V a  $0.59 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.59 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$712.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 5 volte su 30		

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.25 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.094 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.68 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01313  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0078 < 0.08906$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.7416 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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 36:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR BH16.



**Figura 37:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR BH16.

## 6.6 HVSR BH19

Strumento: TRZ-0017/01-09

Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 07/03/20 15:16:18

Fine registrazione: 07/03/20 15:36:19

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

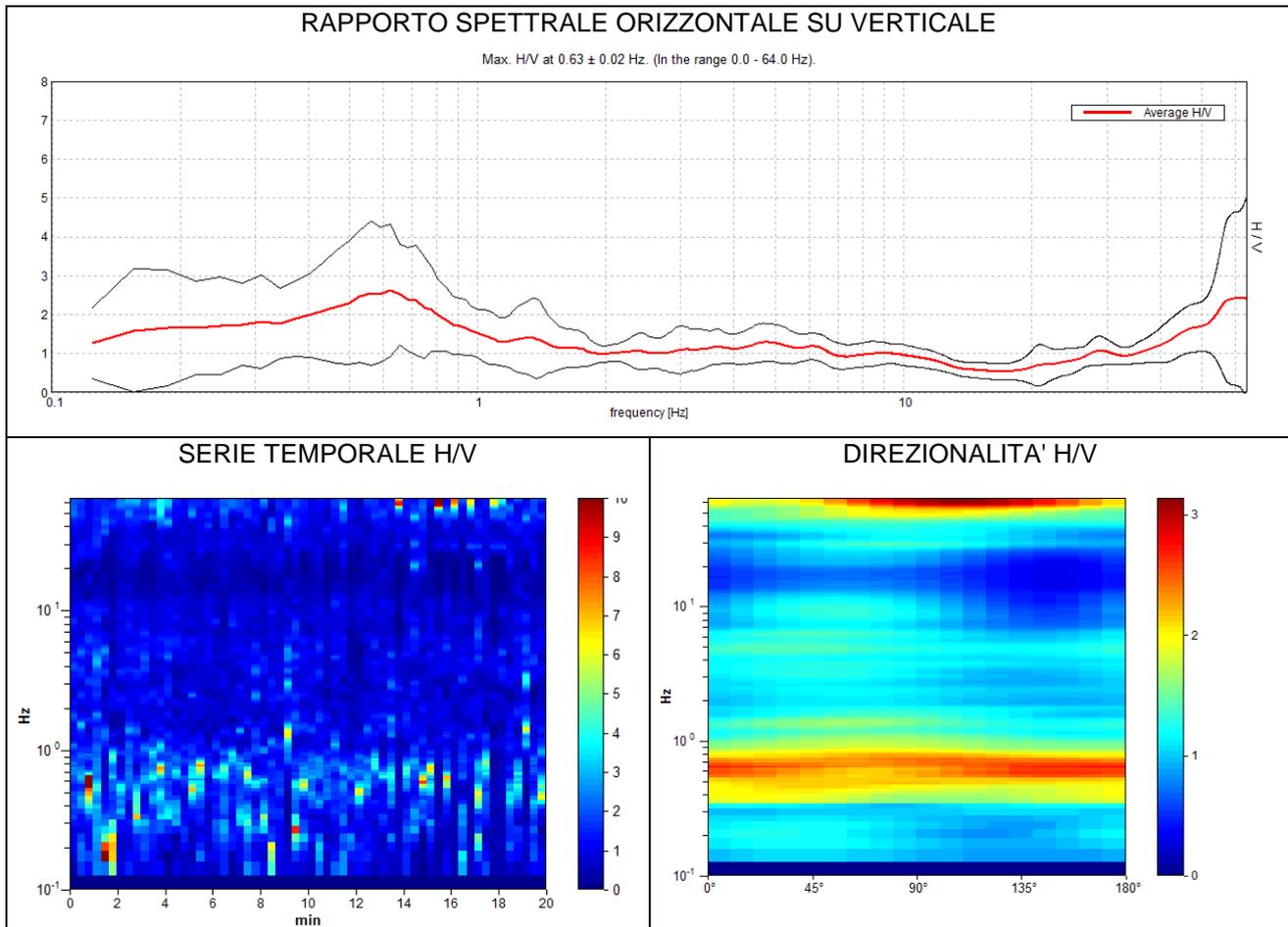
Analisi effettuata sull'intera traccia

Freq. campionamento: 128 Hz

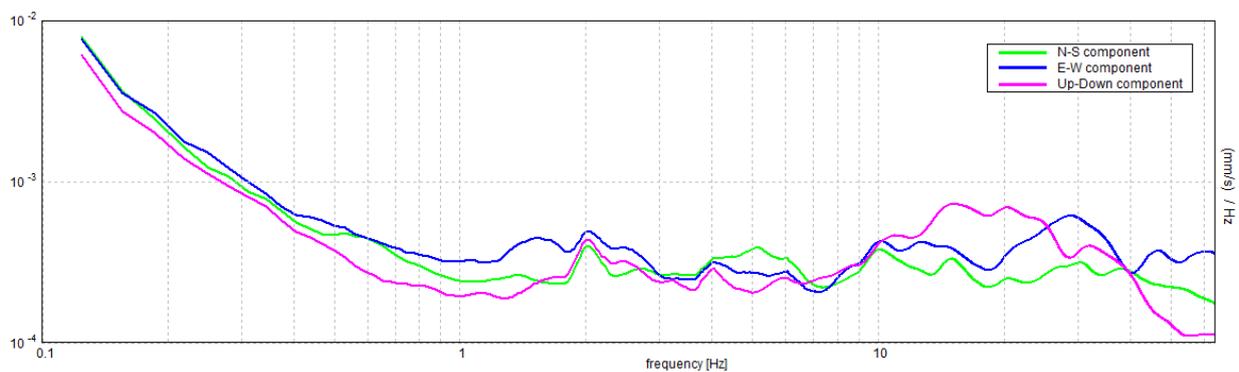
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

**Picco H/V a  $0.63 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.63 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$750.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 31	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.125 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.63 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01824  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0114 < 0.09375$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.8475 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	56 di 163



**Figura 38:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR BH19.



**Figura 39:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR BH19.

## 6.7 HVSR BH20

Strumento: TRZ-0017/01-09

Inizio registrazione: 04/02/20 10:21:10

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Tipo di lisciamento: Triangular window

Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

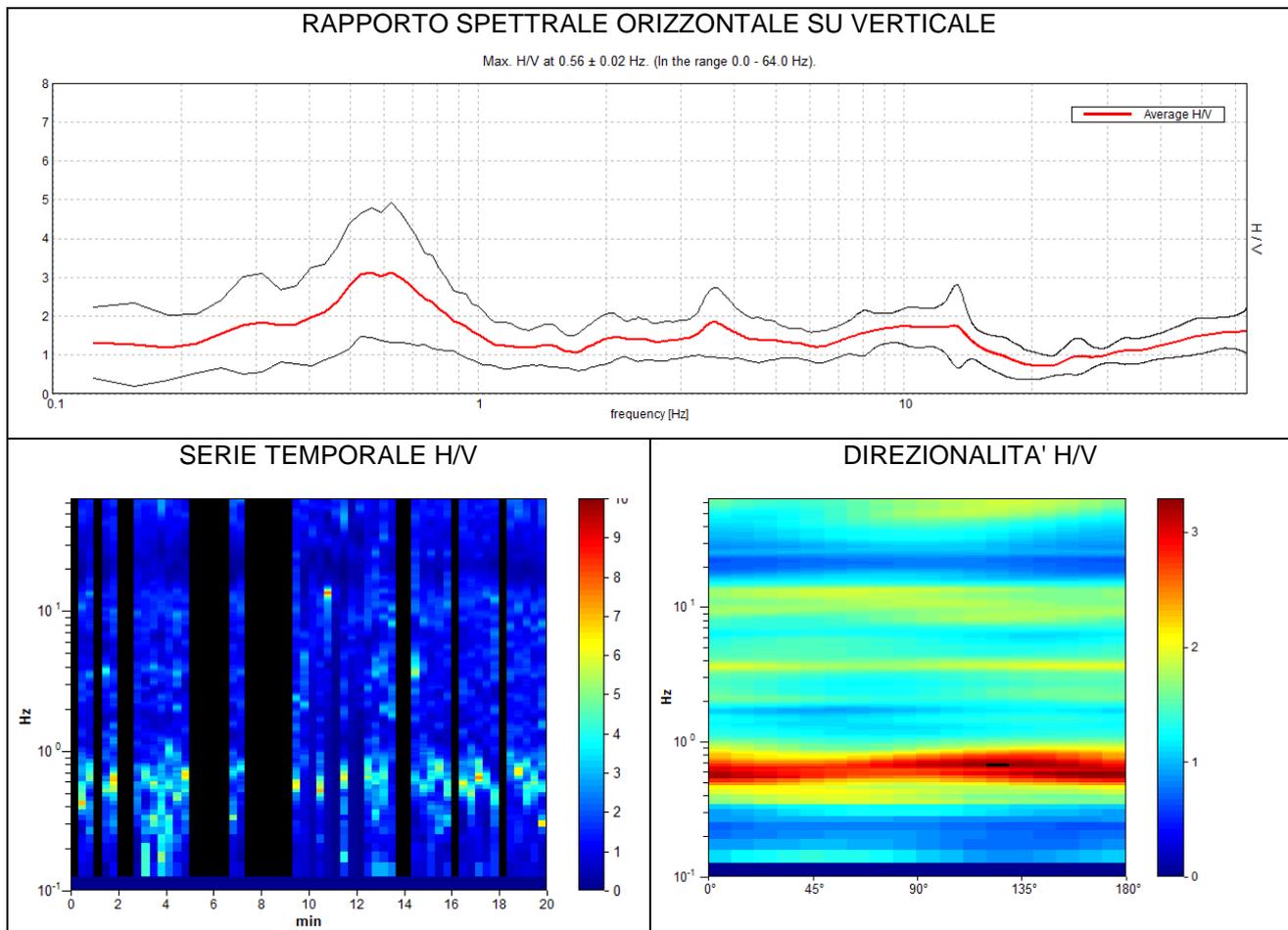
Fine registrazione: 04/02/20 10:41:11

Dato GPS non disponibile

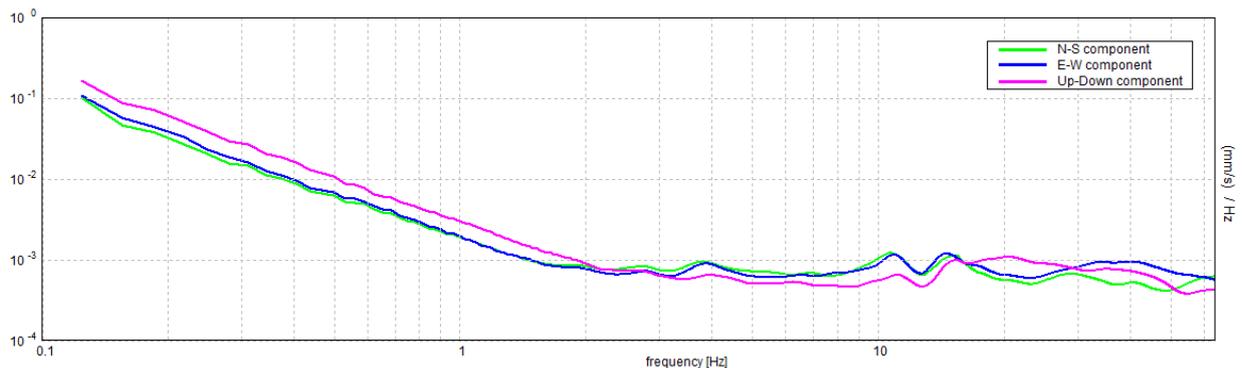
Analizzato 68% tracciato (selezione manuale)

Lunghezza finestre: 20 s

Lisciamento: 10%



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

**Picco H/V a  $0.56 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.56 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$461.3 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 28	<b>OK</b>	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.25 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.0 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.13 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01767  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00994 < 0.08438$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.8183 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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 $\sigma_f$ 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

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSr

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	59 di 163



**Figura 40:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSr BH20.



**Figura 41:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSr BH20.

## 6.8 HVSR BH23

Strumento: TRZ-0017/01-09

Inizio registrazione: 08/03/20 10:51:11

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Tipo di lisciamento: Triangular window

Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

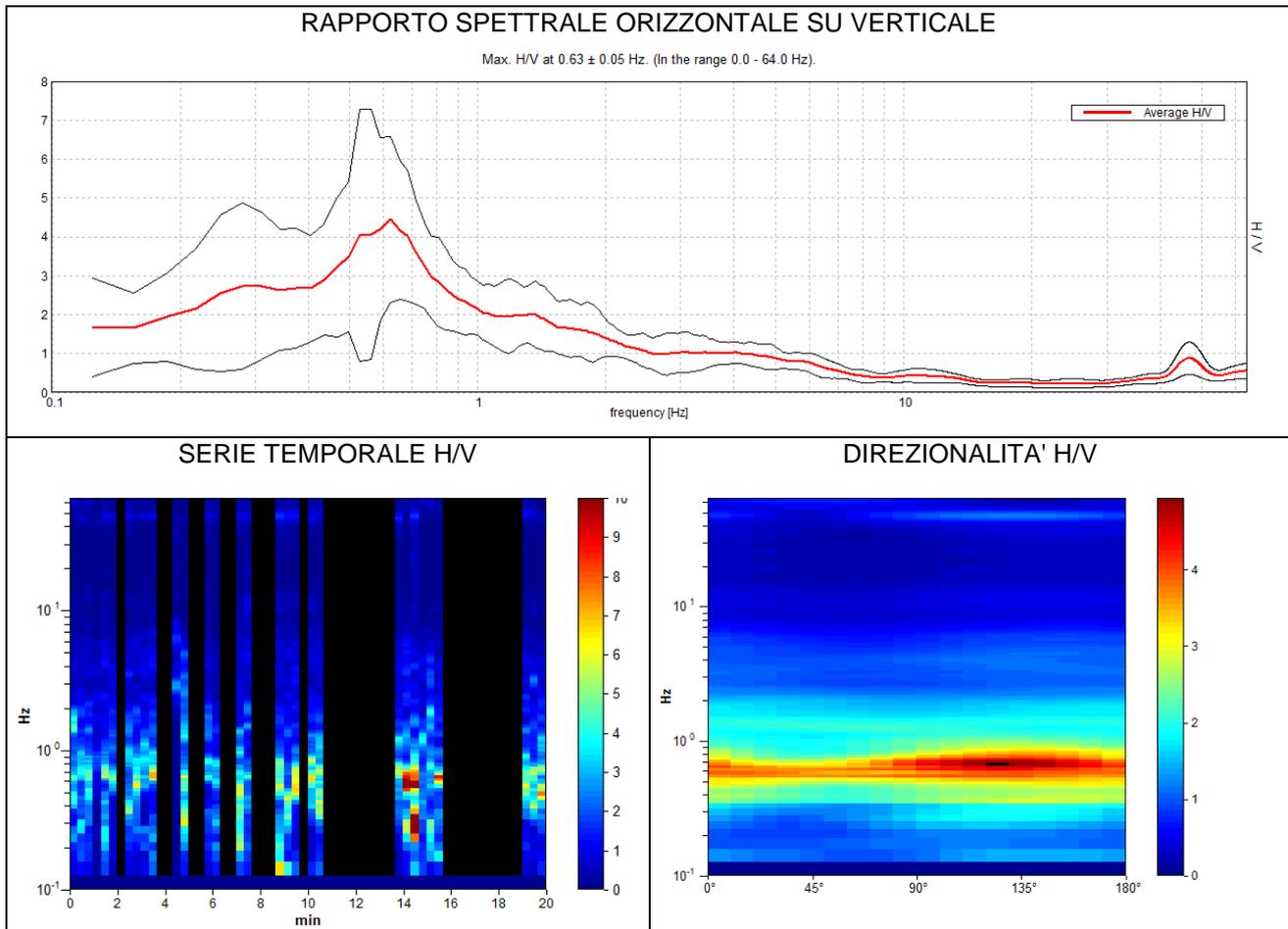
Fine registrazione: 08/03/20 11:11:12

Dato GPS non disponibile

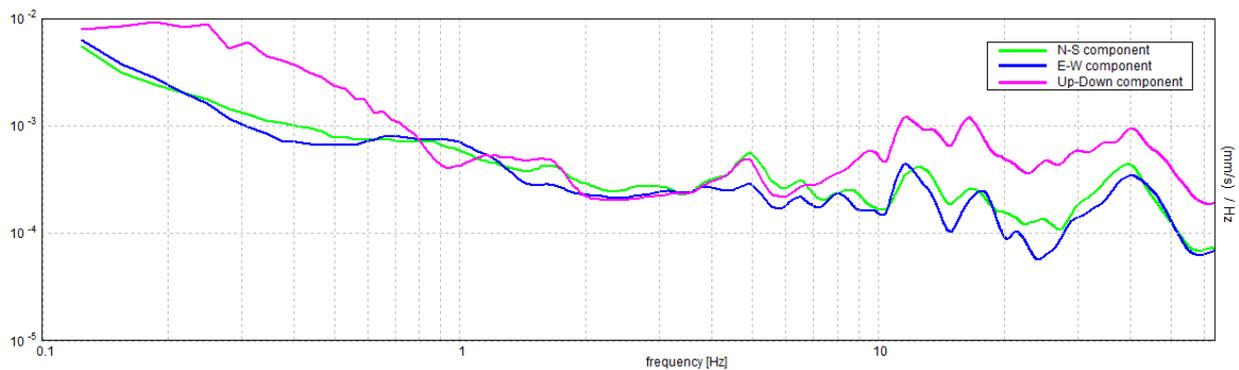
Analizzato 50% tracciato (selezione manuale)

Lunghezza finestre: 20 s

Lisciamento: 10%



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	61 di 163

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

**Picco H/V a  $0.63 \pm 0.05$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.63 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$375.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 4 volte su 31		

### Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.219 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.0 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$4.45 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.025 < 0.09375$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.0226 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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 $\sigma_f$ 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 42:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSr BH23.



**Figura 43:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSr BH23.

## 6.9 HVSR BH24

Strumento: TRZ-0017/01-09

Inizio registrazione: 07/03/20 09:51:20

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Tipo di lisciamento: Triangular window

Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

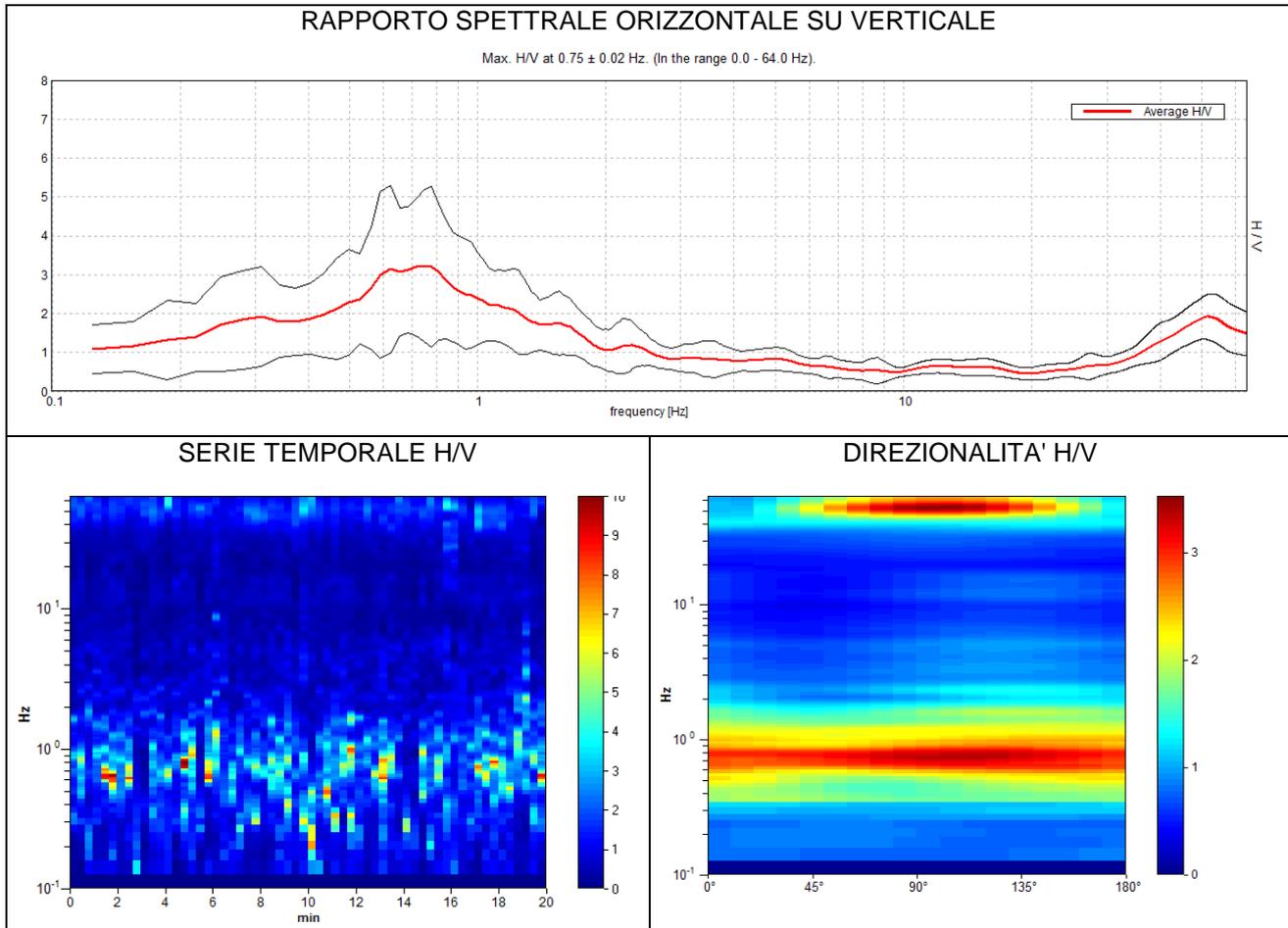
Fine registrazione: 07/03/20 10:11:21

Dato GPS non disponibile

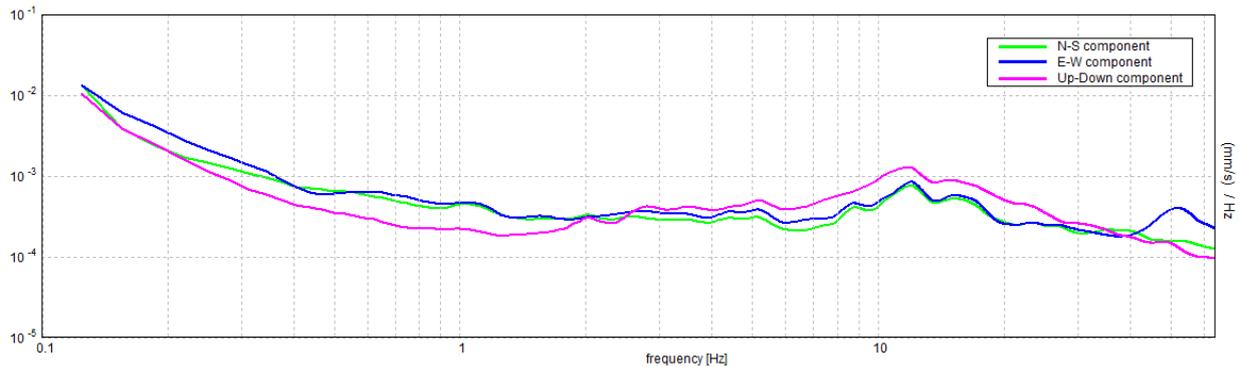
Analisi effettuata sull'intera traccia

Lunghezza finestre: 20 s

Lisciamento: 10%



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



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

**Picco H/V a  $0.75 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.75 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$900.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 3 volte su 37		

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.219 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.688 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.23 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01475  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01106 < 0.1125$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.9758 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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 44:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSr BH24.



**Figura 45:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSr BH24.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	66 di 163

## 6.10 HVSR BH26

Strumento: TRZ-0017/01-09

Inizio registrazione: 03/02/20 16:15:55

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00".

Freq. campionamento: 128 Hz

Tipo di lisciamento: Triangular window

Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

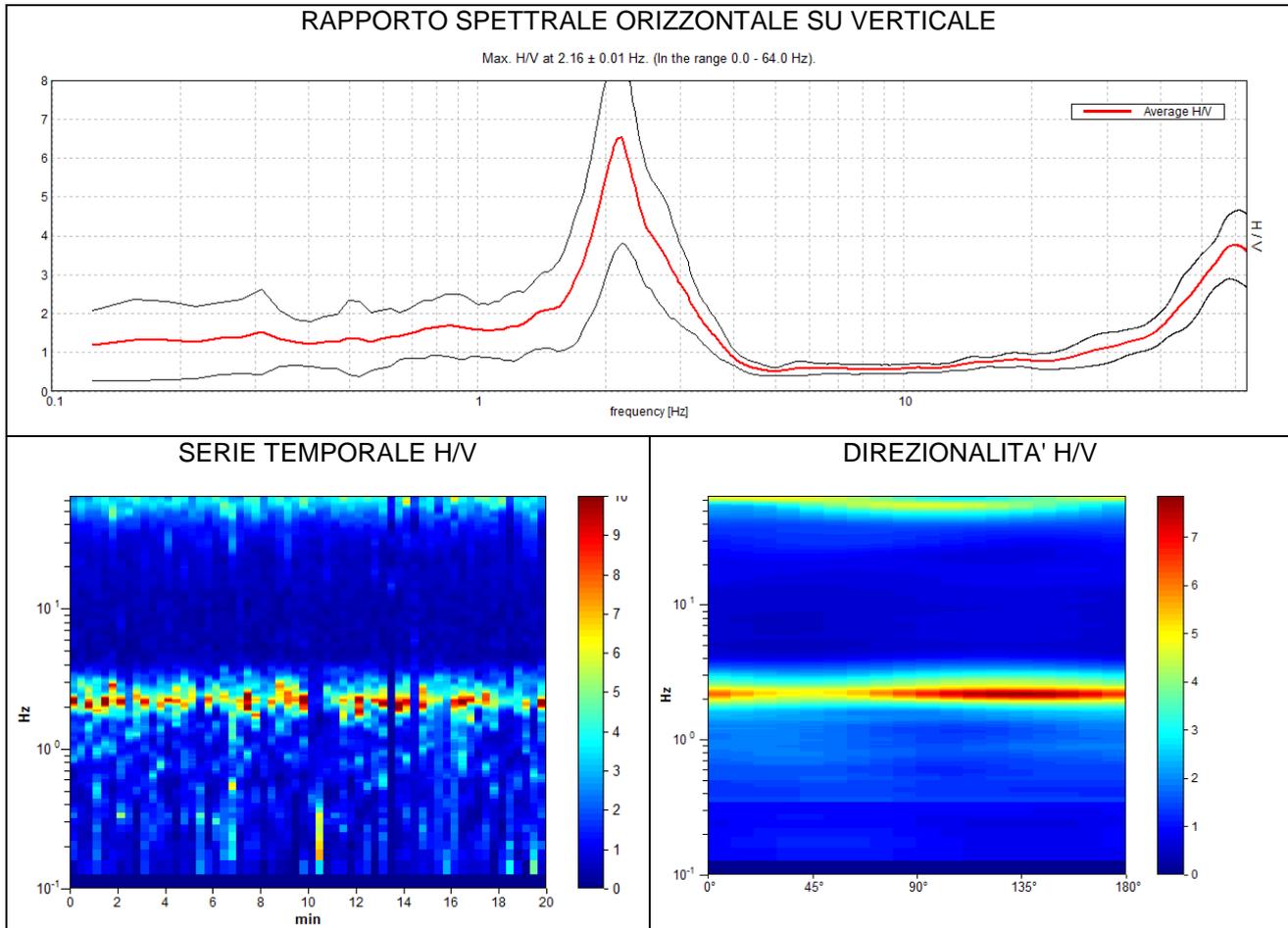
Fine registrazione: 03/02/20 16:35:56

Dato GPS non disponibile

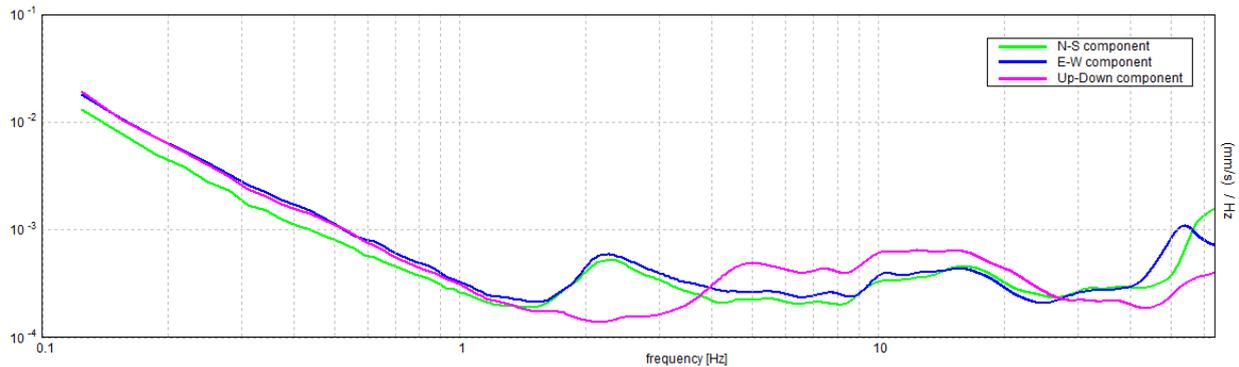
Analisi effettuata sull'intera traccia.

Lunghezza finestre: 20 s

Lisciamento: 10%



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[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  $2.16 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.16 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$2587.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 15 volte su 104		

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.75 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.844 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$6.53 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00186  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.004 < 0.10781$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.3823 < 1.58$	<b>OK</b>	

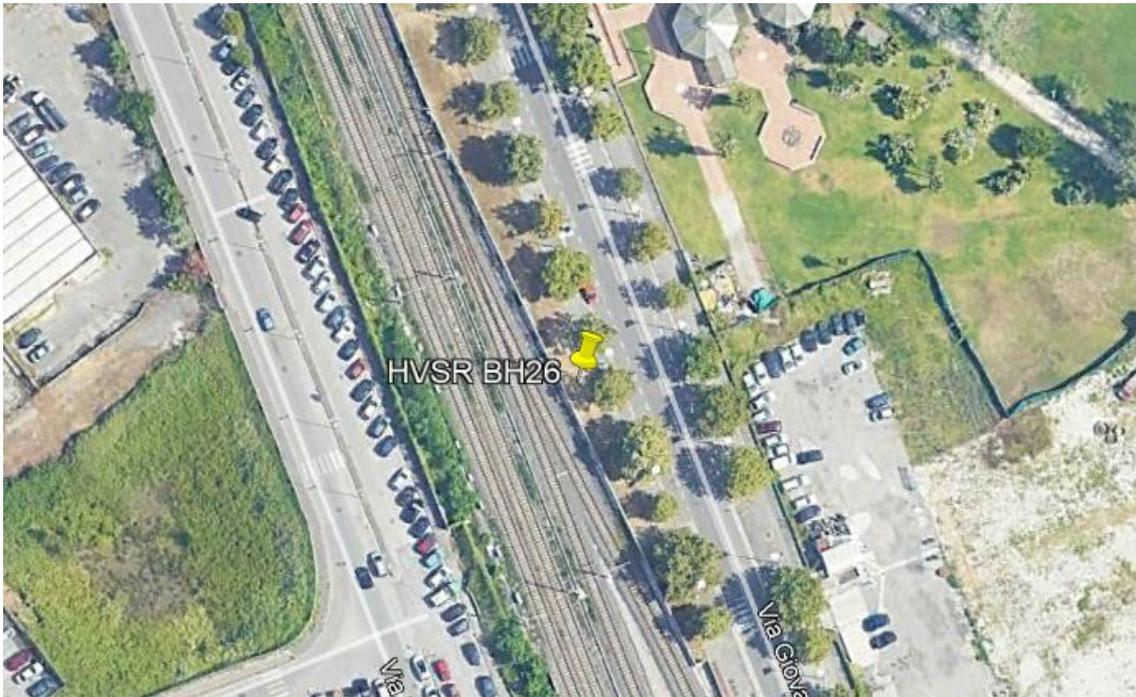
$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale
$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	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 $\sigma_f$ 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

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSr

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	68 di 163



**Figura 46:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSr BH26.



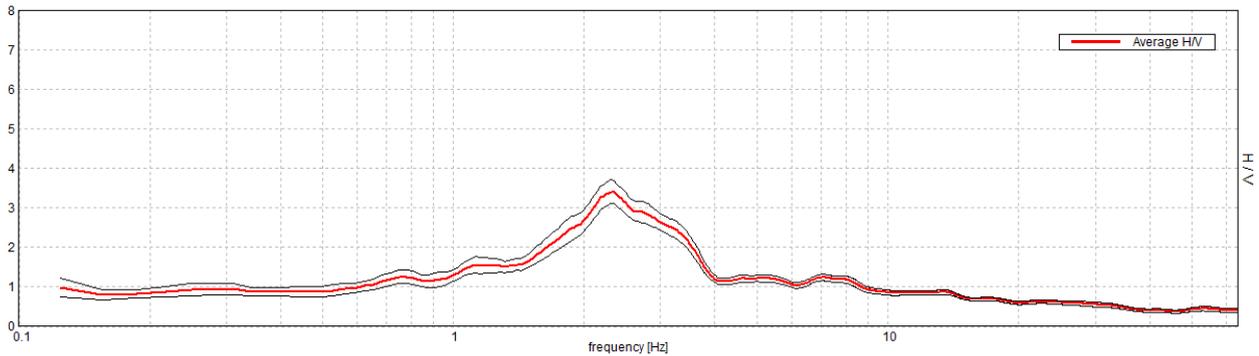
**Figura 47:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSr BH26.

## 6.11 HVSR BH6

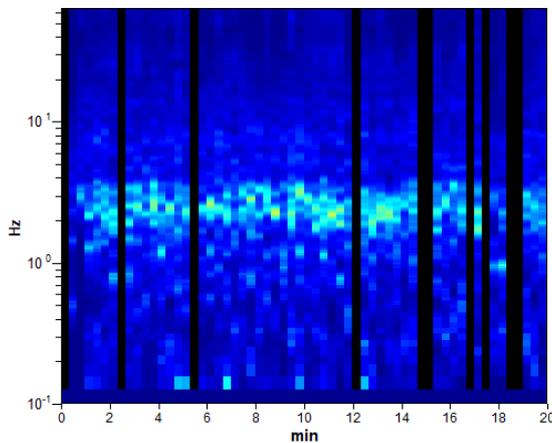
Strumento: TRZ-0153/01-11      Formato dati: 16 byte      Fondo scala [mV]: 51  
 Inizio registrazione: 12/05/20 08:18:35      Fine registrazione: 12/05/20 08:38:36  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN      Dato GPS non disponibile  
 Durata registrazione: 0h20'00".      Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz      Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window      Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

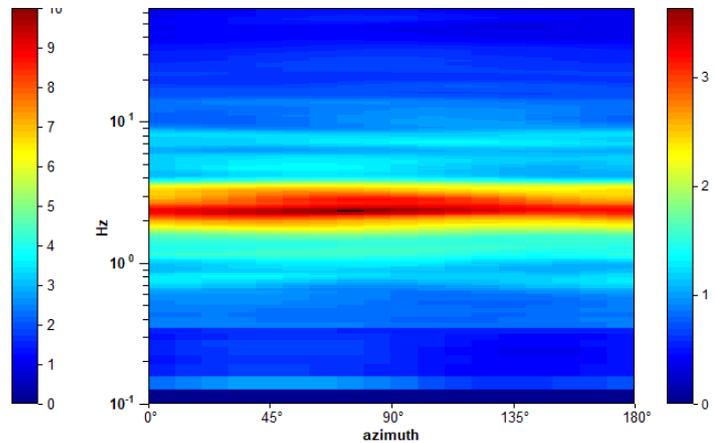
Max. H/V at 2.31 ± 0.21 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



### SERIE TEMPORALE H/V



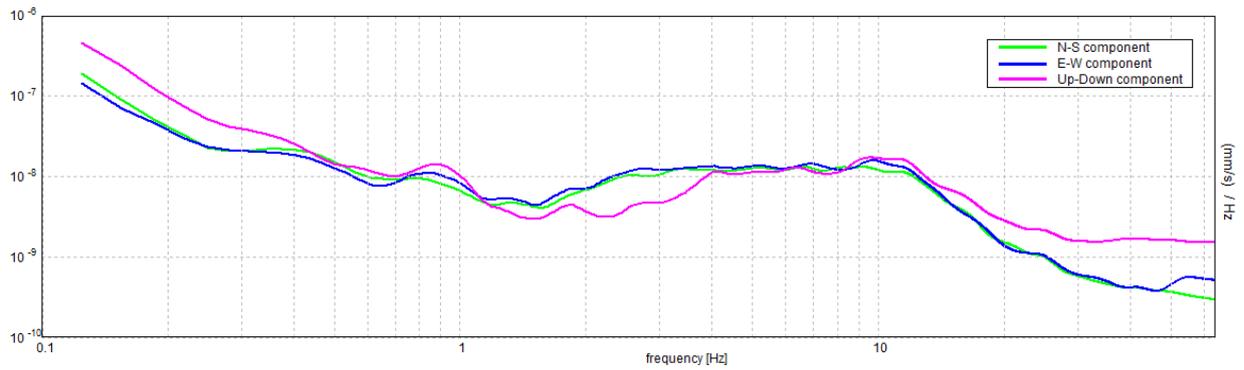
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	70 di 163



Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	71 di 163

[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  $2.31 \pm 0.21$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.31 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$2312.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 112	<b>OK</b>	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.5 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.719 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$3.41 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09155  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.21172 < 0.11563$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2936 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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 $\sigma_f$ 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 48:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR BH 06.



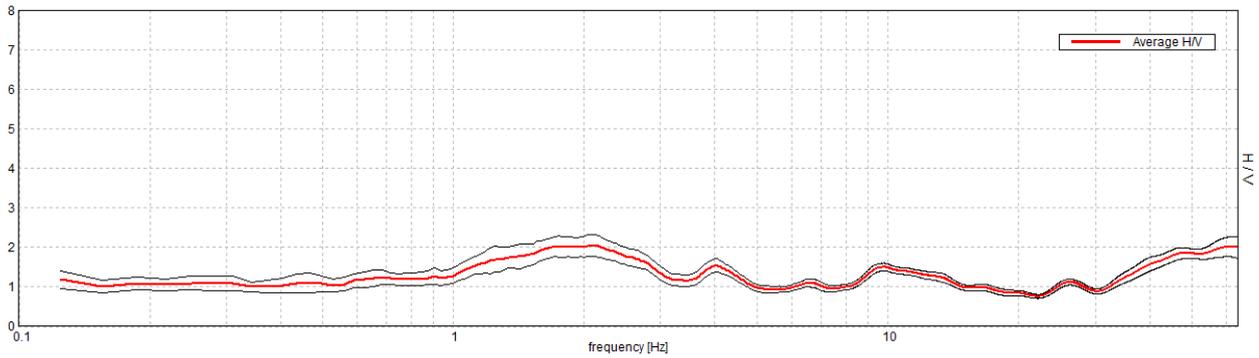
**Figura 49:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR BH 06.

## 6.12 HVSR BHB

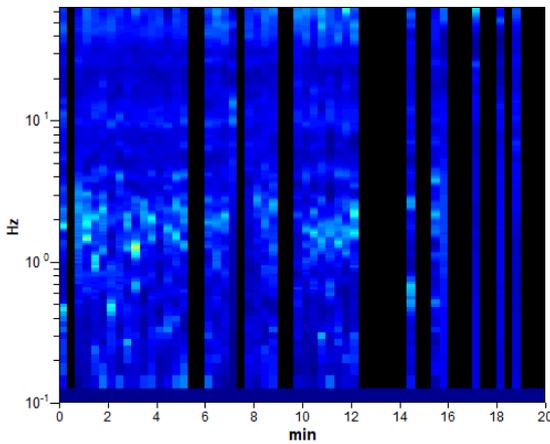
Strumento: TRZ-0153/01-11      Formato dati: 16 byte      Fondo scala [mV]: 51  
 Inizio registrazione: 12/05/20 10:44:59      Fine registrazione: 12/05/20 11:04:59  
 Nominali canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN      Dato GPS non disponibile  
 Durata registrazione: 0h20'00".      Analizzato 62% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz      Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window      Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

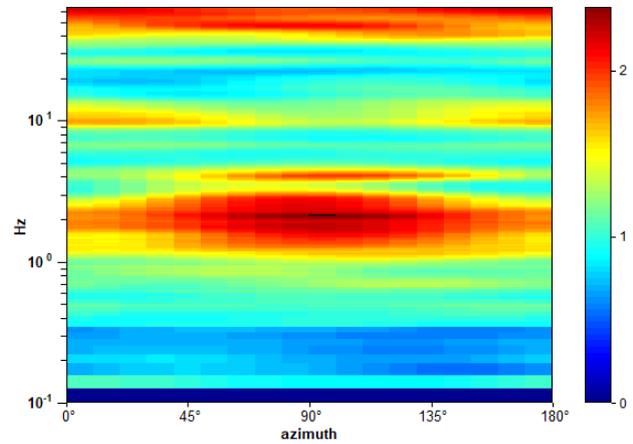
Max. H/V at 2.09 ± 0.16 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



### SERIE TEMPORALE H/V



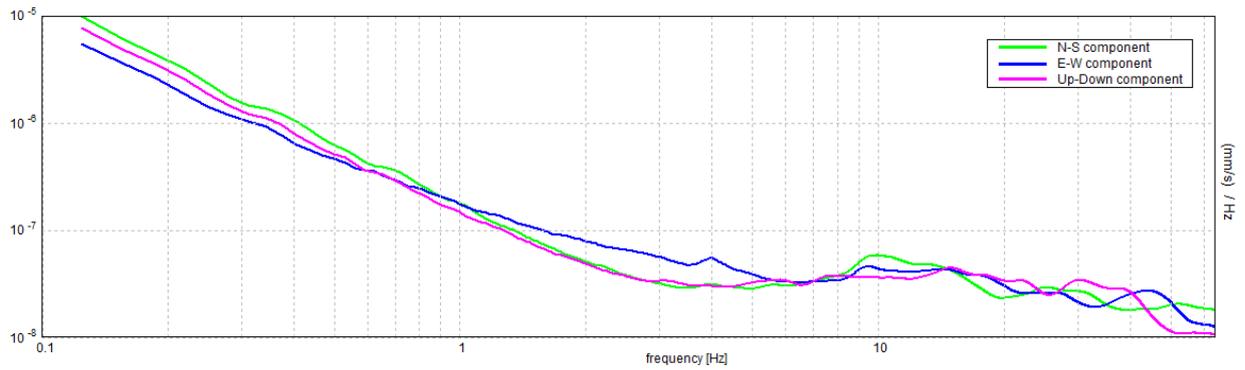
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSr

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	74 di 163



[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 2.09 ± 0.16 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	2.09 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1549.4 > 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 102	OK	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.05 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07713  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.16148 < 0.10469		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2753 < 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
$\sigma_f$	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 $\sigma_f$ 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

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed  
HVSr

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	76 di 163



**Figura 50:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSr BH 08.



**Figura 51:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSr BH 08.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

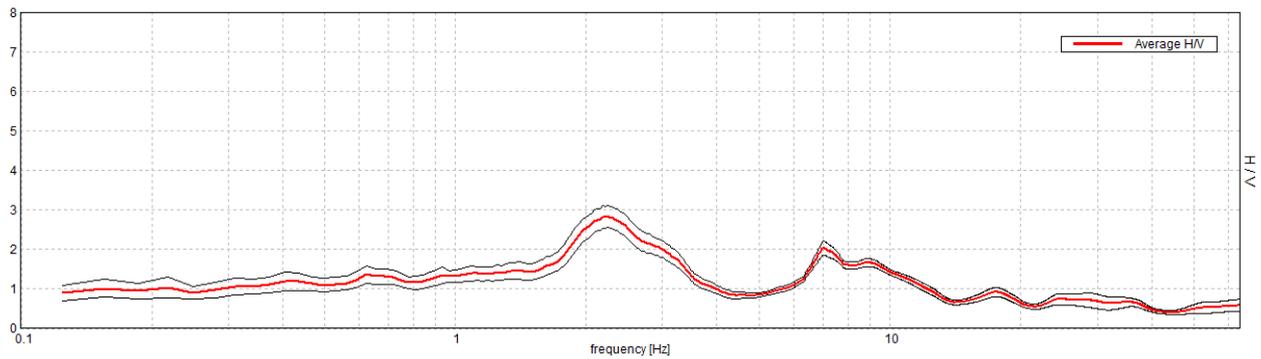
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	77 di 163

### 6.13 HVSR BH 12

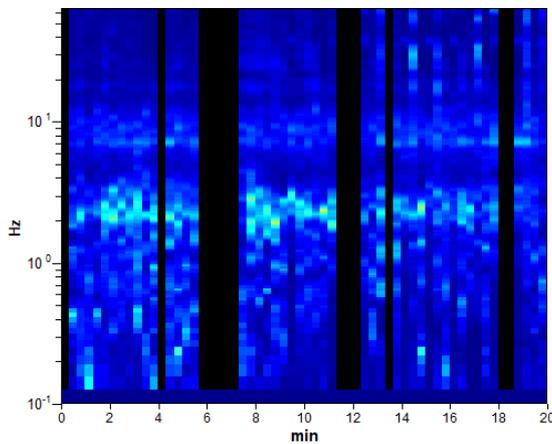
Strumento: TRZ-0153/01-11      Formato dati: 16 byte      Fondo scala [mV]: 51  
 Inizio registrazione: 12/05/20 14:16:52      Fine registrazione: 12/05/20 14:36:52  
 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN      Dato GPS non disponibile  
 Durata registrazione: 0h20'00".      Analizzato 78% tracciato (selezione manuale)  
 Freq. campionamento: 128 Hz      Lunghezza finestre: 20 s  
 Tipo di lisciamento: Triangular window      Lisciamento: 10%

#### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

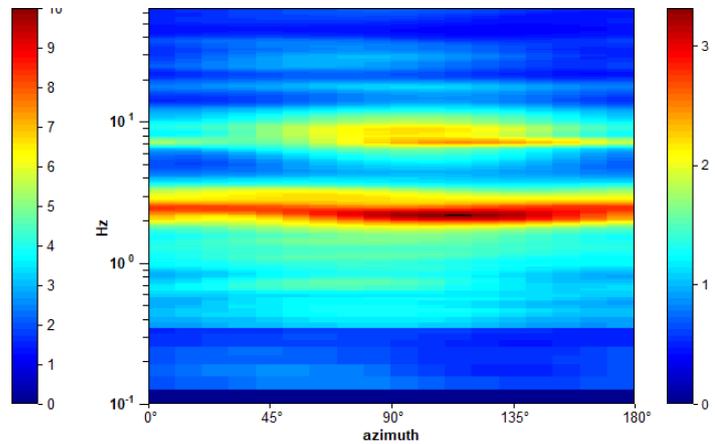
Picco H/V a  $2.25 \pm 0.29$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



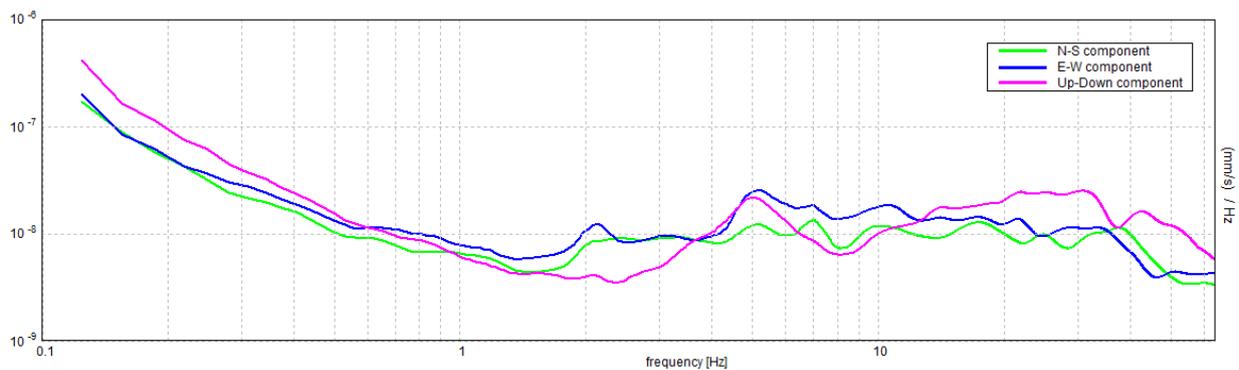
#### SERIE TEMPORALE H/V



#### DIREZIONALITA' H/V



#### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[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  $2.25 \pm 0.29$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteri per una curva H/V affidabile**

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.25 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$2115.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 109	<b>OK</b>	

**Criteri per un picco H/V chiaro**

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.281 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.469 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.84 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.12737  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.28659 < 0.1125$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2764 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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  $\sigma_f$  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 52: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSr BH 12.



Figura 53: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSr BH 12.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

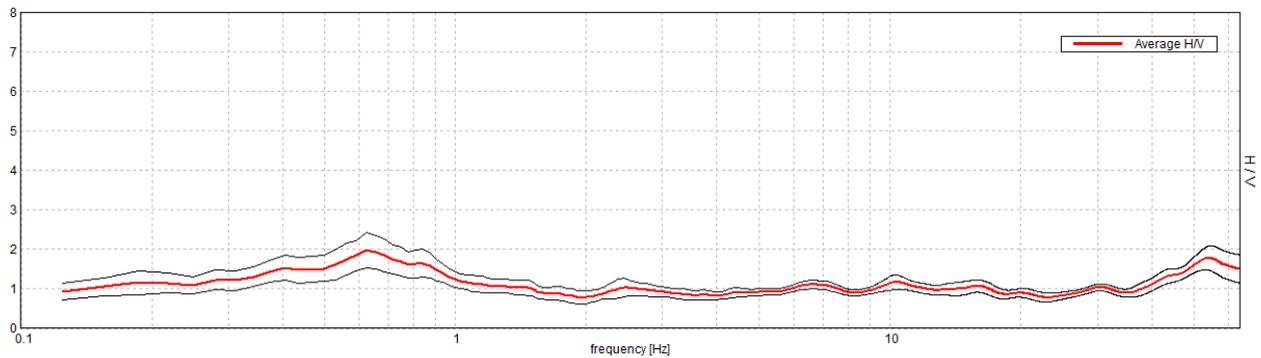
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	80 di 163

## 6.14 HVSR BH 22

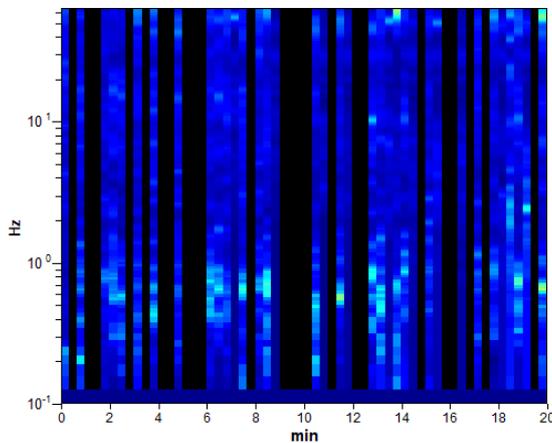
Strumento: TRZ-0153/01-11	Formato dati: 16 byte	Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 12/05/20 16:01:57	Fine registrazione: 12/05/20 16:21:57	
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN	Dato GPS non disponibile	
Durata registrazione: 0h20'00".	Analizzato 60% tracciato (selezione manuale)	
Freq. campionamento: 128 Hz	Lunghezza finestre: 20 s	
Tipo di lisciamento: Triangular window	Lisciamento: 10%	

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

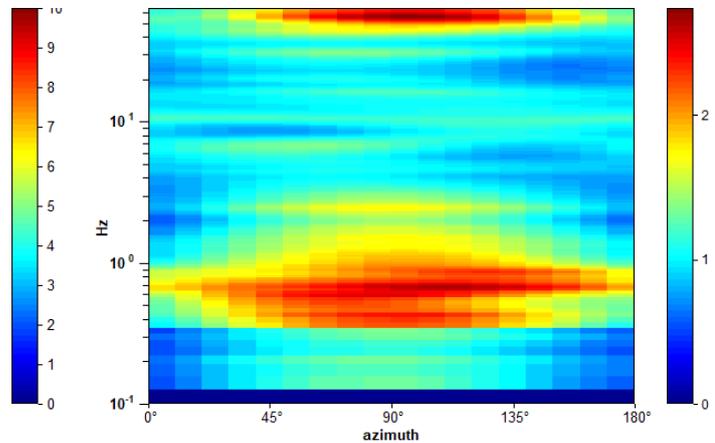
Max. H/V at 0.63 ± 0.13 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



### SERIE TEMPORALE H/V



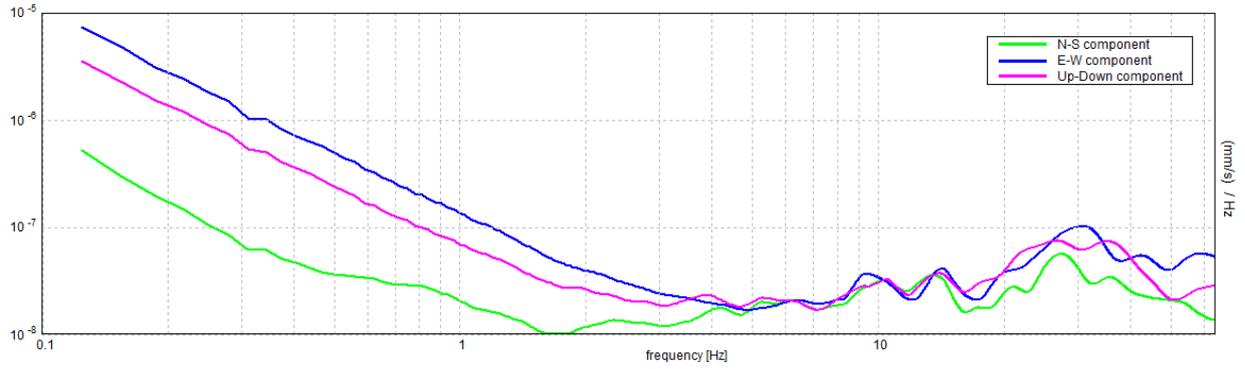
### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	81 di 163



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

**Picco H/V a  $0.63 \pm 0.13$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.63 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$450.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 31	<b>OK</b>	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.531 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$1.98 > 2$		
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.20156  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.12597 < 0.09375$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4564 < 2.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	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
$\sigma_f$	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 $\sigma_f$ 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 54:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSr BH 22.



**Figura 55:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSr BH 22.

## 7. INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA DOWNHOLE

Lo scopo della prova down-hole consiste nel determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione (onde P) e di taglio (onde SH), calcolando il tempo ad 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  $45^\circ$  l'uno rispetto all'altro), ancorati a profondità nota nel foro di sondaggio (Figura 56).

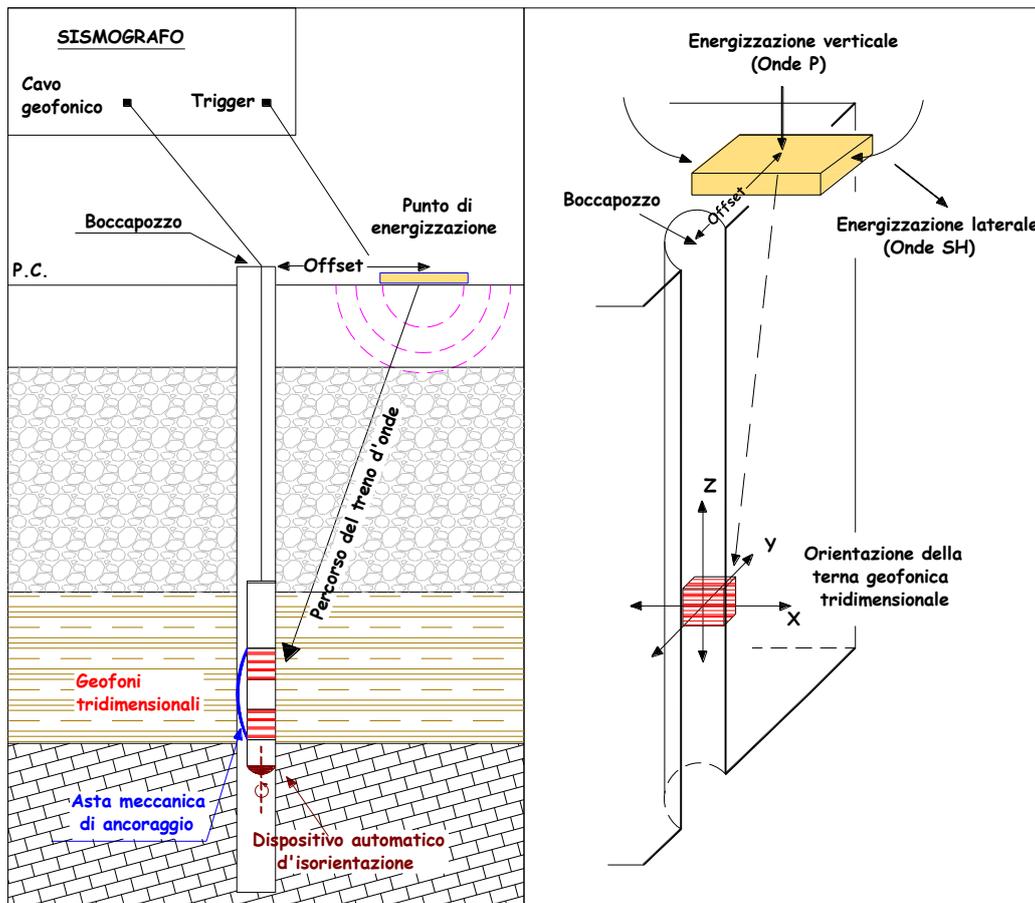


Figura 56: rappresentazione schematica di un carotaggio sismico per il down-hole.

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 ad essa perpendicolare e a 45° l'uno dall'altro. I trasduttori hanno 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 quattro prove si sono sviluppate secondo le seguenti fasi:

1. 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 2.00 (BH14), 2.80 (BH 13) e 3.0 m (BH12) e orientato con direzione perpendicolare al raggio condotto dal foro.
2. Il sistema, costituito dai cinque ricevitori, è stato calato a fondo foro.
3. Dopo aver calato il dispositivo si è provveduto ad ancorare quest'ultimo alle pareti del foro.
4. Campionamento del rumore ambientale.
5. È stato quindi attivato il dispositivo sorgente, producendo 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 l'ottenimento di una buona qualità dei dati, è necessario produrre alla sorgente due onde di polarità opposta e sommare le registrazioni d'ogni singolo arrivo, così da individuare in modo migliore l'istante di primo arrivo (metodo cross-over).

6. La prova è stata quindi ripetuta con interdistanza fra le misure pari a 1,0 m per tutto il tratto 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 (Front End; precisione dell'ordine di 0,1 millisecondi).

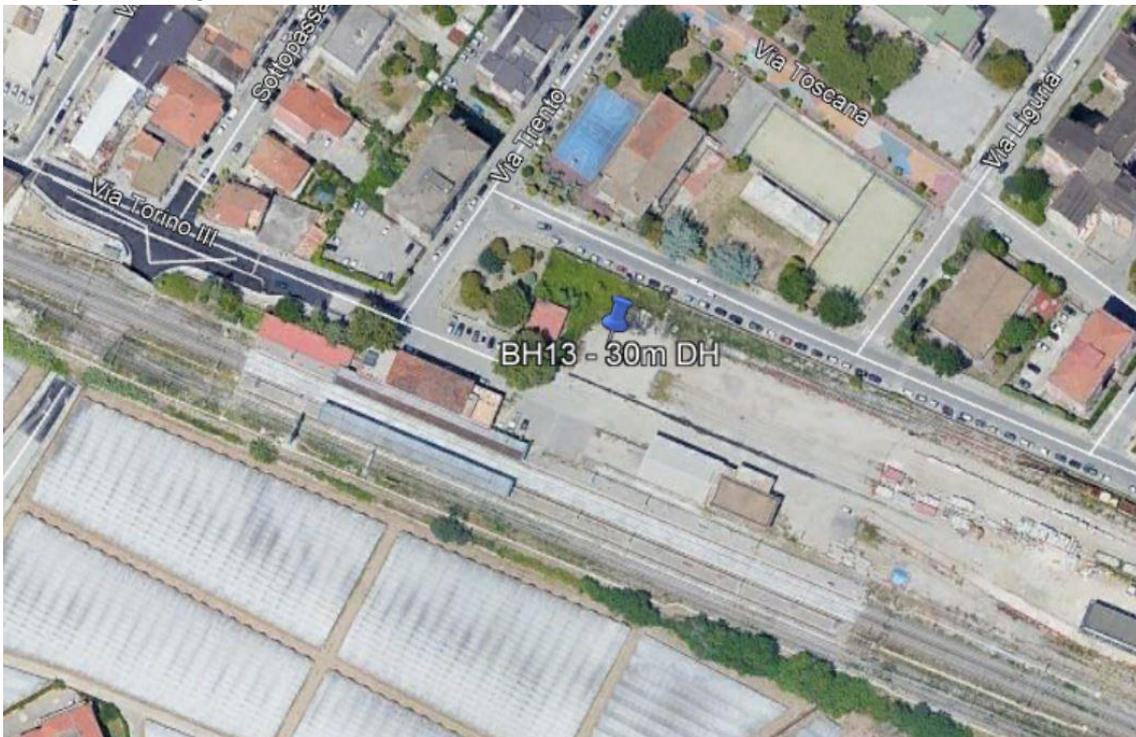
Per avere un buon controllo sulla procedura di lettura dei tempi e valutare al contempo la qualità dei dati sismici acquisiti per tutto il tragitto di ogni sondaggio, i valori numerici dei primi arrivi delle onde sismiche P ed SH sono stati riportati su sezioni tempo/tracce ove le varie tracce sono scelte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

Tale procedura consente di ottenere così 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 successivamente, 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. ANALISI DEI RISULTATI DEI CAROTAGGI SISMICI DOWN-HOLE

### 8.1 DOWN-HOLE BH13



**Figura 57:** ortofoto relativa all'ubicazione della prova down-hole BH13.



**Figura 58:** foto relativa all'esecuzione della prova down-hole BH13.

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 (in metri da piano campagna). I grafici relativi sono riportati nelle figure **Figura 59** e **Figura 60**.

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
m	ms	ms	m/s	m/s
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	10.23	16.92	309.12	186.90
2	10.92	19.10	330.18	188.77
3	12.18	22.92	348.33	185.11
4	13.04	25.24	383.44	198.10
5	13.85	27.42	421.01	212.65
6	15.12	30.59	443.66	219.29
7	16.28	33.46	467.80	227.61
8	17.02	35.37	502.00	241.56
9	17.93	37.65	529.10	251.97
10	18.81	39.83	555.04	262.12
11	19.71	42.06	578.48	271.08

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
12	20.75	44.61	596.11	277.28
13	21.70	46.93	614.82	284.29
14	22.59	49.11	633.81	291.55
15	23.93	52.38	639.24	292.04
16	24.61	54.16	661.47	300.57
17	25.44	56.34	678.56	306.40
18	26.43	58.93	690.44	309.66
19	27.84	62.61	690.93	307.23
20	28.99	65.75	697.61	307.59
21	29.88	68.21	709.95	311.00
22	30.71	70.53	723.01	314.81
23	31.29	72.16	741.29	321.44
24	32.22	74.76	750.68	323.53
25	32.94	76.80	764.40	327.86
26	33.84	79.39	773.42	329.67
27	34.79	82.12	780.86	330.81
28	35.56	84.35	791.91	333.85
29	36.22	86.28	804.94	337.91
30	36.80	87.91	819.28	342.96

Nella seguente tabella sono riportate le velocità intervallari (in metri/secondo) per ciascun metro di indagine; il grafico relativo è riportato in Figura 61.

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
m	m/s	m/s
0	0.0	0.0
1	309.12	186.90
2	354.32	188.77
3	391.35	185.11
4	549.62	198.10
5	692.39	212.65
6	606.99	219.29
7	694.47	227.61
8	1028.13	241.56
9	931.47	251.97
10	993.23	262.12
11	1001.22	271.08
12	896.89	277.28

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
13	986.36	284.29
14	1059.02	291.55
15	726.35	292.04
16	1382.76	300.57
17	1156.86	306.40
18	982.80	309.66
19	699.82	307.23
20	854.74	307.59
21	1098.39	311.00
22	1178.27	314.81
23	1670.06	321.44
24	1059.30	323.53
25	1362.08	327.86
26	1096.98	329.67
27	1041.39	330.81
28	1281.36	333.85
29	1492.31	337.91
30	1695.97	342.96

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S<sub>H</sub>. 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)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
1	309.12	186.90	1.52	0.21	52.90	128.22	38.91	74.18
2	354.32	190.69	1.56	0.30	56.51	146.50	82.09	119.77
3	391.35	178.19	1.59	0.37	50.29	137.71	142.00	175.53
4	549.62	250.93	1.69	0.37	106.38	291.12	297.59	368.51
5	692.39	301.16	1.77	0.38	160.10	442.95	526.03	632.77
6	606.99	259.87	1.72	0.39	116.26	322.70	401.78	479.29
7	694.47	294.63	1.77	0.39	153.32	426.31	545.19	647.40
8	1028.13	423.12	1.90	0.40	340.68	952.59	1330.09	1557.21
9	931.47	384.62	1.87	0.40	276.27	772.03	1067.81	1251.99
10	993.23	411.13	1.89	0.40	319.55	892.56	1225.83	1438.87
11	1001.22	411.90	1.90	0.40	321.23	898.26	1255.49	1469.64
12	896.89	370.36	1.86	0.40	254.33	710.70	982.86	1152.41
13	986.36	408.14	1.89	0.40	314.50	878.52	1207.80	1417.47
14	1059.02	436.36	1.92	0.40	364.37	1018.60	1417.45	1660.37
15	726.35	299.14	1.78	0.40	159.40	445.64	621.01	727.28

Profondità (m da p.c.)	VP (m/s)	VS (m/s)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
16	1382.76	534.89	2.02	0.41	575.97	1626.56	2697.22	3081.20
17	1156.86	444.38	1.95	0.41	384.28	1086.33	1835.86	2092.05
18	982.80	378.00	1.89	0.41	269.58	761.93	1283.18	1462.90
19	699.82	269.13	1.77	0.41	128.12	362.11	610.04	695.45
20	854.74	314.59	1.84	0.42	181.83	517.00	978.62	1099.85
21	1098.39	399.70	1.93	0.42	307.85	876.55	1709.08	1914.32
22	1178.27	423.94	1.95	0.43	350.98	1000.75	2009.18	2243.16
23	1670.06	598.58	2.09	0.43	747.62	2132.68	4324.55	4822.97
24	1059.30	380.40	1.92	0.43	276.93	789.78	1593.59	1778.21
25	1362.08	483.03	2.01	0.43	468.36	1337.71	2787.47	3099.72
26	1096.98	382.59	1.93	0.43	281.98	806.90	1754.29	1942.28
27	1041.39	363.50	1.91	0.43	252.05	721.19	1564.60	1732.63
28	1281.36	444.00	1.99	0.43	391.16	1120.10	2475.52	2736.30
29	1492.31	512.29	2.04	0.43	536.03	1536.48	3476.54	3833.89
30	1695.97	605.43	2.09	0.43	767.09	2189.25	4485.24	4996.63

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

*valore  $V_{seq} = 342.96$  m/s*

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

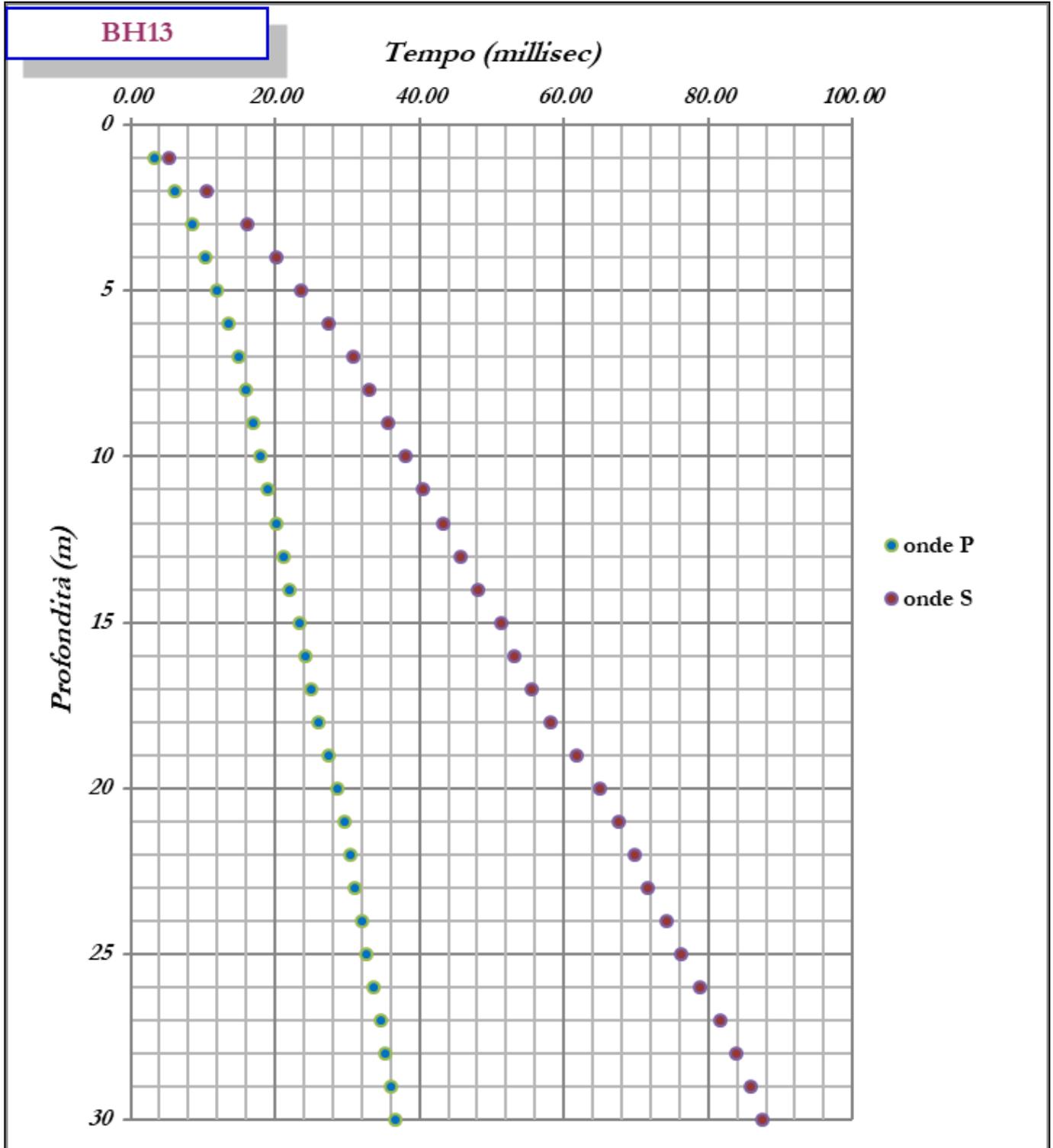
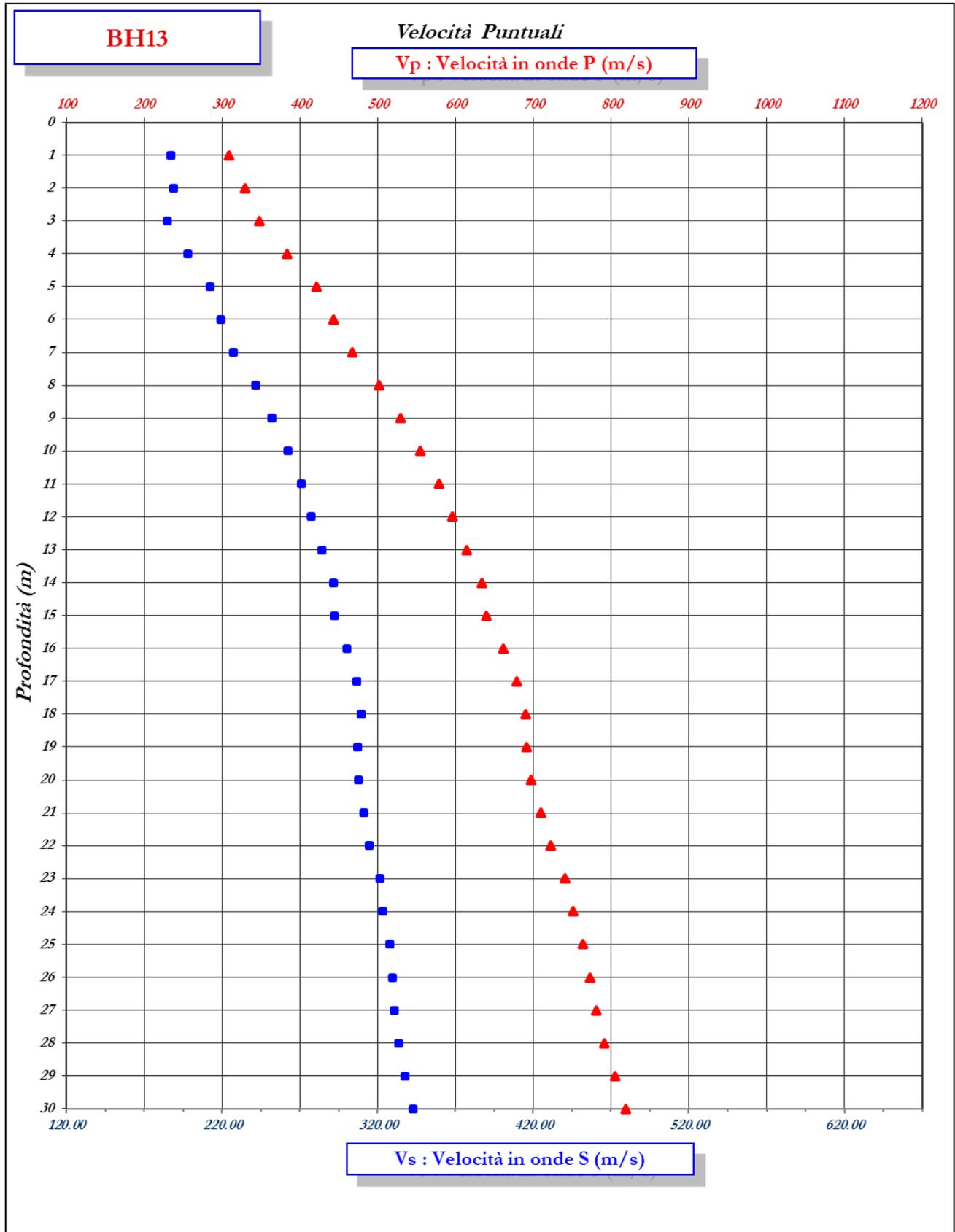


Figura 59: andamento dei tempi-profondità per la prova down-hole BH13 metro per metro.



**Figura 60:** andamento delle V<sub>p</sub> e V<sub>s</sub>, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità puntuali metro per metro.

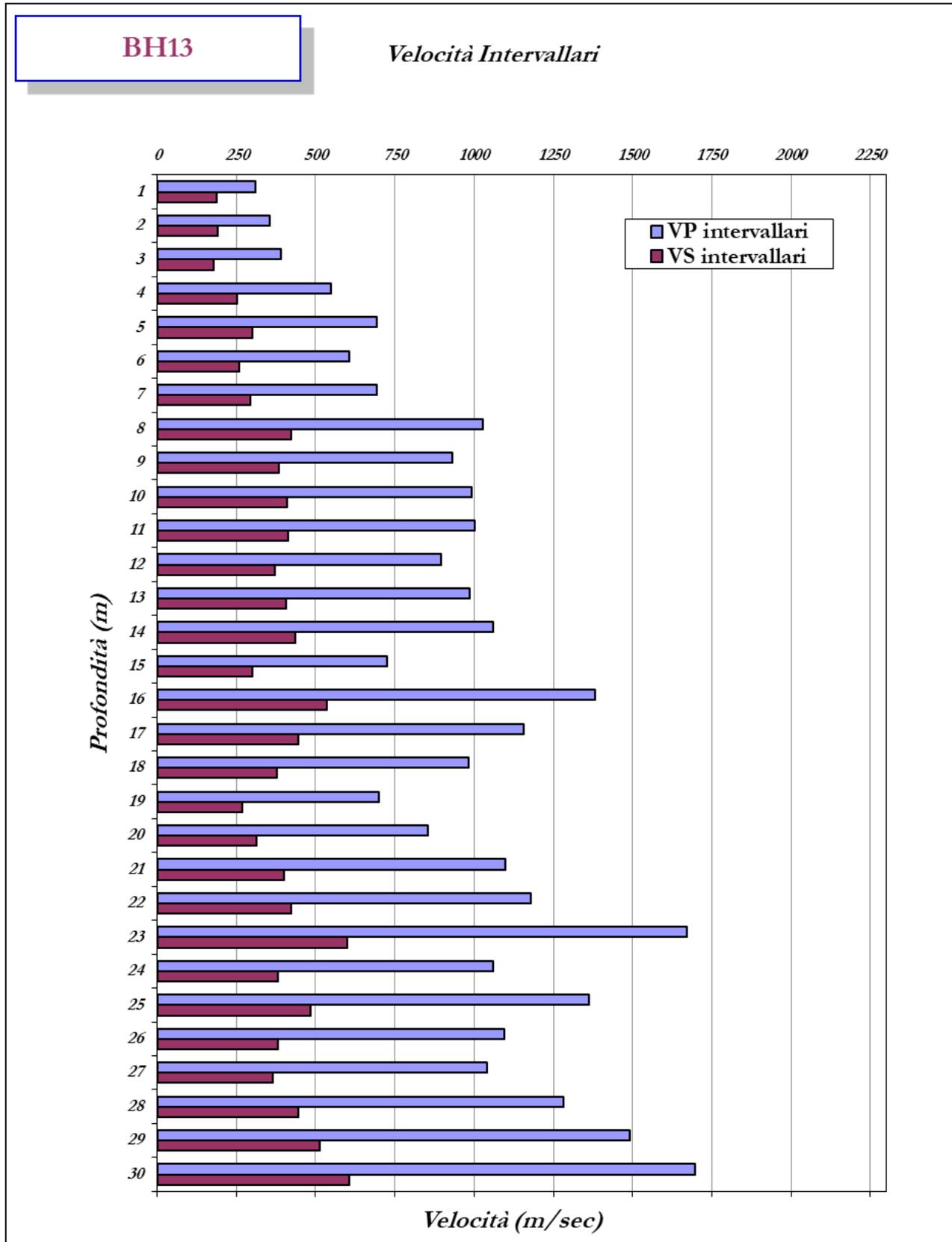
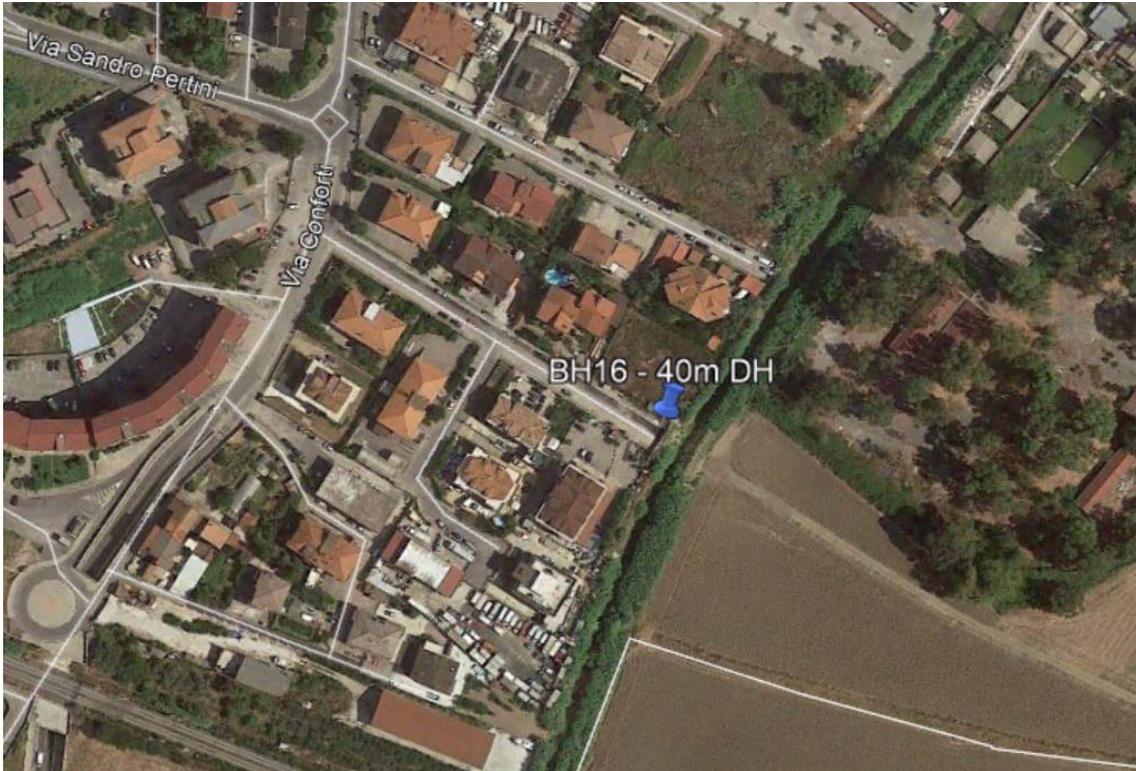


Figura 61: andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità intervallari metro per metro.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed  
HVSr

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	95 di 163

## 8.2 DOWN-HOLE BH16



**Figura 62:** ortofoto relativa all'ubicazione della prova down-hole BH16.



**Figura 63:** foto relativa all'esecuzione della prova down-hole BH16.

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 (in metri da piano campagna). I grafici relativi sono riportati nelle figure **Figura 64** e **Figura 65**.

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
m	ms	ms	m/s	m/s
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	10.85	24.45	291.45	129.34
2	10.98	26.03	328.37	138.52
3	11.37	29.36	373.14	144.50
4	12.06	33.09	414.59	151.10
5	12.43	35.19	469.10	165.70
6	12.69	38.12	528.62	175.98
7	12.91	40.21	589.91	189.40
8	13.21	43.56	646.78	196.14
9	13.67	47.75	693.99	198.68

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
10	14.10	51.52	740.45	202.65
11	14.66	56.13	777.75	203.13
12	15.18	60.32	814.84	205.06
13	15.78	65.01	845.48	205.22
14	16.44	69.97	870.91	204.63
15	16.93	73.64	903.55	207.73
16	17.28	76.24	942.06	213.52
17	17.69	78.95	975.84	218.65
18	18.30	81.98	997.17	222.59
19	18.91	85.03	1017.21	226.22
20	19.56	88.38	1033.93	228.83
21	20.23	91.87	1048.60	230.90
22	20.69	94.25	1073.16	235.58
23	21.15	96.59	1096.68	240.14
24	21.62	98.95	1118.72	244.43
25	22.18	101.79	1135.23	247.37
26	22.75	105.14	1150.44	248.93
27	23.31	108.41	1165.43	250.59
28	23.85	111.64	1180.72	252.24
29	24.30	114.29	1199.78	255.09
30	24.70	116.65	1220.63	258.46
31	25.22	118.84	1234.93	262.07
32	25.73	121.01	1249.14	265.60
33	26.24	123.15	1262.81	269.07
34	26.96	125.68	1266.03	271.58
35	27.59	127.89	1273.23	274.68
36	28.16	129.91	1282.84	278.08
37	28.70	131.83	1293.43	281.59
38	29.38	134.26	1297.42	283.91
39	30.09	136.81	1299.94	285.91
40	30.86	139.49	1299.82	287.56

Nella seguente tabella sono riportate le velocità intervallari (in metri/secondo) per ciascun metro di indagine; il grafico relativo è riportato in Figura 66.

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
m	m/s	m/s
0	0.0	0.0
1	291.45	129.34

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
2	376.01	149.10
3	513.03	158.18
4	621.81	175.09
5	989.47	270.04
6	1445.83	255.08
7	1938.43	349.25
8	1989.08	261.26
9	1667.80	221.58
10	1862.72	247.06
11	1567.18	208.12
12	1714.31	229.00
13	1540.52	207.20
14	1430.25	197.17
15	1900.57	263.63
16	2612.33	367.08
17	2289.43	355.30
18	1586.83	320.93
19	1593.40	320.01
20	1503.77	293.02
21	1463.95	282.13
22	2111.50	409.99
23	2118.32	417.90
24	2080.30	415.42
25	1757.59	347.34
26	1729.97	295.68
27	1762.50	303.04
28	1828.68	306.96
29	2189.44	373.32
30	2460.58	418.80
31	1903.64	451.20
32	1941.97	455.73
33	1943.37	462.42
34	1382.32	392.26
35	1578.42	448.60
36	1743.60	490.56
37	1840.28	516.12
38	1464.68	409.04
39	1403.51	390.09
40	1295.00	371.43

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed  
 HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	99 di 163

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S<sub>H</sub>. 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)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
1	291.45	129.34	1.50	0.38	25.05	69.01	77.11	93.81
2	376.01	149.10	1.57	0.41	34.94	98.31	152.35	175.64
3	513.03	158.18	1.67	0.45	41.72	120.78	355.43	383.25
4	621.81	175.09	1.73	0.46	53.02	154.50	562.68	598.03
5	989.47	270.04	1.89	0.46	137.75	402.18	1574.03	1665.87
6	1445.83	255.08	2.03	0.48	132.10	392.05	3979.89	4067.96
7	1938.43	349.25	2.15	0.48	261.83	776.71	7542.06	7716.61
8	1989.08	261.26	2.16	0.49	147.23	439.11	8239.95	8338.10
9	1667.80	221.58	2.09	0.49	102.42	305.42	5597.76	5666.04
10	1862.72	247.06	2.13	0.49	130.04	387.78	7131.71	7218.40
11	1567.18	208.12	2.06	0.49	89.29	266.28	4884.79	4944.32
12	1714.31	229.00	2.10	0.49	109.97	327.91	5942.92	6016.23
13	1540.52	207.20	2.06	0.49	88.22	263.04	4700.20	4759.01
14	1430.25	197.17	2.03	0.49	78.77	234.78	3987.03	4039.54
15	1900.57	263.63	2.14	0.49	148.63	442.99	7427.41	7526.50
16	2612.33	367.08	2.27	0.49	306.11	912.17	14890.83	15094.91
17	2289.43	355.30	2.22	0.49	279.69	832.17	11053.25	11239.71
18	1586.83	320.93	2.07	0.48	212.84	629.45	4777.73	4919.62
19	1593.40	320.01	2.07	0.48	211.78	626.45	4827.15	4968.34
20	1503.77	293.02	2.05	0.48	175.63	519.95	4274.17	4391.25
21	1463.95	282.13	2.04	0.48	161.99	479.71	4037.47	4145.46
22	2111.50	409.99	2.18	0.48	366.73	1085.82	8993.56	9238.05
23	2118.32	417.90	2.19	0.48	381.24	1128.29	9033.50	9287.66
24	2080.30	415.42	2.18	0.48	375.44	1110.73	8664.22	8914.51
25	1757.59	347.34	2.11	0.48	254.19	752.25	6000.36	6169.82
26	1729.97	295.68	2.10	0.48	183.65	545.42	5919.53	6041.96
27	1762.50	303.04	2.11	0.48	193.59	574.88	6161.42	6290.49
28	1828.68	306.96	2.13	0.49	200.03	594.30	6699.10	6832.45
29	2189.44	373.32	2.20	0.49	306.17	909.33	9918.38	10122.49
30	2460.58	418.80	2.25	0.49	393.95	1170.10	12810.88	13073.51
31	1903.64	451.20	2.14	0.47	435.50	1280.58	6881.10	7171.43
32	1941.97	455.73	2.15	0.47	445.96	1311.90	7206.07	7503.38
33	1943.37	462.42	2.15	0.47	459.22	1350.10	7192.40	7498.54
34	1382.32	392.26	2.02	0.46	309.73	902.07	3226.97	3433.46
35	1578.42	448.60	2.07	0.46	415.43	1209.80	4312.38	4589.33
36	1743.60	490.56	2.11	0.46	506.28	1475.31	5383.30	5720.82
37	1840.28	516.12	2.13	0.46	566.18	1650.22	6065.83	6443.29
38	1464.68	409.04	2.04	0.46	340.52	992.77	3685.14	3912.16
39	1403.51	390.09	2.02	0.46	307.21	895.92	3362.30	3567.11
40	1295.00	371.43	1.99	0.46	274.29	798.28	2785.67	2968.53

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed  
HVSr

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	100 di 163

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

*valore  $V_{seq} = 258.46$  m/s*

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

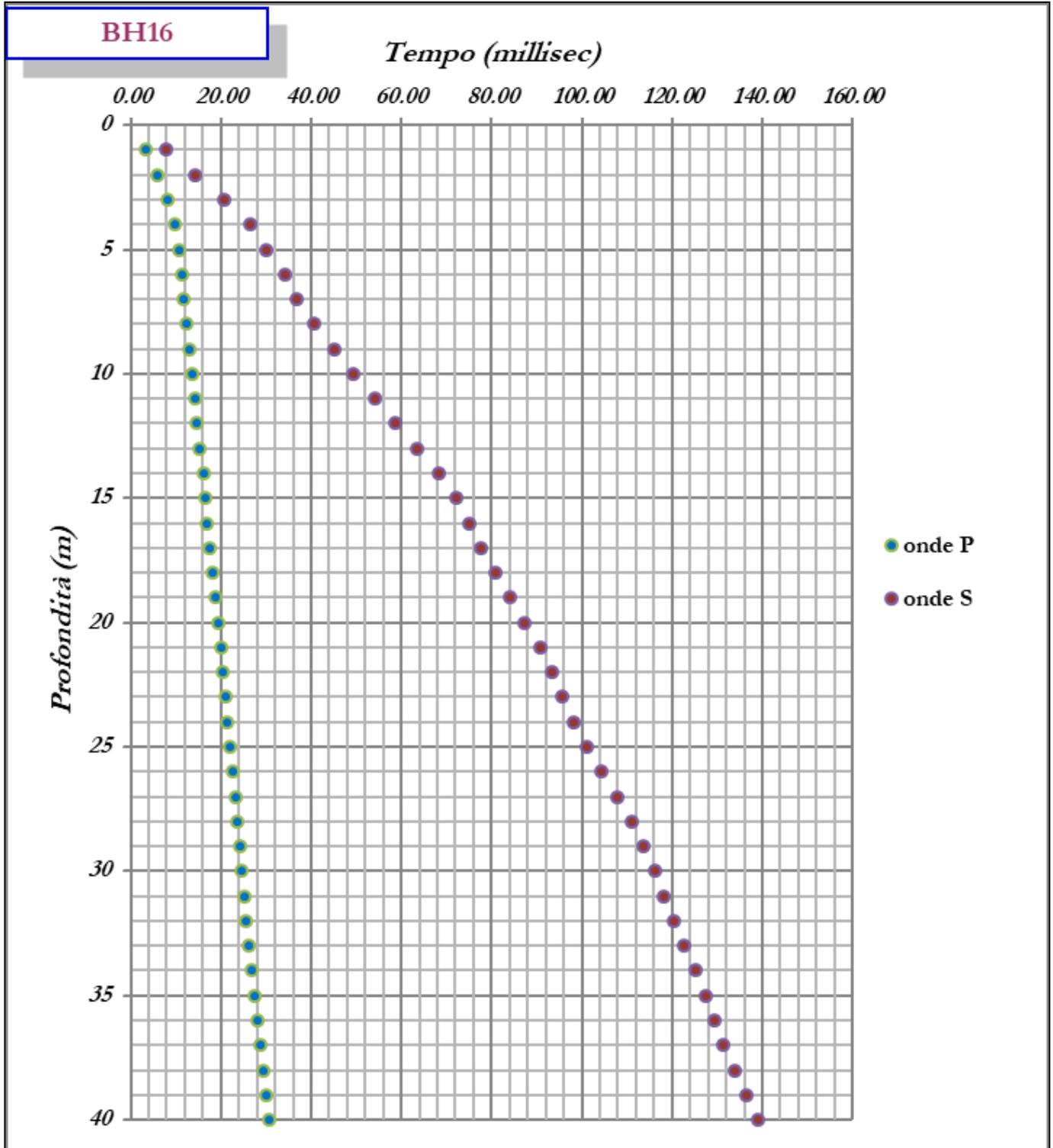
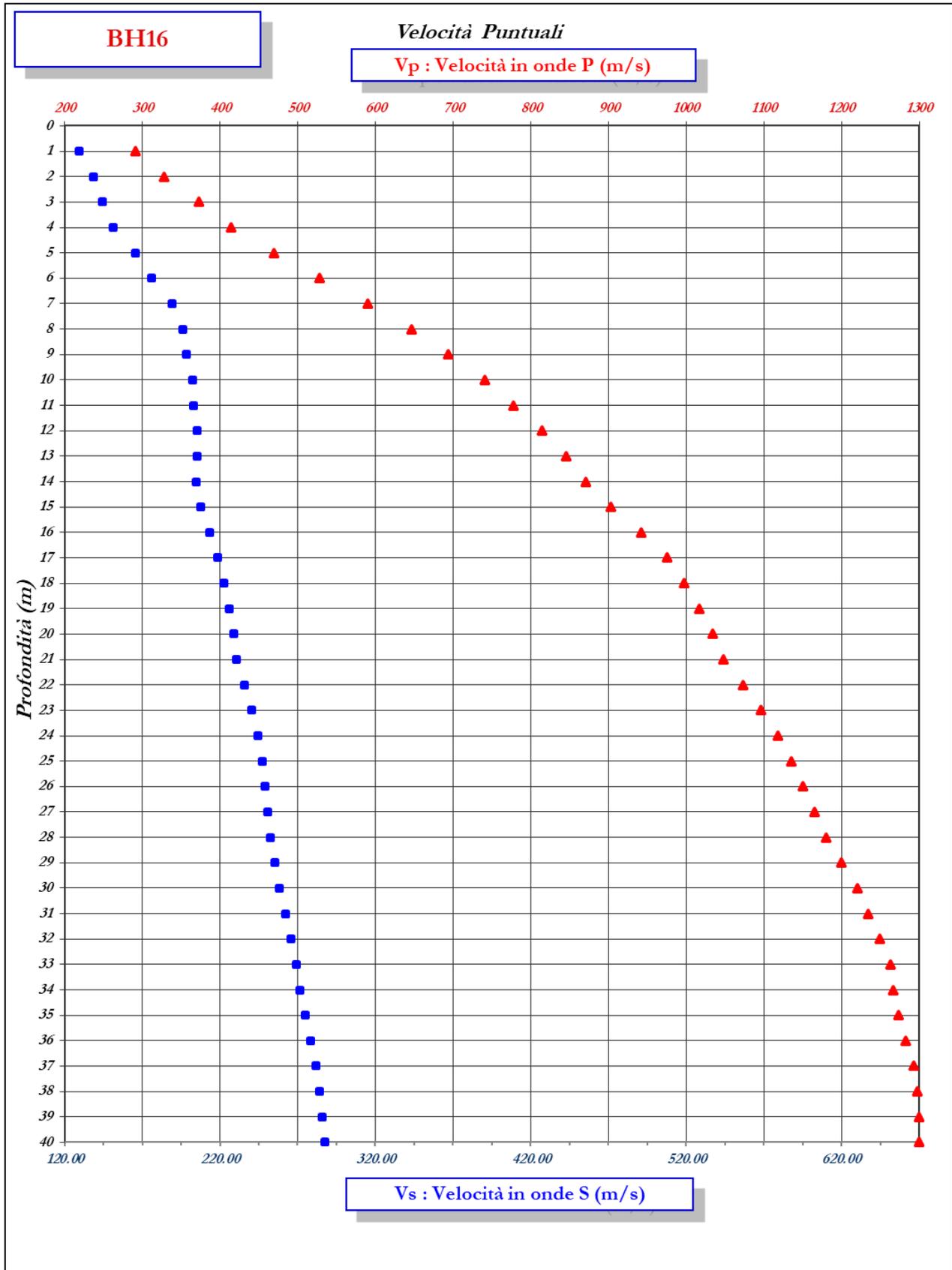
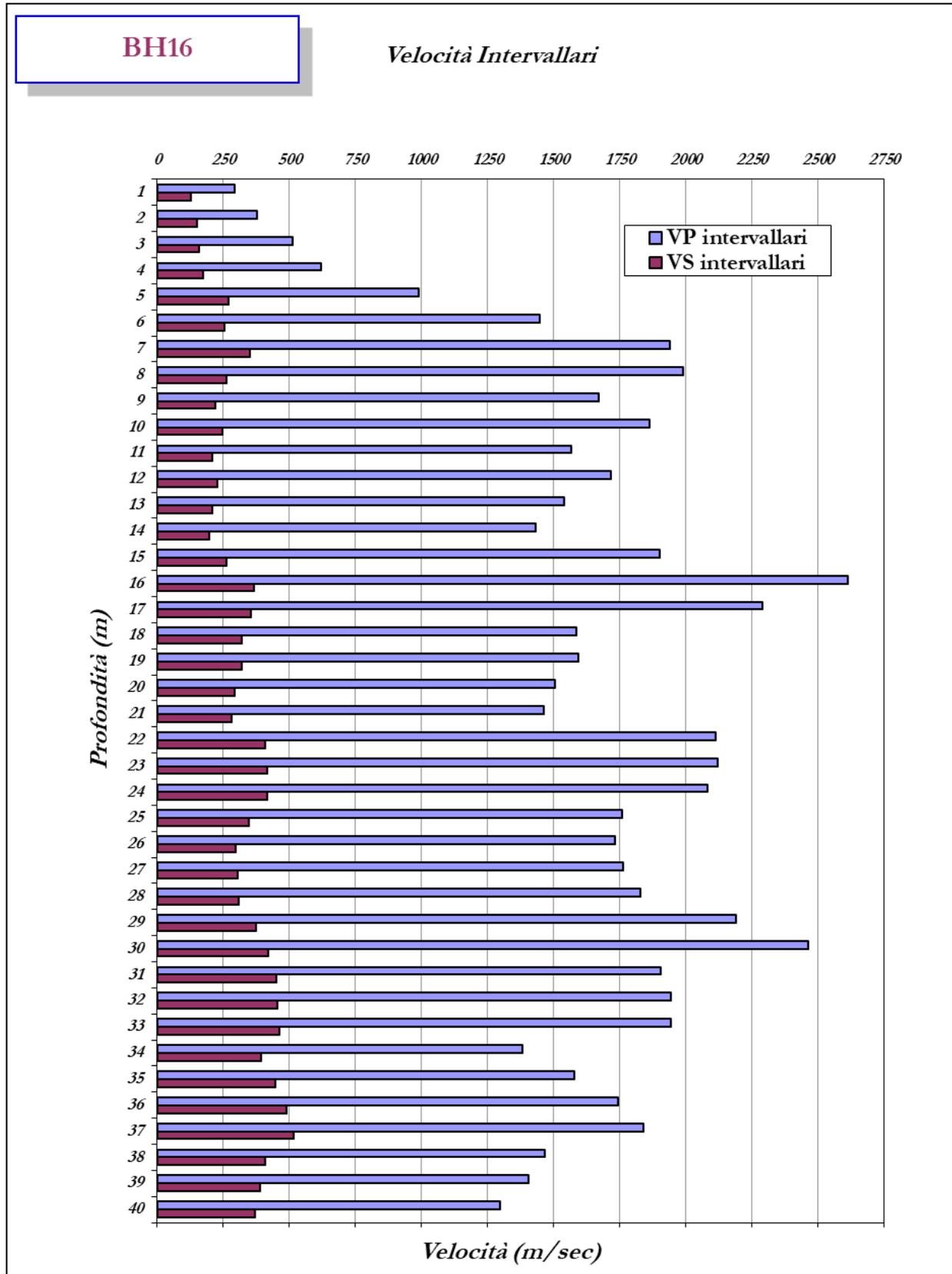


Figura 64: andamento dei tempi-profondità per la prova down-hole BH16 metro per metro.



**Figura 65:** andamento delle V<sub>p</sub> e V<sub>s</sub>, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità puntuali metro per metro.



**Figura 66:** andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità intervallari metro per metro.

### 8.3 DOWN-HOLE BH19



Figura 67: ortofoto relativa all'ubicazione della prova down-hole BH19.



Figura 68: foto relativa all'esecuzione della prova down-hole BH19.

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 (in metri da piano campagna). I grafici relativi sono riportati nelle figure **Figura 69** e **Figura 70**.

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
m	ms	ms	m/s	m/s
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	11.31	18.85	279.60	167.76
2	12.82	21.36	281.24	168.80
3	13.22	23.88	320.93	177.67
4	13.77	27.23	363.11	183.62
5	14.34	29.74	406.62	196.06
6	15.08	31.83	444.84	210.75
7	16.03	34.35	475.10	221.71
8	16.98	37.41	503.18	228.39
9	18.02	40.63	526.46	233.49
10	18.85	43.14	553.86	242.01
11	19.61	45.61	581.43	249.98
12	20.53	49.06	602.50	252.13
13	21.31	52.19	626.08	255.64
14	22.02	55.29	650.22	258.96
15	22.75	58.72	672.40	260.51
16	23.49	62.88	693.01	258.89
17	24.17	66.60	714.22	259.20
18	24.59	69.27	742.10	263.44
19	24.96	71.73	770.65	268.16
20	25.54	75.56	791.85	267.65
21	26.01	78.75	815.58	269.37
22	26.50	82.32	837.87	269.72
23	27.03	86.02	858.11	269.64
24	27.58	89.74	876.97	269.52
25	28.15	93.69	894.47	268.75
26	28.73	97.78	910.98	267.67
27	29.34	102.01	925.91	266.31
28	29.90	105.98	941.81	265.71
29	30.32	108.91	961.57	267.70
30	30.74	111.84	980.79	269.58
31	31.17	115.19	999.19	270.38
32	31.60	118.52	1017.10	271.18

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
33	31.98	120.64	1036.15	274.67
34	32.36	122.73	1054.76	278.11
35	32.94	126.08	1066.43	278.62
36	33.51	129.36	1078.03	279.26
37	34.03	132.36	1090.84	280.46
38	34.49	134.98	1105.20	282.40
39	34.98	137.81	1118.22	283.83
40	35.51	140.86	1129.61	284.77
41	36.07	144.07	1139.72	285.34
42	36.71	147.74	1147.02	285.01
43	37.12	150.80	1161.22	285.84
44	37.47	152.89	1177.00	288.46
45	37.82	154.98	1192.49	291.00
46	38.39	158.37	1200.77	291.08
47	38.92	161.52	1210.06	291.58
48	39.42	164.44	1220.03	292.47
49	39.90	167.11	1230.37	293.77
50	40.28	167.50	1243.54	299.04

Nella seguente tabella sono riportate le velocità intervallari (in metri/secondo) per ciascun metro di indagine; il grafico relativo è riportato in Figura 71.

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
m	m/s	m/s
0	0.0	0.0
1	279.60	167.76
2	282.91	169.85
3	447.09	198.52
4	599.50	204.15
5	780.98	268.97
6	839.27	336.95
7	802.61	322.27
8	858.39	289.40
9	835.84	284.34
10	1041.94	360.28
11	1157.42	372.82
12	1002.00	278.37
13	1180.29	306.91
14	1303.90	311.60

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
15	1287.00	284.33
16	1282.94	236.78
17	1399.48	264.30
18	2206.49	364.84
19	2505.41	396.08
20	1658.73	258.28
21	2036.03	309.17
22	1966.90	277.27
23	1831.64	267.93
24	1772.85	266.70
25	1716.86	251.53
26	1691.60	243.14
27	1613.14	235.26
28	1756.56	250.58
29	2329.85	338.41
30	2334.33	338.63
31	2285.10	296.79
32	2288.43	298.67
33	2586.50	466.86
34	2590.02	473.83
35	1709.70	297.23
36	1740.37	303.60
37	1906.79	331.80
38	2153.65	379.61
39	2024.50	351.77
40	1874.13	326.65
41	1775.32	310.52
42	1555.50	271.84
43	2419.67	325.76
44	2831.09	475.84
45	2832.65	475.99
46	1747.08	294.33
47	1878.50	316.69
48	1990.94	341.55
49	2073.85	373.43
50	2063.51	369.19

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S<sub>H</sub>. 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)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
1	279.60	167.76	1.49	0.22	41.82	101.93	32.52	60.40
2	282.91	169.85	1.49	0.22	42.96	104.67	33.26	61.91
3	447.09	198.52	1.63	0.38	64.02	176.33	196.67	239.35
4	599.50	204.15	1.72	0.43	71.58	205.36	474.12	521.85
5	780.98	268.97	1.81	0.43	130.66	374.40	840.23	927.33
6	839.27	336.95	1.83	0.40	207.88	583.68	873.89	1012.48
7	802.61	322.27	1.82	0.40	188.55	529.40	792.39	918.09
8	858.39	289.40	1.84	0.44	154.00	442.25	1046.86	1149.53
9	835.84	284.34	1.83	0.43	147.91	424.38	982.31	1080.91
10	1041.94	360.28	1.91	0.43	247.63	709.25	1575.84	1740.92
11	1157.42	372.82	1.95	0.44	270.51	780.23	2066.14	2246.49
12	1002.00	278.37	1.90	0.46	146.74	427.94	1607.71	1705.54
13	1180.29	306.91	1.96	0.46	184.00	538.67	2353.32	2475.99
14	1303.90	311.60	1.99	0.47	193.30	568.18	2998.02	3126.88
15	1287.00	284.33	1.99	0.47	160.55	473.40	2968.21	3075.24
16	1282.94	236.78	1.99	0.48	111.27	329.89	3044.10	3118.28
17	1399.48	264.30	2.02	0.48	140.95	417.63	3669.90	3763.87
18	2206.49	364.84	2.20	0.49	292.84	870.30	10125.45	10320.68
19	2505.41	396.08	2.26	0.49	353.58	1051.67	13440.03	13675.75
20	1658.73	258.28	2.09	0.49	139.01	413.59	5455.69	5548.36
21	2036.03	309.17	2.17	0.49	207.10	616.42	8567.62	8705.69
22	1966.90	277.27	2.15	0.49	165.48	493.09	7996.50	8106.82
23	1831.64	267.93	2.13	0.49	152.44	454.00	6819.47	6921.10
24	1772.85	266.70	2.11	0.49	150.11	446.86	6332.88	6432.95
25	1716.86	251.53	2.10	0.49	132.71	395.23	5917.52	6006.00
26	1691.60	243.14	2.09	0.49	123.65	368.35	5738.19	5820.62
27	1613.14	235.26	2.08	0.49	114.73	341.71	5164.74	5241.23
28	1756.56	250.58	2.11	0.49	132.28	394.09	6235.82	6324.00
29	2329.85	338.41	2.23	0.49	254.57	758.22	11557.24	11726.96
30	2334.33	338.63	2.23	0.49	254.99	759.50	11607.25	11777.24
31	2285.10	296.79	2.22	0.49	195.08	581.89	11174.47	11304.52
32	2288.43	298.67	2.22	0.49	197.61	589.42	11206.24	11337.98
33	2586.50	466.86	2.27	0.48	494.21	1465.98	14180.93	14510.40
34	2590.02	473.83	2.27	0.48	509.21	1510.01	14196.21	14535.68
35	1709.70	297.23	2.10	0.48	185.17	549.74	5756.32	5879.77
36	1740.37	303.60	2.11	0.48	193.85	575.46	5982.22	6111.45
37	1906.79	331.80	2.14	0.48	235.57	699.37	7309.06	7466.11
38	2153.65	379.61	2.19	0.48	315.58	936.63	9526.21	9736.60
39	2024.50	351.77	2.17	0.48	267.82	795.13	8335.18	8513.73
40	1874.13	326.65	2.14	0.48	206.52	613.08	6385.27	6522.95
41	1775.32	310.52	2.11	0.48	169.08	501.91	5188.46	5301.19
42	1555.50	271.84	2.06	0.48	116.50	345.82	3581.53	3659.19
43	2419.67	325.76	2.24	0.49	168.77	503.20	8974.18	9086.69

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	109 di 163

Profondità (m da p.c.)	VP (m/s)	VS (m/s)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
44	2831.09	475.84	2.31	0.49	345.97	1027.85	11554.82	11785.47
45	2832.65	475.99	2.31	0.49	324.32	963.54	10837.28	11053.49
46	1747.08	294.33	2.11	0.49	106.40	316.09	3536.03	3606.96
47	1878.50	316.69	2.14	0.49	117.87	350.17	3911.68	3990.27
48	1990.94	341.55	2.16	0.48	131.26	389.81	4197.56	4285.07
49	2073.85	373.43	2.18	0.48	150.14	445.40	4330.48	4430.57
50	2063.51	369.19	2.17	0.48	296.07	878.42	8657.30	8854.68

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

*valore  $V_{seq} = 269.58$  m/s*

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

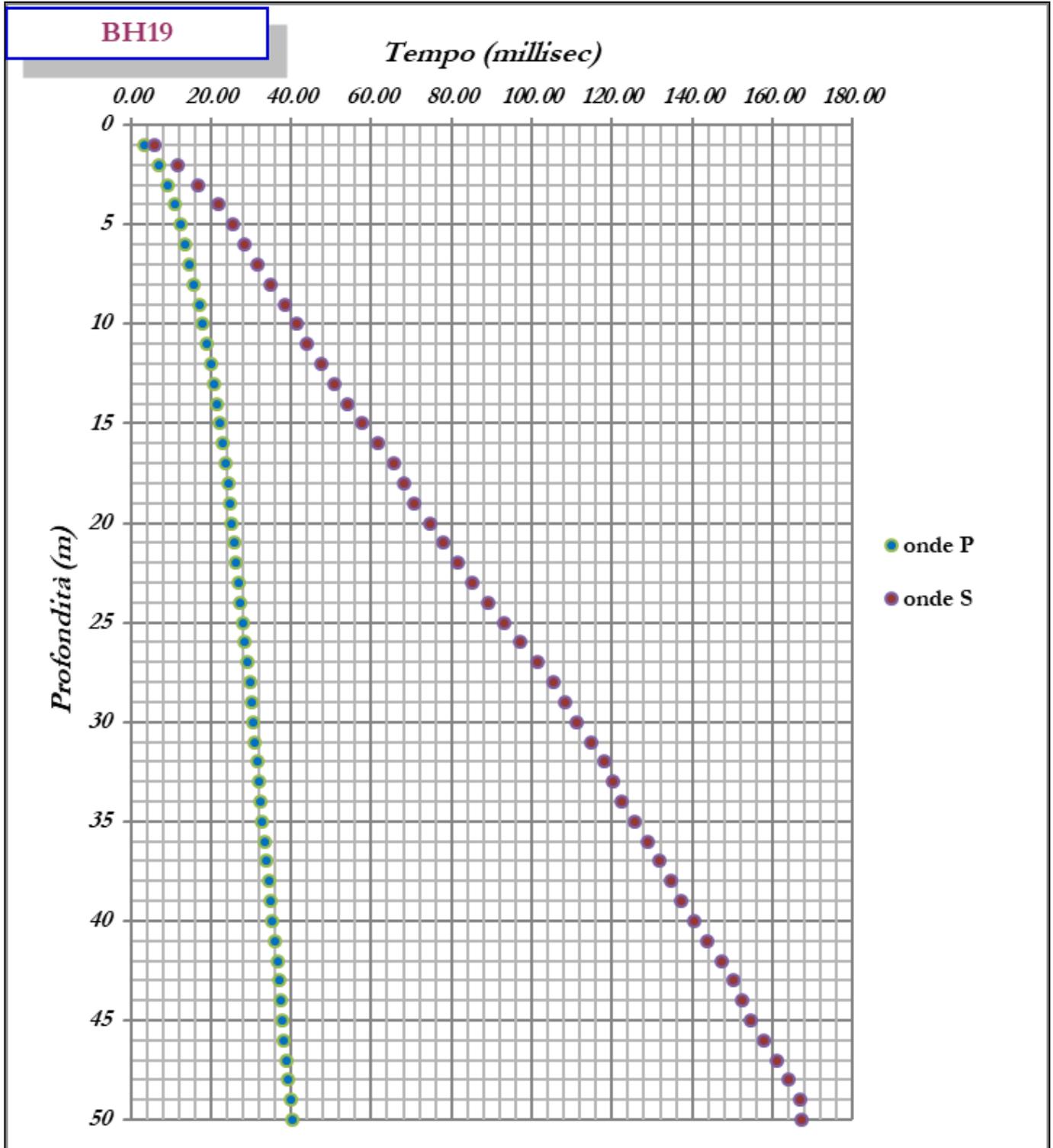
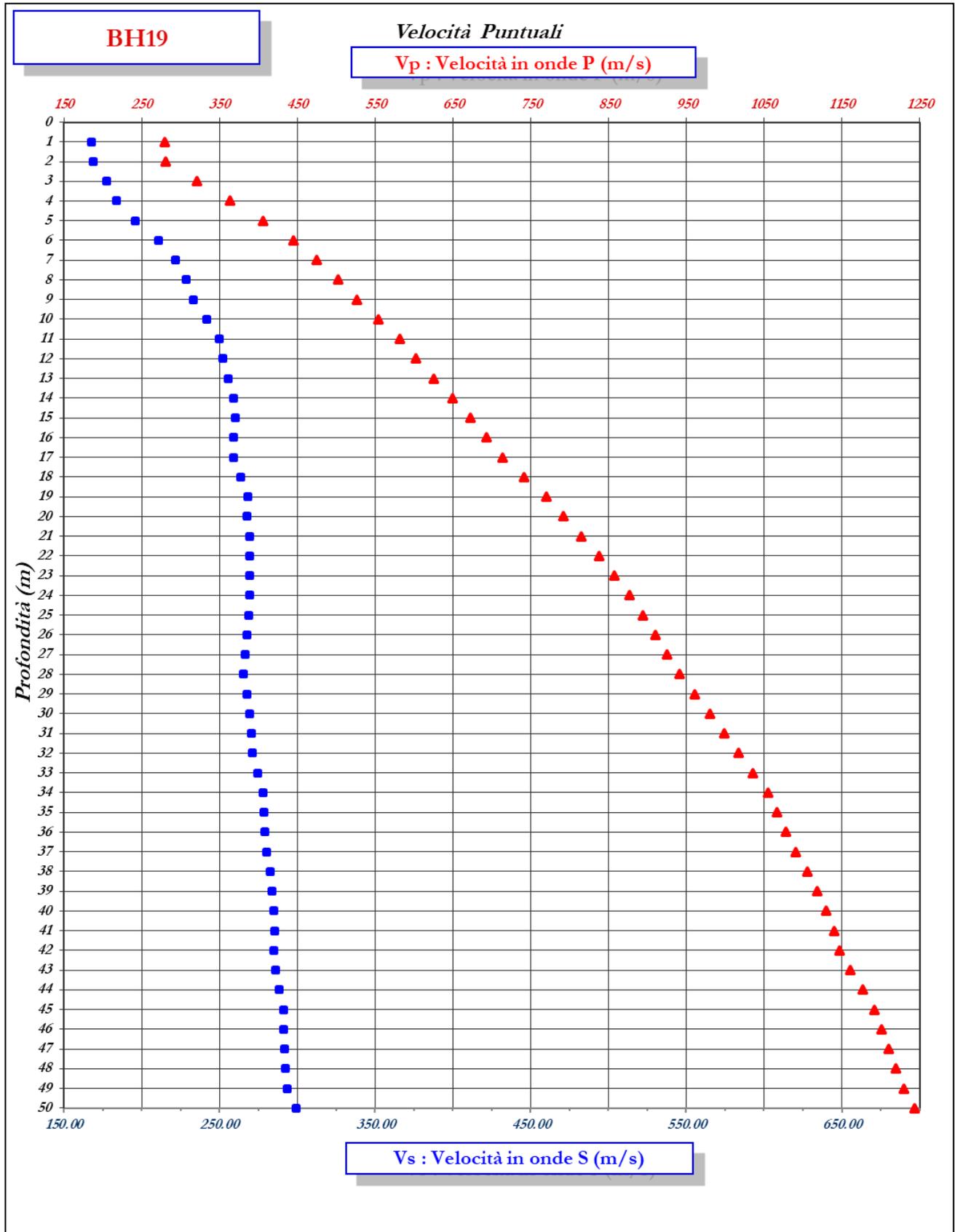


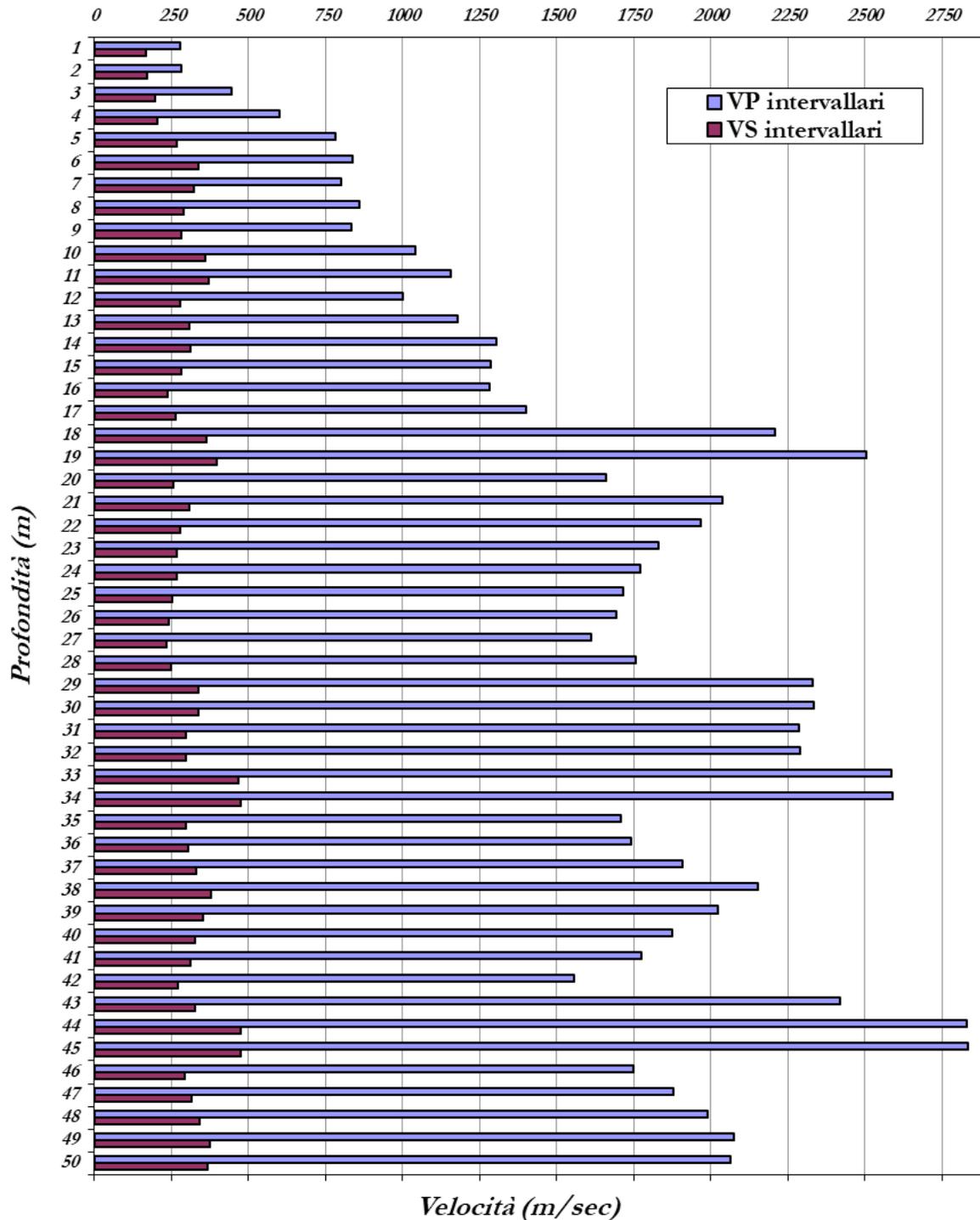
Figura 69: andamento dei tempi-profondità per la prova down-hole BH19 metro per metro.



**Figura 70:** andamento delle V<sub>p</sub> e V<sub>s</sub>, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità puntuali metro per metro.

**BH19**

*Velocità Intervallari*



**Figura 71:** andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità intervallari metro per metro.

#### 8.4 DOWN-HOLE BH23



Figura 72: ortofoto relativa all'ubicazione della prova down-hole BH23.



Figura 73: foto relativa all'esecuzione della prova down-hole BH23.

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 (in metri da piano campagna). I grafici relativi sono riportati nelle figure **Figura 74** e **Figura 75**.

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
m	ms	ms	m/s	m/s
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	6.90	12.99	458.30	243.44
2	9.80	19.27	367.91	187.11
3	10.67	22.62	397.62	187.56
4	11.73	25.97	426.26	192.53
5	12.21	30.16	477.56	193.33
6	12.69	33.93	528.62	197.71
7	13.54	39.01	562.46	195.23
8	14.26	43.14	599.16	198.05
9	15.06	48.17	629.94	196.94
10	15.54	51.52	671.83	202.65
11	15.91	54.45	716.64	209.40
12	16.41	59.06	753.77	209.44
13	16.92	63.67	788.51	209.54
14	17.44	67.44	820.98	212.30
15	17.90	70.79	854.58	216.09
16	18.27	73.30	891.01	222.08
17	18.76	76.65	920.19	225.21
18	19.35	81.01	943.06	225.26
19	19.84	84.61	969.53	227.34
20	20.28	87.96	997.23	229.92
21	20.72	91.32	1023.80	232.30
22	21.21	94.95	1046.85	233.85
23	21.78	98.85	1064.96	234.65
24	22.39	103.28	1080.25	234.19
25	22.86	106.39	1101.46	236.67
26	23.29	108.99	1123.77	240.14
27	23.69	111.42	1146.74	243.82
28	24.06	113.93	1170.42	247.17
29	24.49	115.91	1190.48	251.53
30	24.96	118.12	1207.92	255.25

Nella seguente tabella sono riportate le velocità intervallari (in metri/secondo) per ciascun metro di indagine; il grafico relativo è riportato in Figura 76.

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
m	m/s	m/s
0	0.0	0.0
1	458.30	243.44
2	307.31	151.95
3	474.21	188.48
4	543.72	209.15
5	920.82	196.62
6	1135.99	222.92
7	913.29	181.56
8	1102.74	220.39
9	1069.39	188.51
10	1673.78	274.04
11	2151.59	314.05
12	1752.40	209.85
13	1764.72	210.84
14	1766.24	256.18
15	2001.92	287.99
16	2471.08	380.34
17	1932.50	290.77
18	1633.50	226.03
19	1958.88	272.71
20	2181.44	293.06
21	2192.38	292.80
22	1985.09	271.95
23	1719.55	253.78
24	1612.79	224.08
25	2083.06	317.49
26	2276.20	378.86
27	2447.31	405.37
28	2645.69	393.22
29	2288.73	496.75
30	2100.28	446.61

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S<sub>H</sub>. La

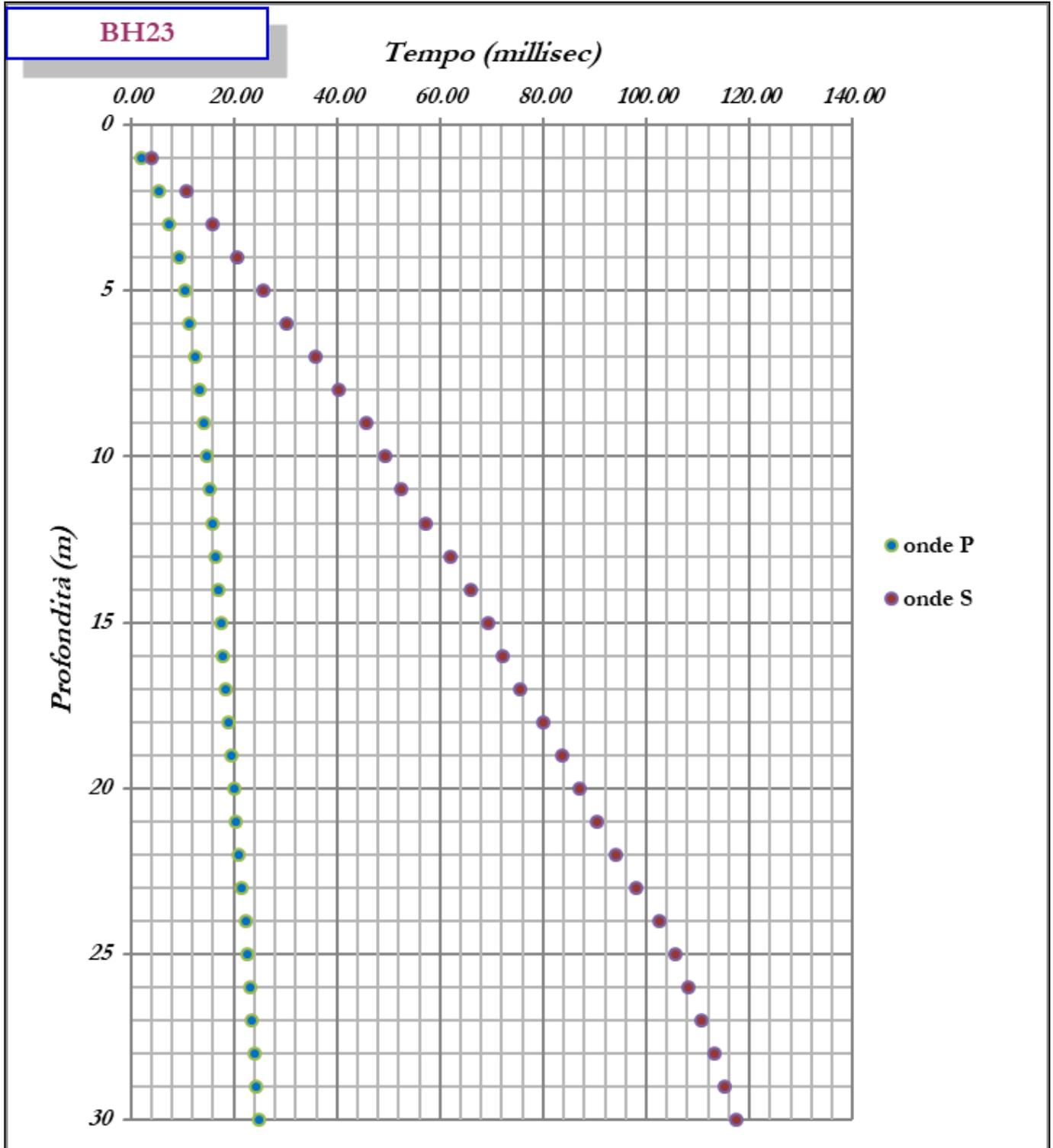
seguente tabella mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati metro per metro.

Profondità (m da p.c.)	VP (m/s)	VS (m/s)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio $G_0$ (MPa)	Mod. di elasticità $E_d$ (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk $k$ (MPa)
1	458.30	243.44	1.63	0.30	96.72	252.15	149.36	213.84
2	307.31	151.95	1.51	0.34	34.93	93.48	73.01	96.29
3	474.21	188.48	1.64	0.41	58.36	164.12	252.70	291.60
4	543.72	209.15	1.69	0.41	73.75	208.44	350.93	400.10
5	920.82	196.62	1.87	0.48	72.04	212.68	1435.97	1483.99
6	1135.99	222.92	1.94	0.48	96.37	285.25	2309.88	2374.12
7	913.29	181.56	1.86	0.48	61.33	181.46	1429.23	1470.12
8	1102.74	220.39	1.93	0.48	93.67	277.10	2157.68	2220.12
9	1069.39	188.51	1.92	0.48	68.13	202.20	2056.20	2101.62
10	1673.78	274.04	2.09	0.49	156.77	465.98	5534.73	5639.24
11	2151.59	314.05	2.19	0.49	215.95	643.15	9704.22	9848.19
12	1752.40	209.85	2.11	0.49	92.74	276.86	6281.25	6343.07
13	1764.72	210.84	2.11	0.49	93.74	279.85	6379.27	6441.76
14	1766.24	256.18	2.11	0.49	138.41	412.25	6302.27	6394.54
15	2001.92	287.99	2.16	0.49	179.13	533.60	8297.33	8416.75
16	2471.08	380.34	2.25	0.49	325.18	967.64	13075.86	13292.64
17	1932.50	290.77	2.15	0.49	181.38	539.94	7649.01	7769.93
18	1633.50	226.03	2.08	0.49	106.16	316.41	5332.11	5402.89
19	1958.88	272.71	2.15	0.49	159.96	476.73	7933.35	8039.99
20	2181.44	293.06	2.20	0.49	188.55	562.17	10069.55	10195.25
21	2192.38	292.80	2.20	0.49	188.38	561.72	10184.97	10310.56
22	1985.09	271.95	2.16	0.49	159.47	475.37	8178.10	8284.42
23	1719.55	253.78	2.10	0.49	135.14	402.41	5933.88	6023.98
24	1612.79	224.08	2.07	0.49	104.08	310.19	5183.48	5252.87
25	2083.06	317.49	2.18	0.49	219.35	652.84	9003.74	9149.97
26	2276.20	378.86	2.22	0.49	317.66	943.93	10830.79	11042.56
27	2447.31	405.37	2.25	0.49	368.71	1095.72	12701.28	12947.08
28	2645.69	393.22	2.28	0.49	352.11	1048.37	15235.81	15470.55
29	2288.73	496.75	2.22	0.48	546.67	1612.99	10511.49	10875.93
30	2100.28	446.61	2.18	0.48	434.74	1283.62	8744.79	9034.61

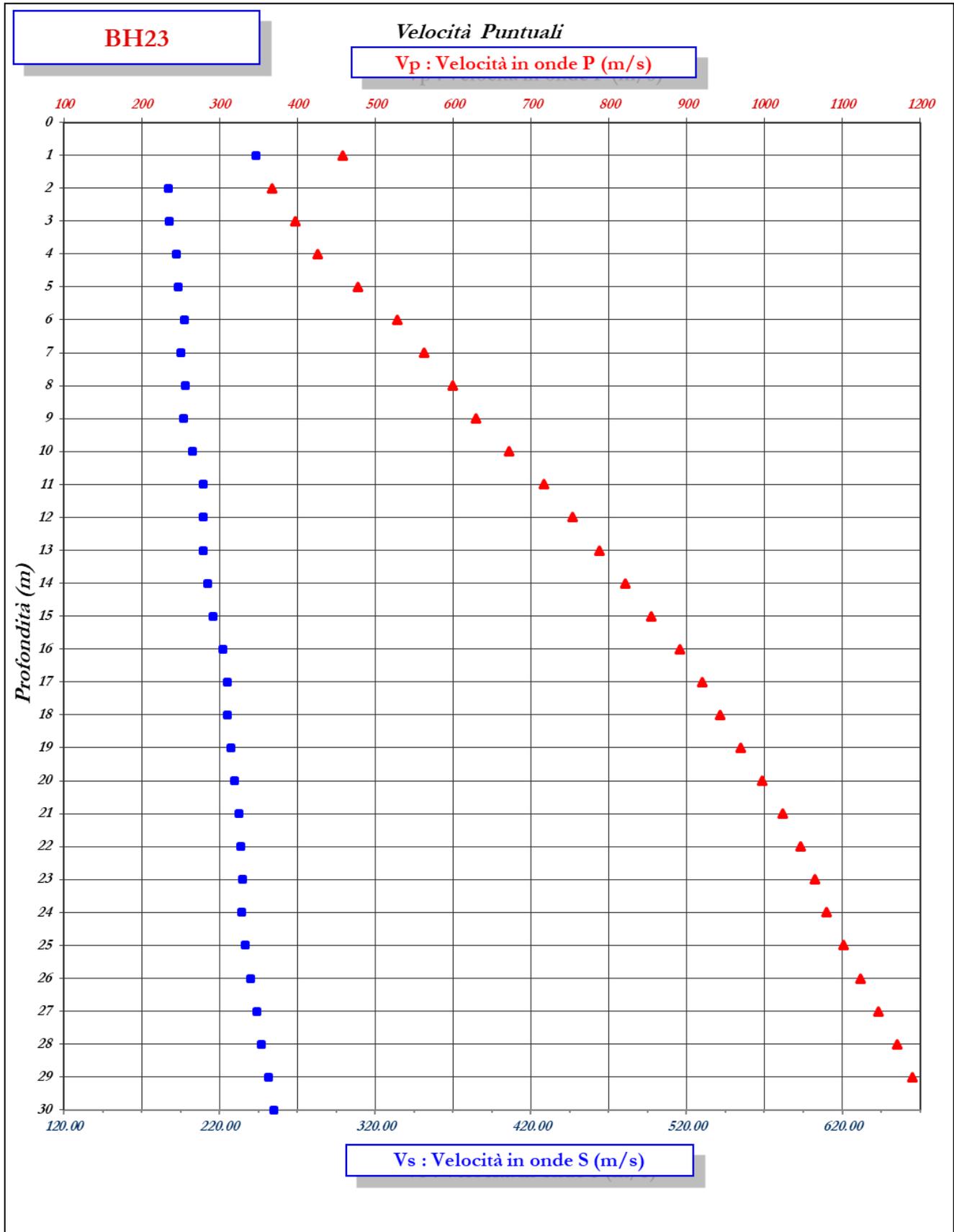
Calcolo del  $V_{seq}$  nei primi 30 metri di suolo (**tratto 0-30m**)

*valore  $V_{seq} = 255.55$  m/s*

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



**Figura 74:** andamento dei tempi-profondità per la prova down-hole BH23 metro per metro.



**Figura 75:** andamento delle V<sub>p</sub> e V<sub>s</sub>, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità puntuali metro per metro.

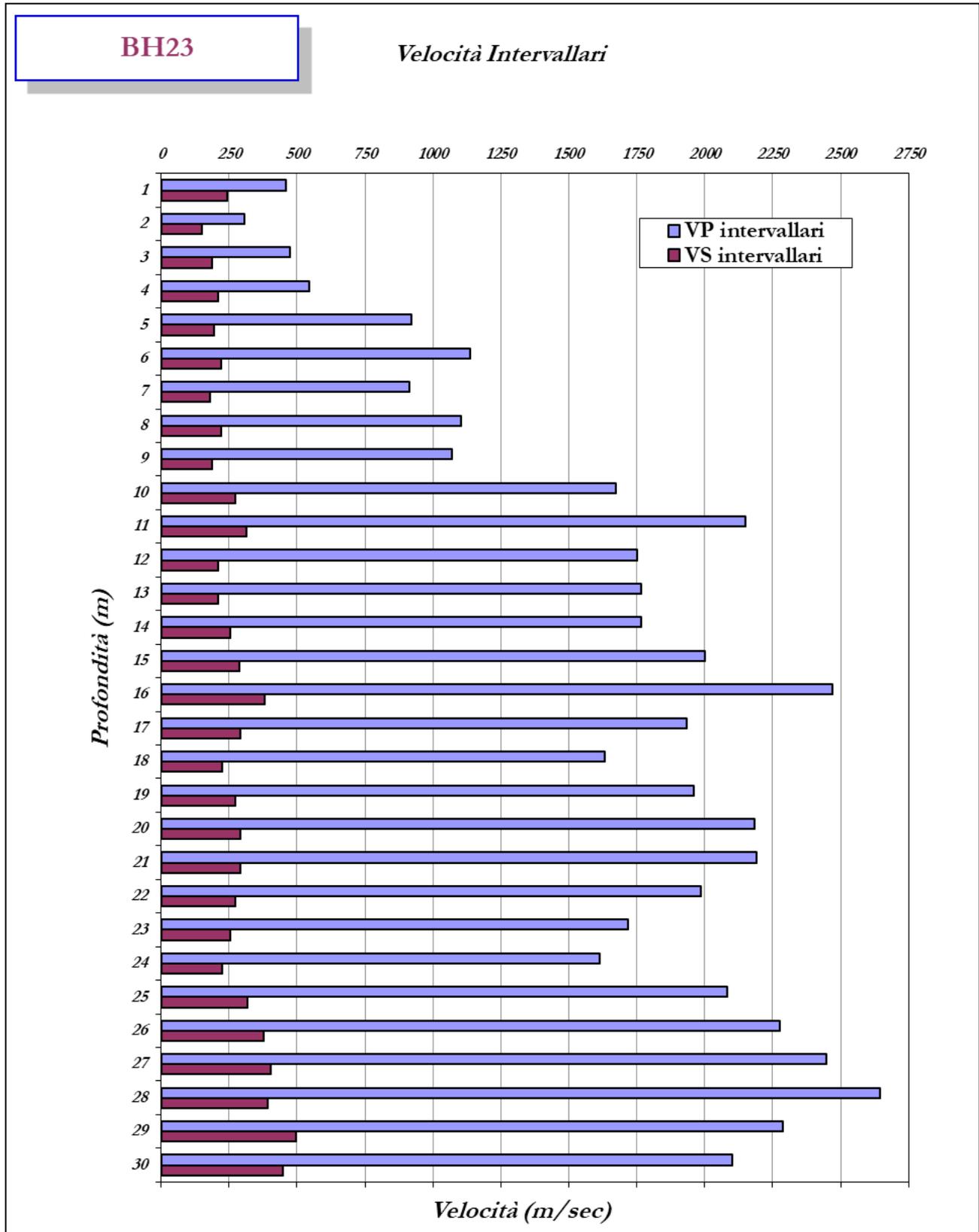


Figura 76: andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità intervallari metro per metro.

### 8.5 DOWN-HOLE BH24



Figura 77: ortofoto relativa all'ubicazione della prova down-hole BH24.



Figura 78: foto relativa all'esecuzione della prova down-hole BH24.

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 (in metri da piano campagna). I grafici relativi sono riportati nelle figure **Figura 79** e **Figura 80**.

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
m	ms	ms	m/s	m/s
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	8.36	17.59	378.26	179.78
2	8.81	20.94	409.26	172.18
3	9.03	23.46	469.84	180.85
4	9.81	27.65	509.68	180.83
5	10.79	33.09	540.40	176.21
6	11.85	38.54	566.09	174.06
7	12.66	43.98	601.56	173.16
8	13.40	48.75	637.61	175.26
9	14.26	54.04	665.28	175.55
10	14.55	57.39	717.55	181.92
11	14.92	61.16	764.19	186.43
12	15.40	66.18	803.20	186.90
13	15.69	68.70	850.33	194.20
14	16.04	72.05	892.63	198.72
15	16.47	75.82	928.78	201.75
16	16.86	79.17	965.53	205.62
17	17.20	82.10	1003.64	210.26
18	17.56	85.03	1039.20	214.61
19	18.26	90.48	1053.42	212.59
20	18.81	94.67	1075.16	213.62
21	19.43	99.27	1091.78	213.69
22	19.95	103.04	1112.96	215.49
23	20.51	106.81	1130.90	217.16
24	20.90	109.33	1157.26	221.23
25	21.52	112.68	1170.04	223.46
26	22.22	117.29	1177.88	223.14
27	22.99	121.47	1181.65	223.64
28	23.66	125.24	1190.21	224.85
29	24.17	128.18	1206.24	227.45
30	24.62	130.69	1224.60	230.70

Nella seguente tabella sono riportate le velocità intervallari (in metri/secondo) per ciascun metro di indagine; il grafico relativo è riportato in Figura 81.

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
m	m/s	m/s
0	0.0	0.0
1	378.26	179.78
2	445.78	165.21
3	667.44	201.07
4	683.61	180.79
5	712.07	159.89
6	742.60	164.02
7	963.94	167.99
8	1098.38	191.50
9	1018.94	177.91
10	2450.09	270.07
11	2183.86	247.81
12	1831.78	192.34
13	2873.54	365.41
14	2526.83	284.90
15	2144.94	256.61
16	2374.95	288.49
17	2724.41	329.30
18	2612.33	330.87
19	1397.67	181.83
20	1768.84	235.30
21	1580.21	215.07
22	1878.49	261.58
23	1752.35	261.94
24	2494.49	388.67
25	1592.10	294.84
26	1414.75	215.54
27	1288.92	237.52
28	1479.36	263.14
29	1936.69	336.44
30	2192.43	393.42

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S<sub>H</sub>. 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)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
1	378.26	179.78	1.58	0.35	50.86	137.74	123.44	157.35
2	445.78	165.21	1.63	0.42	44.31	125.88	234.01	263.55
3	667.44	201.07	1.75	0.45	70.87	205.54	639.14	686.39
4	683.61	180.79	1.76	0.46	57.56	168.34	707.80	746.17
5	712.07	159.89	1.78	0.47	45.37	133.69	809.09	839.34
6	742.60	164.02	1.79	0.47	48.12	141.91	890.22	922.31
7	963.94	167.99	1.88	0.48	53.05	157.48	1640.50	1675.87
8	1098.38	191.50	1.93	0.48	70.66	209.77	2183.40	2230.51
9	1018.94	177.91	1.90	0.48	60.13	178.49	1852.04	1892.12
10	2450.09	270.07	2.25	0.49	163.69	489.04	13144.72	13253.85
11	2183.86	247.81	2.20	0.49	134.84	402.77	10202.36	10292.26
12	1831.78	192.34	2.13	0.49	78.56	234.81	6968.41	7020.79
13	2873.54	365.41	2.32	0.49	308.88	921.56	18483.39	18689.31
14	2526.83	284.90	2.26	0.49	183.23	547.34	14047.00	14169.16
15	2144.94	256.61	2.19	0.49	144.09	430.19	9779.45	9875.51
16	2374.95	288.49	2.23	0.49	185.67	554.24	12212.42	12336.21
17	2724.41	329.30	2.29	0.49	248.32	741.28	16500.40	16665.95
18	2612.33	330.87	2.27	0.49	248.70	742.04	15005.70	15171.50
19	1397.67	181.83	2.02	0.49	66.69	198.93	3807.25	3851.71
20	1768.84	235.30	2.11	0.49	116.80	348.30	6366.75	6444.62
21	1580.21	215.07	2.07	0.49	95.51	284.72	4965.01	5028.68
22	1878.49	261.58	2.14	0.49	146.01	435.14	7237.51	7334.85
23	1752.35	261.94	2.11	0.49	144.48	430.14	6177.35	6273.67
24	2494.49	388.67	2.25	0.49	340.18	1012.07	13332.22	13559.01
25	1592.10	294.84	2.07	0.48	179.76	532.89	4881.81	5001.65
26	1414.75	215.54	2.02	0.49	93.93	279.56	3859.00	3921.62
27	1288.92	237.52	1.99	0.48	112.07	332.26	3075.95	3150.66
28	1479.36	263.14	2.04	0.48	141.20	418.98	4180.22	4274.36
29	1936.69	336.44	2.15	0.48	242.93	721.23	7563.97	7725.93
30	2192.43	393.42	2.20	0.48	340.11	1009.00	9881.99	10108.73

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

*valore  $V_{seq} = 230.70$  m/s*

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

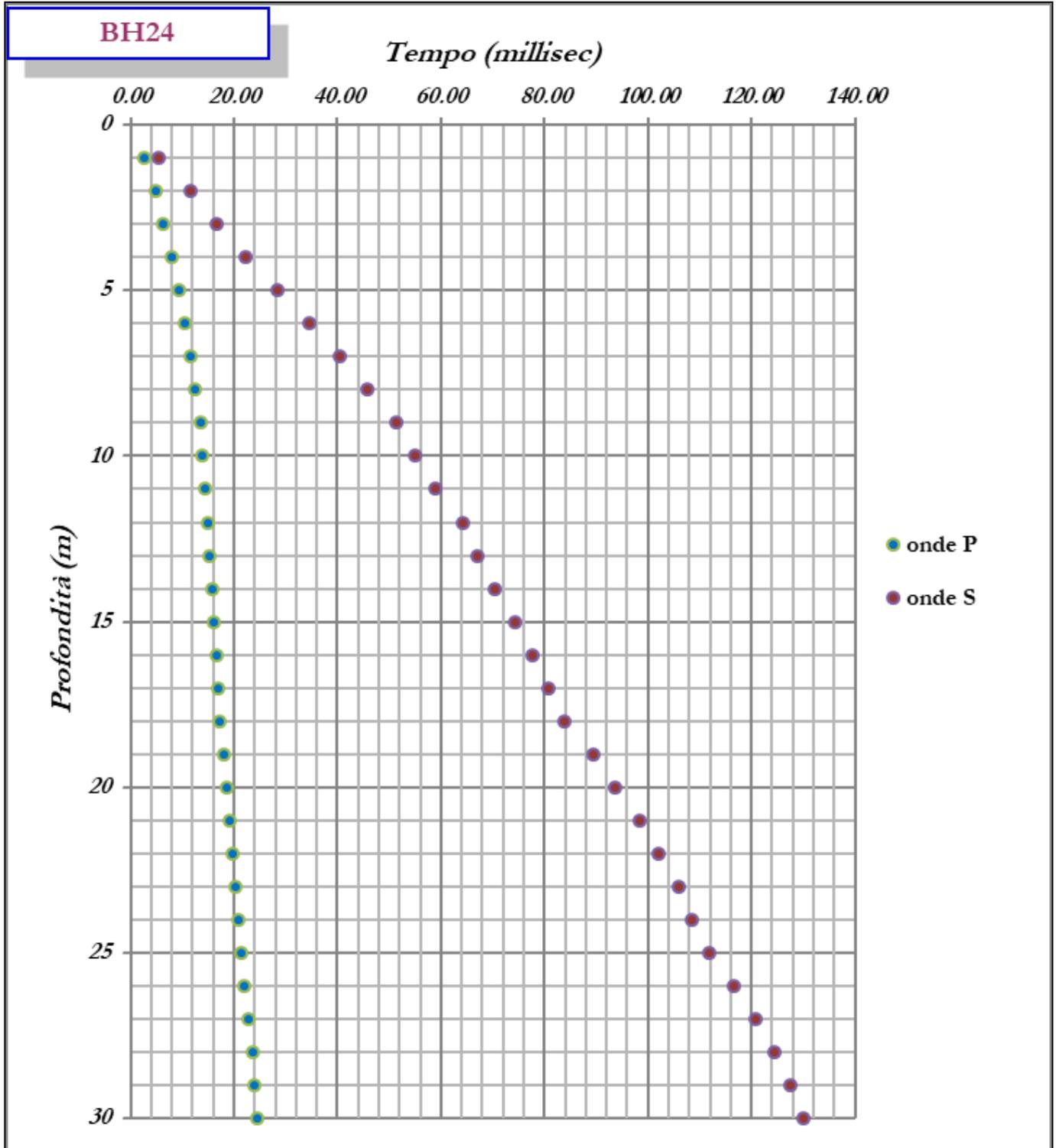
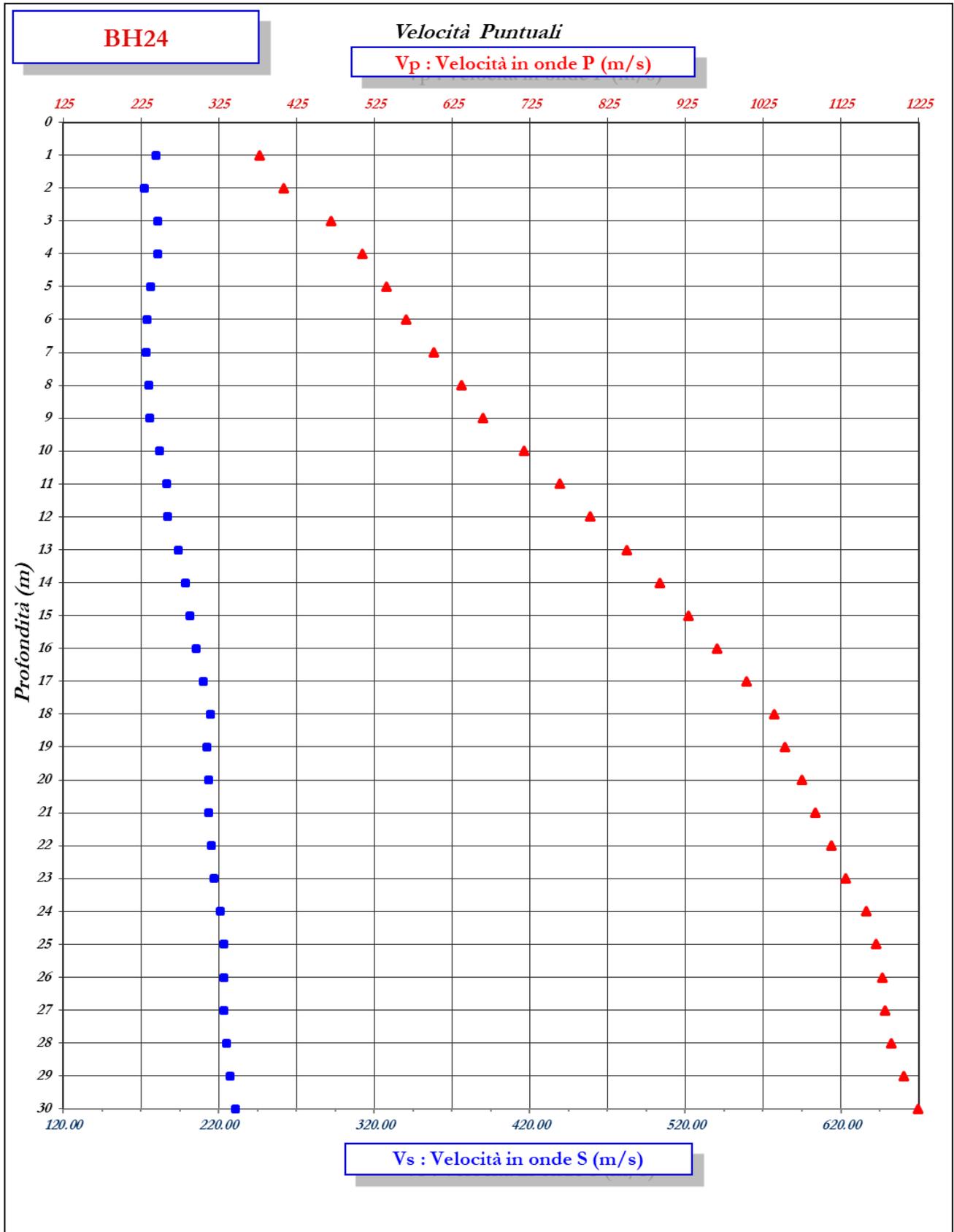


Figura 79: andamento dei tempi-profondità per la prova down-hole BH24 metro per metro.



**Figura 80:** andamento delle V<sub>p</sub> e V<sub>s</sub>, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità puntuali metro per metro.

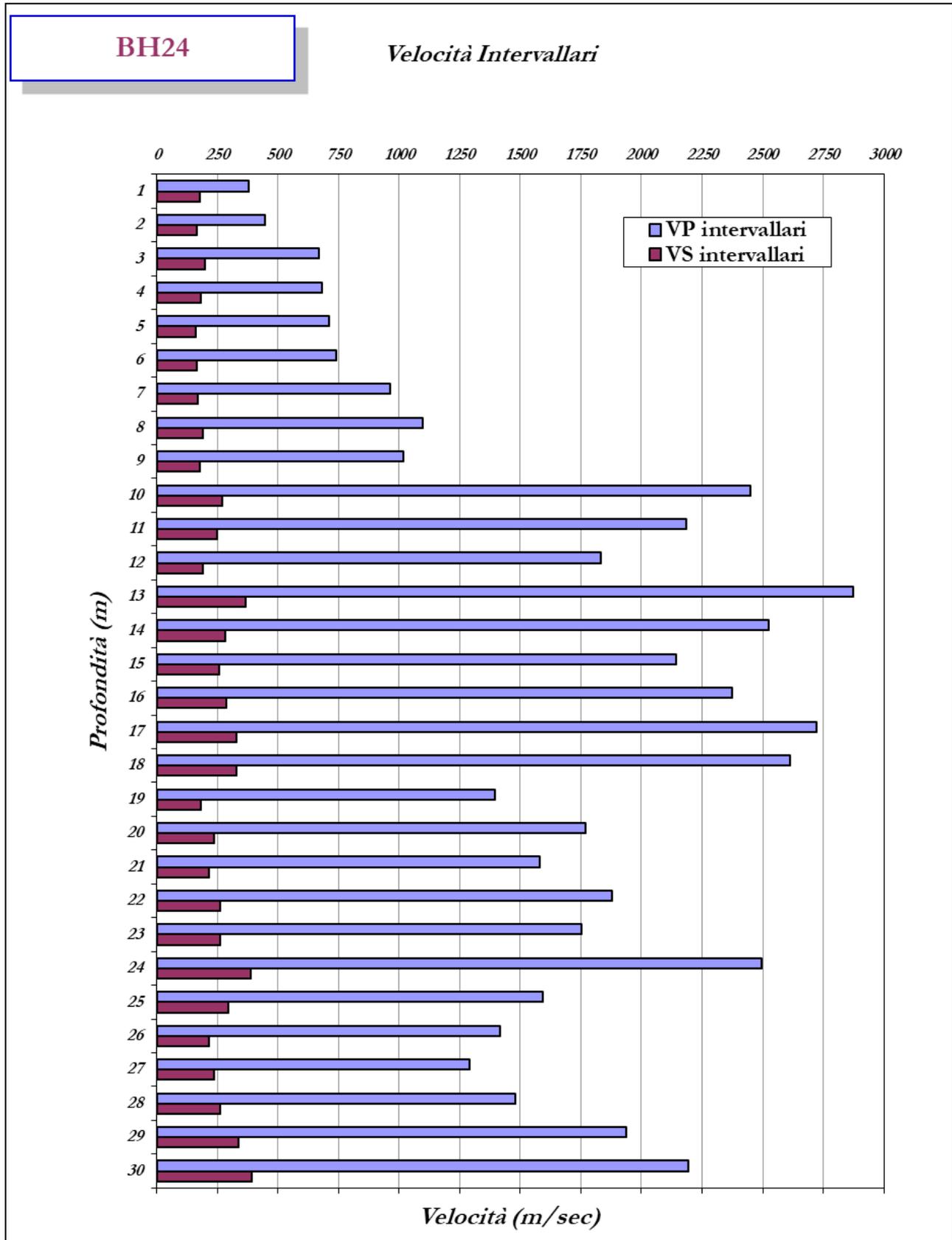


Figura 81: andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità intervallari metro per metro.

## 8.6 DOWN-HOLE BH6



**Figura 82:** ortofoto relativa all'ubicazione della prova down-hole BH 06.



**Figura 83:** foto relativa all'esecuzione della prova down-hole BH 06

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 (in metri da piano campagna). I grafici relativi sono riportati nelle figure **Figura 84** e **Figura 85**.

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
m	ms	ms	m/s	m/s
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	9.00	13.75	351.36	229.98
2	10.20	15.58	353.49	231.42
3	11.47	18.26	369.89	232.35
4	13.05	21.45	383.14	233.10
5	14.30	24.95	407.76	233.71
6	15.72	28.60	426.73	234.55
7	16.96	32.35	449.04	235.42
8	17.69	35.95	482.98	237.66
9	18.45	39.38	514.19	240.90
10	19.25	42.85	542.35	243.65
11	20.06	46.28	568.38	246.36
12	20.88	49.58	592.40	249.48
13	21.70	52.80	614.82	252.68
14	22.48	55.82	636.91	256.50
15	23.38	58.98	654.28	259.36
16	24.20	61.89	672.68	263.03
17	24.85	64.72	694.68	266.73
18	25.33	67.50	720.42	270.35
19	25.81	70.20	745.27	274.01
20	26.29	72.89	769.26	277.46
21	26.77	75.49	792.42	281.01
22	27.25	78.05	814.81	284.48
23	27.72	80.53	836.75	288.03
24	28.20	83.05	857.69	291.23
25	28.68	85.50	877.94	294.50
26	29.16	87.88	897.55	297.82
27	29.64	90.25	916.54	301.01
28	30.12	92.58	934.94	304.17
29	30.60	94.80	952.77	307.54
30	31.04	96.98	971.32	310.88
31	31.48	99.02	989.35	314.53
32	31.92	100.98	1006.90	318.28

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
33	32.35	102.93	1024.30	321.93
34	32.80	104.89	1040.61	325.42
35	33.24	106.71	1056.81	329.19
36	33.70	108.59	1071.95	332.67
37	34.10	110.29	1088.60	336.60
38	34.50	111.97	1104.88	340.43
39	34.90	113.65	1120.78	344.17
40	35.30	115.29	1136.33	347.94
41	35.72	117.00	1150.88	351.38
42	36.15	118.73	1164.79	354.66
43	36.55	120.41	1179.33	357.98
44	36.95	122.09	1193.56	361.23
45	37.35	123.76	1207.49	364.41
46	37.75	125.43	1221.13	367.53
47	38.15	127.08	1234.49	370.60
48	38.53	128.71	1248.21	373.65
49	38.90	130.34	1262.00	376.66
50	39.28	131.97	1275.20	379.56

Nella seguente tabella sono riportate le velocità intervallari (in metri/secondo) per ciascun metro di indagine; il grafico relativo è riportato in **Figura 86**.

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
m	m/s	m/s
0	0.0	0.0
1	351.36	229.98
2	355.63	232.88
3	407.74	234.22
4	429.28	235.39
5	548.80	236.16
6	556.10	238.88
7	654.32	240.75
8	1025.68	254.67
9	1064.35	270.41
10	1069.58	271.47
11	1092.89	277.28
12	1106.91	289.82
13	1126.49	298.67
14	1195.16	319.18

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
15	1058.23	307.34
16	1163.43	333.86
17	1456.95	344.21
18	1947.47	351.32
19	1965.39	362.40
20	1980.30	364.62
21	1992.78	377.68
22	2003.31	384.17
23	2053.21	396.94
24	2019.91	391.37
25	2026.46	402.85
26	2032.12	414.97
27	2037.04	417.15
28	2041.33	424.60
29	2045.09	445.70
30	2230.22	454.15
31	2233.82	485.24
32	2237.01	505.16
33	2290.95	508.09
34	2193.40	507.15
35	2244.65	543.16
36	2150.40	527.77
37	2469.94	585.01
38	2472.03	588.78
39	2473.93	590.82
40	2475.65	607.21
41	2360.58	581.08
42	2307.49	574.64
43	2479.93	590.06
44	2481.13	592.00
45	2482.23	595.70
46	2483.25	597.65
47	2484.18	601.40
48	2614.75	609.97
49	2685.78	613.47
50	2616.51	609.13

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S<sub>H</sub>. 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)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
1	351.36	229.98	1.55	0.13	82.08	184.71	27.42	82.14
2	355.63	232.88	1.56	0.12	84.35	189.72	28.01	84.24
3	407.74	234.22	1.60	0.25	87.57	219.57	90.24	148.62
4	429.28	235.39	1.61	0.29	89.32	229.55	118.42	177.96
5	548.80	236.16	1.69	0.39	94.19	261.18	320.30	383.09
6	556.10	238.88	1.69	0.39	96.62	268.00	330.37	394.78
7	654.32	240.75	1.75	0.42	101.22	287.80	545.23	612.71
8	1025.68	254.67	1.90	0.47	123.36	361.97	1754.27	1836.50
9	1064.35	270.41	1.92	0.47	140.06	410.51	1889.78	1983.15
10	1069.58	271.47	1.92	0.47	141.29	414.14	1910.74	2004.93
11	1092.89	277.28	1.93	0.47	148.01	433.86	2003.34	2102.01
12	1106.91	289.82	1.93	0.46	162.10	474.36	2040.29	2148.35
13	1126.49	298.67	1.94	0.46	172.72	505.09	2111.59	2226.74
14	1195.16	319.18	1.96	0.46	199.48	583.12	2398.02	2531.01
15	1058.23	307.34	1.92	0.45	180.73	525.55	1781.20	1901.69
16	1163.43	333.86	1.95	0.46	217.14	631.93	2202.63	2347.39
17	1456.95	344.21	2.04	0.47	240.89	708.43	3834.13	3994.72
18	1947.47	351.32	2.15	0.48	265.18	786.61	7617.97	7794.76
19	1965.39	362.40	2.15	0.48	282.66	838.03	7748.14	7936.58
20	1980.30	364.62	2.16	0.48	286.54	849.55	7879.08	8070.10
21	1992.78	377.68	2.16	0.48	307.81	911.96	7953.65	8158.86
22	2003.31	384.17	2.16	0.48	318.79	944.21	8031.14	8243.67
23	2053.21	396.94	2.17	0.48	341.93	1012.51	8464.82	8692.77
24	2019.91	391.37	2.17	0.48	331.38	981.21	8164.02	8384.94
25	2026.46	402.85	2.17	0.48	351.32	1039.50	8186.98	8421.19
26	2032.12	414.97	2.17	0.48	372.97	1102.68	8198.16	8446.80
27	2037.04	417.15	2.17	0.48	377.07	1114.69	8237.41	8488.79
28	2041.33	424.60	2.17	0.48	390.82	1154.79	8251.42	8511.97
29	2045.09	445.70	2.17	0.48	430.78	1270.86	8207.98	8495.17
30	2230.22	454.15	2.21	0.48	454.68	1344.38	10055.68	10358.80
31	2233.82	485.24	2.21	0.48	471.19	1390.24	9043.47	9357.60
32	2237.01	505.16	2.21	0.47	467.56	1377.55	8233.79	8545.49
33	2290.95	508.09	2.22	0.47	438.06	1291.53	8029.82	8321.86
34	2193.40	507.15	2.20	0.47	401.51	1181.84	6707.15	6974.82
35	2244.65	543.16	2.21	0.47	431.34	1267.19	6503.75	6791.31
36	2150.40	527.77	2.19	0.47	378.39	1110.91	5525.00	5777.25
37	2469.94	585.01	2.25	0.47	448.92	1320.09	7104.38	7403.66
38	2472.03	588.78	2.25	0.47	429.26	1261.97	6708.42	6994.60
39	2473.93	590.82	2.25	0.47	409.32	1203.21	6358.06	6630.95
40	2475.65	607.21	2.25	0.47	410.57	1205.43	6003.69	6277.40
41	2360.58	581.08	2.23	0.47	354.71	1041.24	5144.34	5380.81
42	2307.49	574.64	2.22	0.47	329.55	966.87	4654.83	4874.54
43	2479.93	590.06	2.25	0.47	336.83	990.28	5275.99	5500.54
44	2481.13	592.00	2.25	0.47	324.84	954.90	5056.15	5272.71
45	2482.23	595.70	2.25	0.47	315.68	927.75	4849.82	5060.27

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	132 di 163

Profondità (m da p.c.)	VP (m/s)	VS (m/s)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
46	2483.25	597.65	2.25	0.47	305.46	897.60	4662.62	4866.26
47	2484.18	601.40	2.25	0.47	297.79	874.82	4485.46	4683.99
48	2614.75	609.97	2.27	0.47	298.21	877.46	4883.43	5082.23
49	2685.78	613.47	2.29	0.47	292.66	861.88	5024.09	5219.19
50	2616.51	609.13	2.27	0.47	277.47	816.52	4564.76	4749.74

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

*valore  $V_{seq} = 310.88$  m/s*

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

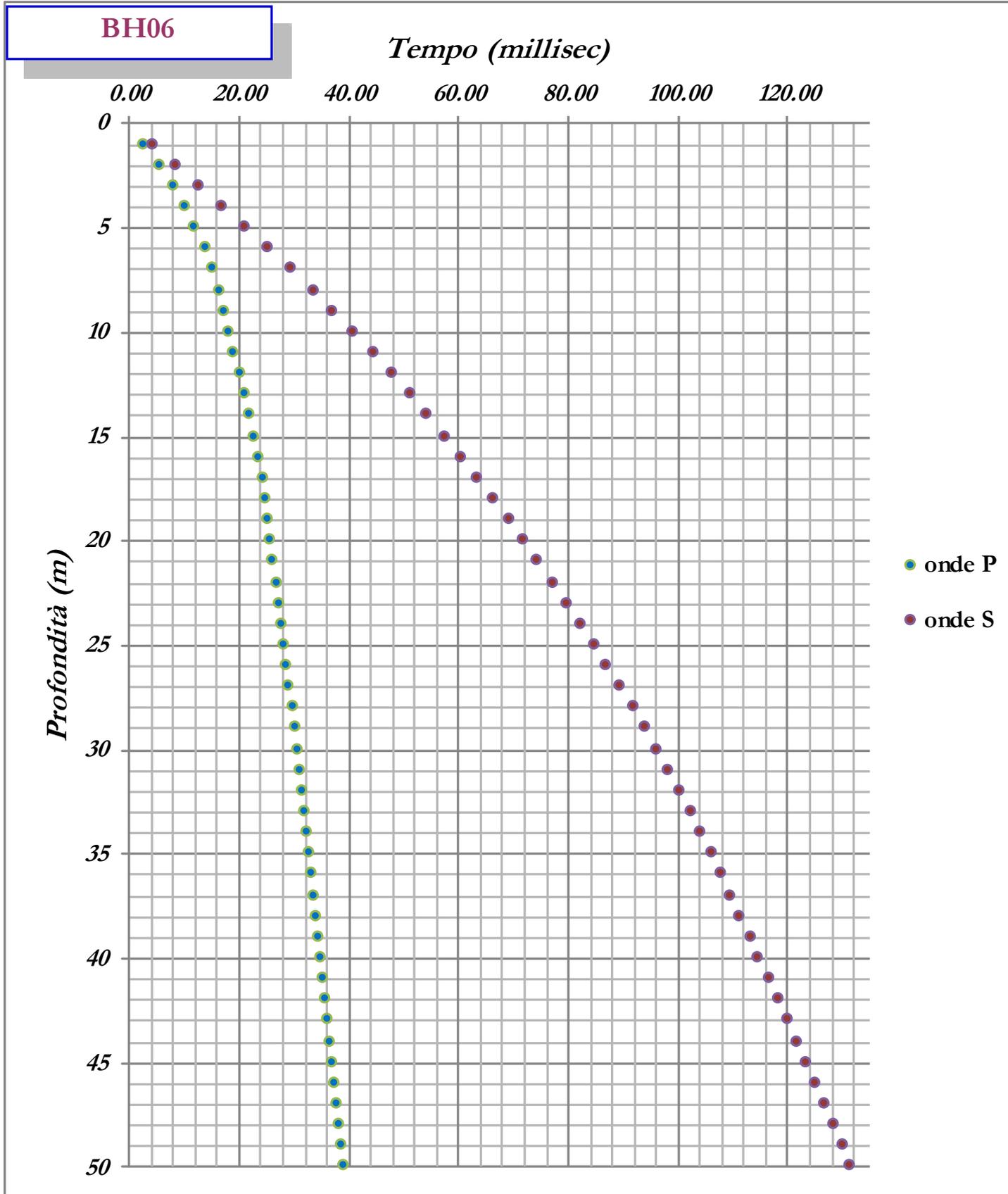
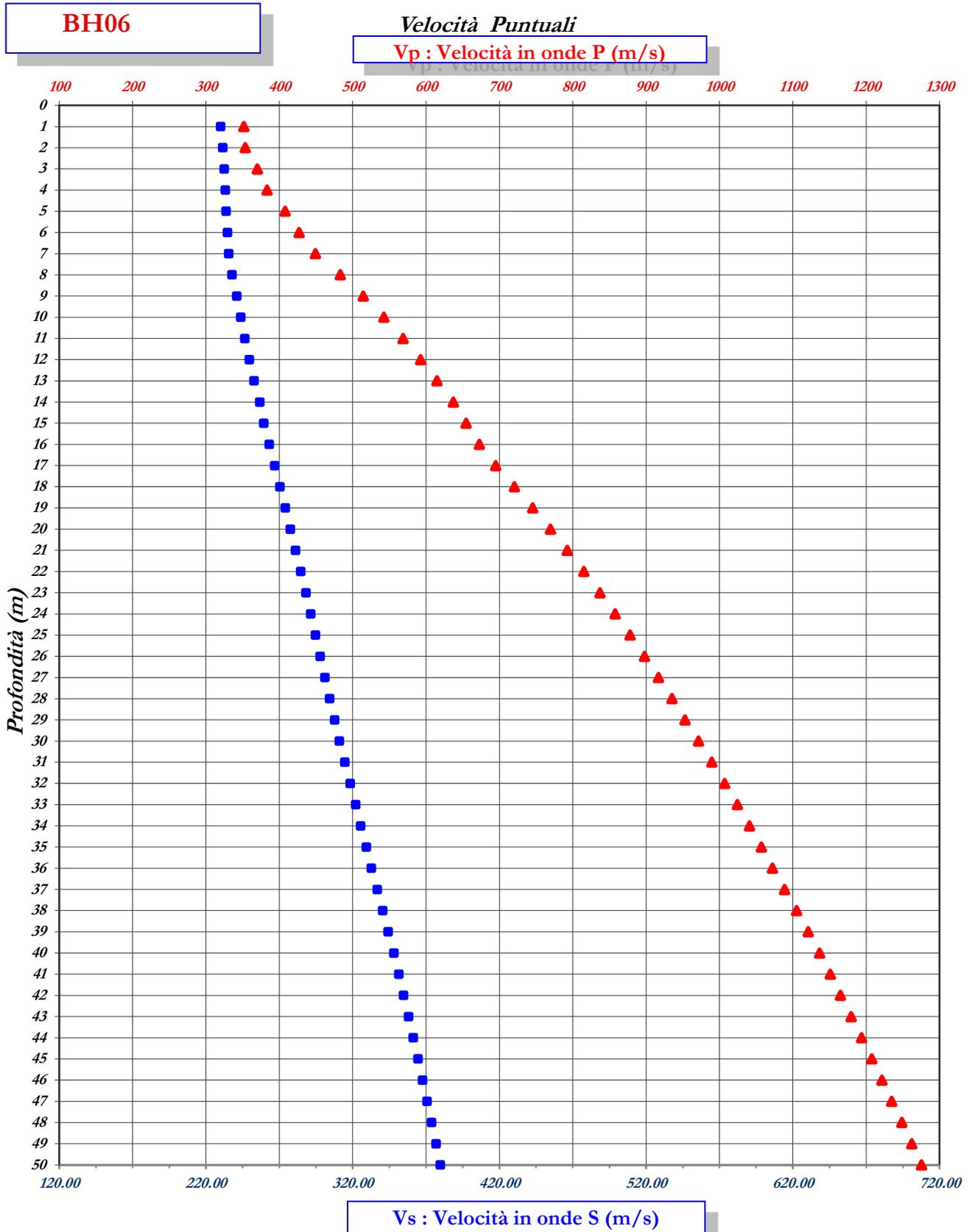
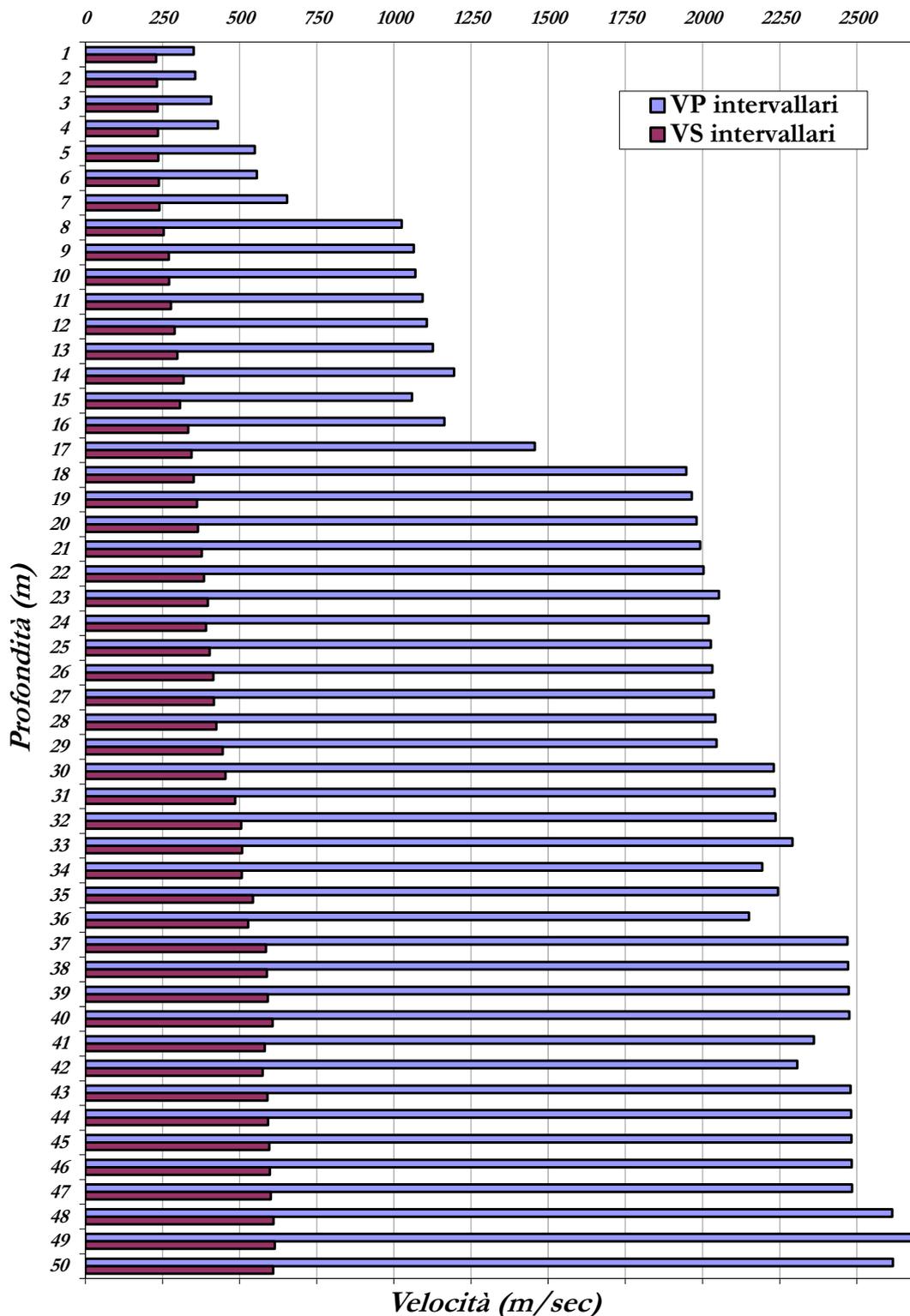


Figura 84: andamento dei tempi-profondità per la prova down-hole BH 06 metro per metro.



**Figura 85:** andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità puntuali metro per metro.

**BH 06**
*Velocità Intervallari*


**Figura 86:** andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità intervallari metro per metro.

### 8.7 DOWN-HOLE BH8

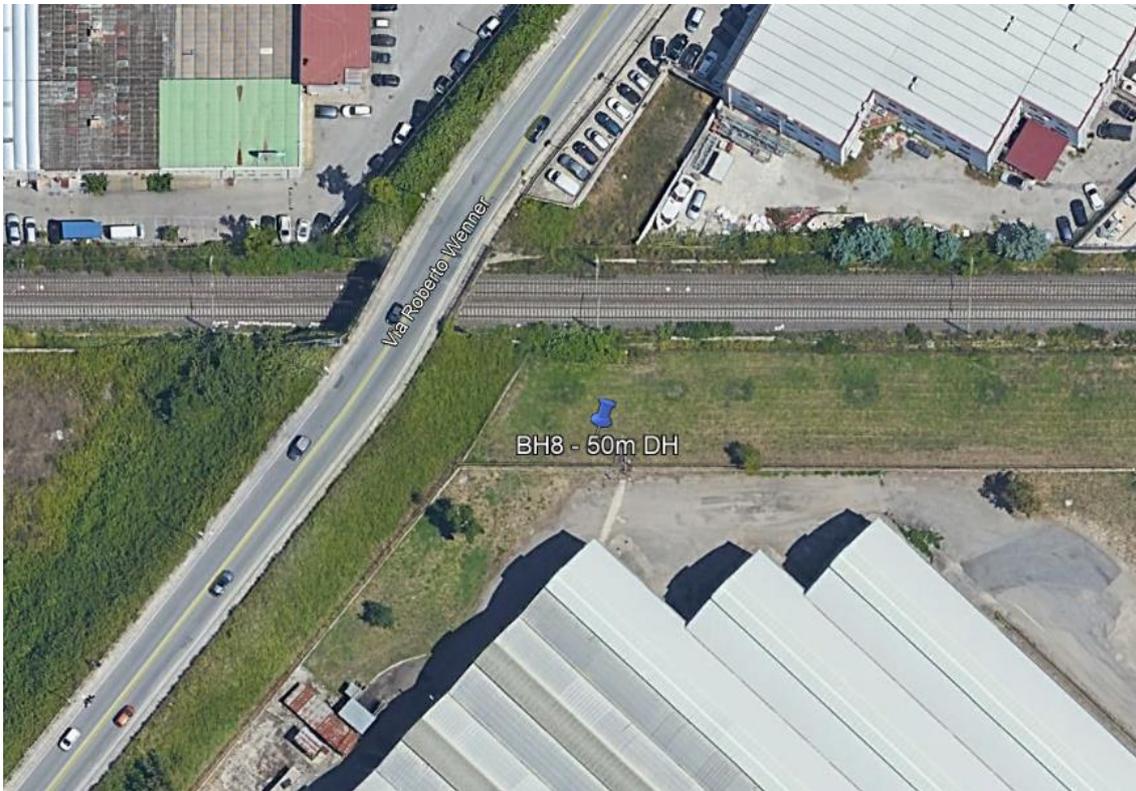


Figura 87: ortofoto relativa all'ubicazione della prova down-hole BH 08.



Figura 88: foto relativa all'esecuzione della prova down-hole BH 08.

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 (in metri da piano campagna). I grafici relativi sono riportati nelle figure **Figura 89e Figura 90**.

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
m	ms	ms	m/s	m/s
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	11.00	20.10	287.48	157.33
2	12.00	22.67	300.46	159.05
3	13.28	26.44	319.48	160.46
4	14.80	30.22	337.84	165.45
5	16.01	33.00	364.21	176.70
6	17.25	35.79	388.88	187.45
7	18.40	38.63	414.01	197.17
8	19.54	41.42	437.26	206.28
9	20.60	44.10	460.53	215.12
10	21.65	46.75	482.23	223.32
11	22.60	49.36	504.50	231.02
12	23.03	52.00	537.10	237.87
13	23.45	54.56	568.94	244.53
14	23.89	57.30	599.32	249.87
15	24.28	60.00	630.08	254.95
16	24.71	63.00	658.74	258.39
17	25.13	65.60	687.07	263.15
18	25.52	67.72	715.06	269.49
19	25.91	69.75	742.39	275.78
20	26.68	72.46	757.95	279.12
21	27.30	74.60	777.04	284.36
22	27.75	76.50	800.13	290.24
23	28.20	78.40	822.51	295.85
24	28.71	80.52	842.60	300.37
25	29.21	82.62	862.16	304.76
26	29.70	84.72	881.23	308.95
27	30.19	86.78	899.84	313.05
28	30.67	88.78	918.32	317.19
29	31.14	90.73	936.25	321.34
30	31.86	94.98	946.32	317.43
31	32.45	97.47	959.78	319.55
32	33.00	99.55	973.95	322.86

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
33	33.46	101.48	990.47	326.53
34	33.97	104.29	1004.77	327.28
35	34.45	106.95	1019.69	328.46
36	34.96	109.75	1033.47	329.16
37	35.45	112.20	1047.15	330.85
38	35.90	114.41	1061.79	333.17
39	36.39	117.60	1075.04	332.61
40	36.86	120.75	1088.24	332.19
41	37.33	123.50	1101.16	332.87
42	37.80	126.22	1113.94	333.60
43	38.24	128.78	1127.21	334.71
44	38.65	131.00	1141.06	336.66
45	39.20	133.99	1150.51	336.59
46	39.72	136.79	1160.57	337.00
47	40.23	139.56	1170.66	337.46
48	40.67	142.00	1182.53	338.70
49	41.09	144.40	1194.68	339.97
50	41.49	146.68	1207.28	341.49

Nella seguente tabella sono riportate le velocità intervallari (in metri/secondo) per ciascun metro di indagine; il grafico relativo è riportato in **Figura 91**.

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
m	m/s	m/s
0	0.0	0.0
1	287.48	157.33
2	314.67	160.80
3	365.77	163.38
4	408.23	182.48
5	529.53	242.64
6	588.09	269.43
7	676.22	286.28
8	720.36	304.81
9	801.92	327.42
10	837.48	339.97
11	937.45	352.42
12	1856.25	353.17
13	1972.03	368.27
14	1959.92	349.00

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
15	2237.95	356.28
16	2073.83	324.03
17	2202.89	373.02
18	2325.12	456.23
19	2380.01	475.56
20	1259.67	362.72
21	1565.38	455.20
22	2128.04	513.27
23	2138.61	514.68
24	1922.32	463.24
25	1946.92	469.20
26	1971.31	470.55
27	1995.59	477.88
28	2061.26	493.70
29	2065.21	506.68
30	1375.17	234.73
31	1674.42	399.50
32	1795.91	475.38
33	2166.01	513.39
34	1919.67	354.22
35	2059.26	374.13
36	1960.34	355.67
37	2000.85	406.16
38	2199.74	450.02
39	2044.22	312.65
40	2087.95	316.64
41	2097.78	362.46
42	2125.49	366.50
43	2255.64	389.33
44	2420.12	448.66
45	1809.29	333.70
46	1913.44	356.28
47	1951.23	360.16
48	2259.88	409.52
49	2356.26	414.65
50	2498.01	437.34

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S<sub>H</sub>. 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)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
1	287.48	157.33	1.50	0.29	36.97	95.11	49.50	74.15
2	314.67	160.80	1.52	0.32	39.29	103.99	71.88	98.08
3	365.77	163.38	1.57	0.38	41.74	114.81	125.72	153.54
4	408.23	182.48	1.60	0.38	53.16	146.22	159.74	195.19
5	529.53	242.64	1.68	0.37	98.77	270.05	272.85	338.69
6	588.09	269.43	1.71	0.37	124.22	339.67	343.41	426.23
7	676.22	286.28	1.76	0.39	144.02	400.61	515.53	611.54
8	720.36	304.81	1.78	0.39	165.24	459.68	592.43	702.59
9	801.92	327.42	1.82	0.40	194.59	544.85	778.10	907.83
10	837.48	339.97	1.83	0.40	211.53	592.85	860.56	1001.58
11	937.45	352.42	1.87	0.42	232.23	658.46	1178.76	1333.58
12	1856.25	353.17	2.13	0.48	265.54	786.66	6804.64	6981.67
13	1972.03	368.27	2.16	0.48	292.08	865.69	7790.90	7985.62
14	1959.92	349.00	2.15	0.48	262.01	777.44	7738.78	7913.45
15	2237.95	356.28	2.21	0.49	280.02	832.78	10488.34	10675.02
16	2073.83	324.03	2.18	0.49	228.29	679.17	8894.46	9046.65
17	2202.89	373.02	2.20	0.49	306.02	909.03	10060.82	10264.83
18	2325.12	456.23	2.22	0.48	462.51	1369.02	11087.68	11396.03
19	2380.01	475.56	2.23	0.48	504.75	1493.27	11633.10	11969.60
20	1259.67	362.72	1.98	0.45	260.21	757.11	2617.82	2791.29
21	1565.38	455.20	2.06	0.45	427.08	1241.78	4196.49	4481.20
22	2128.04	513.27	2.19	0.47	575.63	1691.33	8743.45	9127.20
23	2138.61	514.68	2.19	0.47	579.33	1702.36	8843.96	9230.18
24	1922.32	463.24	2.15	0.47	459.89	1351.33	6999.85	7306.44
25	1946.92	469.20	2.15	0.47	472.96	1389.70	7197.38	7512.68
26	1971.31	470.55	2.16	0.47	476.82	1401.64	7414.72	7732.59
27	1995.59	477.88	2.16	0.47	492.91	1448.76	7609.93	7938.54
28	2061.26	493.70	2.17	0.47	529.34	1555.80	8168.69	8521.58
29	2065.21	506.68	2.17	0.47	557.76	1637.54	8150.63	8522.47
30	1375.17	234.73	2.01	0.48	110.80	329.08	3581.41	3655.28
31	1674.42	399.50	2.09	0.47	302.36	888.84	4706.95	4908.52
32	1795.91	475.38	2.12	0.46	397.13	1161.47	4873.72	5138.47
33	2166.01	513.39	2.19	0.47	442.50	1301.15	6991.72	7286.71
34	1919.67	354.22	2.14	0.48	190.96	566.16	5226.84	5354.14
35	2059.26	374.13	2.17	0.48	201.32	597.08	5696.51	5830.72
36	1960.34	355.67	2.15	0.48	168.85	500.79	4791.76	4904.33
37	2000.85	406.16	2.16	0.48	207.90	614.75	4629.52	4768.12
38	2199.74	450.02	2.20	0.48	245.27	725.10	5369.84	5533.36
39	2044.22	312.65	2.17	0.49	110.54	328.97	4504.59	4578.28
40	2087.95	316.64	2.18	0.49	108.09	321.72	4483.83	4555.88
41	2097.78	362.46	2.18	0.48	134.95	400.71	4250.53	4340.50
42	2125.49	366.50	2.19	0.48	131.98	391.89	4174.97	4262.95
43	2255.64	389.33	2.21	0.48	144.03	427.65	4546.23	4642.25
44	2420.12	448.66	2.24	0.48	185.70	550.48	5031.66	5155.46
45	1809.29	333.70	2.12	0.48	93.29	276.57	2555.71	2617.90

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	141 di 163

Profondità (m da p.c.)	VP (m/s)	VS (m/s)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
46	1913.44	356.28	2.14	0.48	103.31	306.21	2773.15	2842.02
47	1951.23	360.16	2.15	0.48	102.01	302.44	2790.12	2858.13
48	2259.88	409.52	2.21	0.48	130.74	387.78	3719.96	3807.12
49	2356.26	414.65	2.23	0.48	130.42	387.10	3950.50	4037.44
50	2498.01	437.34	2.25	0.48	141.78	420.85	4342.02	4436.54

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

*valore  $V_{seq} = 317.43$  m/s*

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

**BH08**

*Tempo (millisec)*

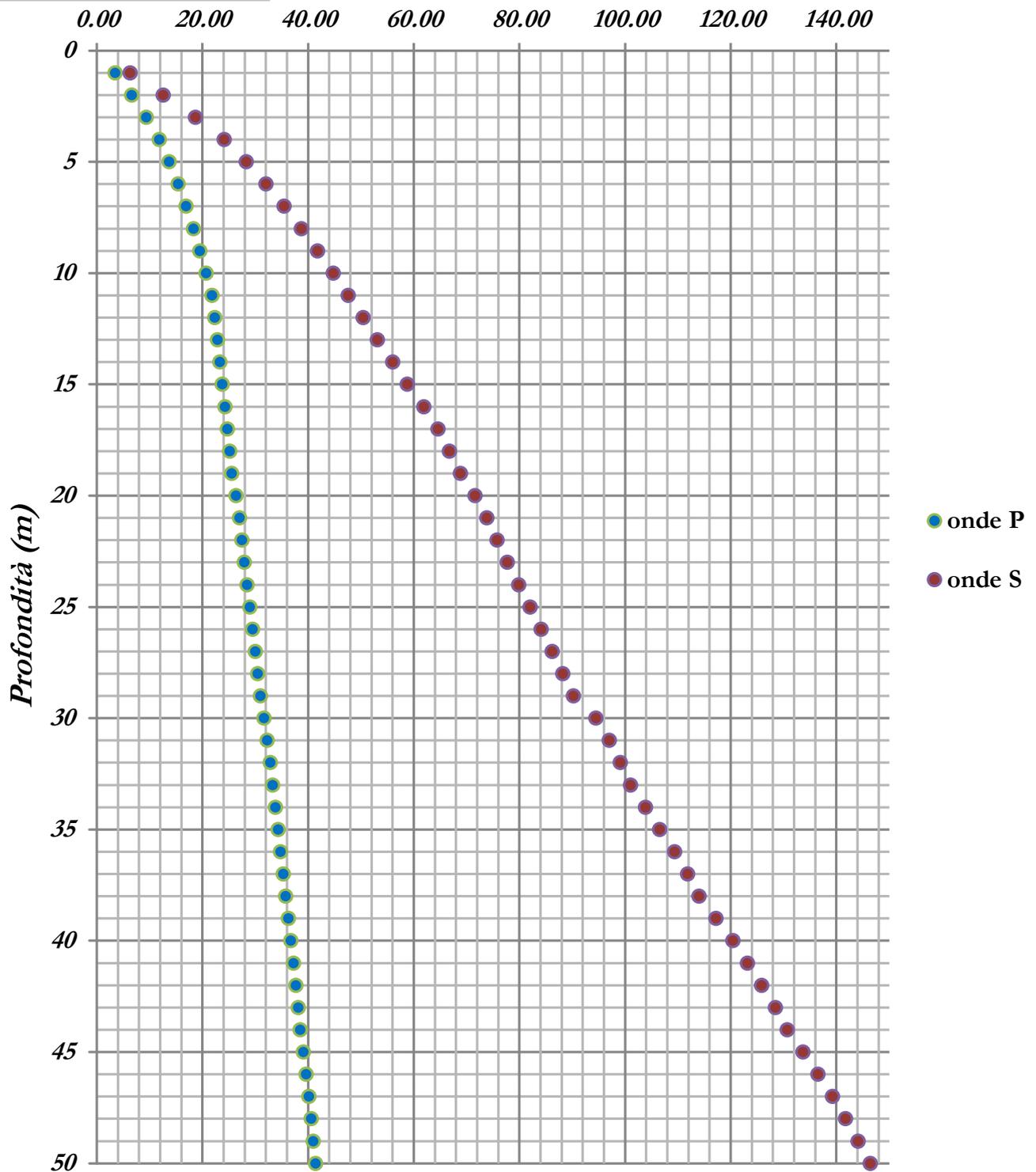
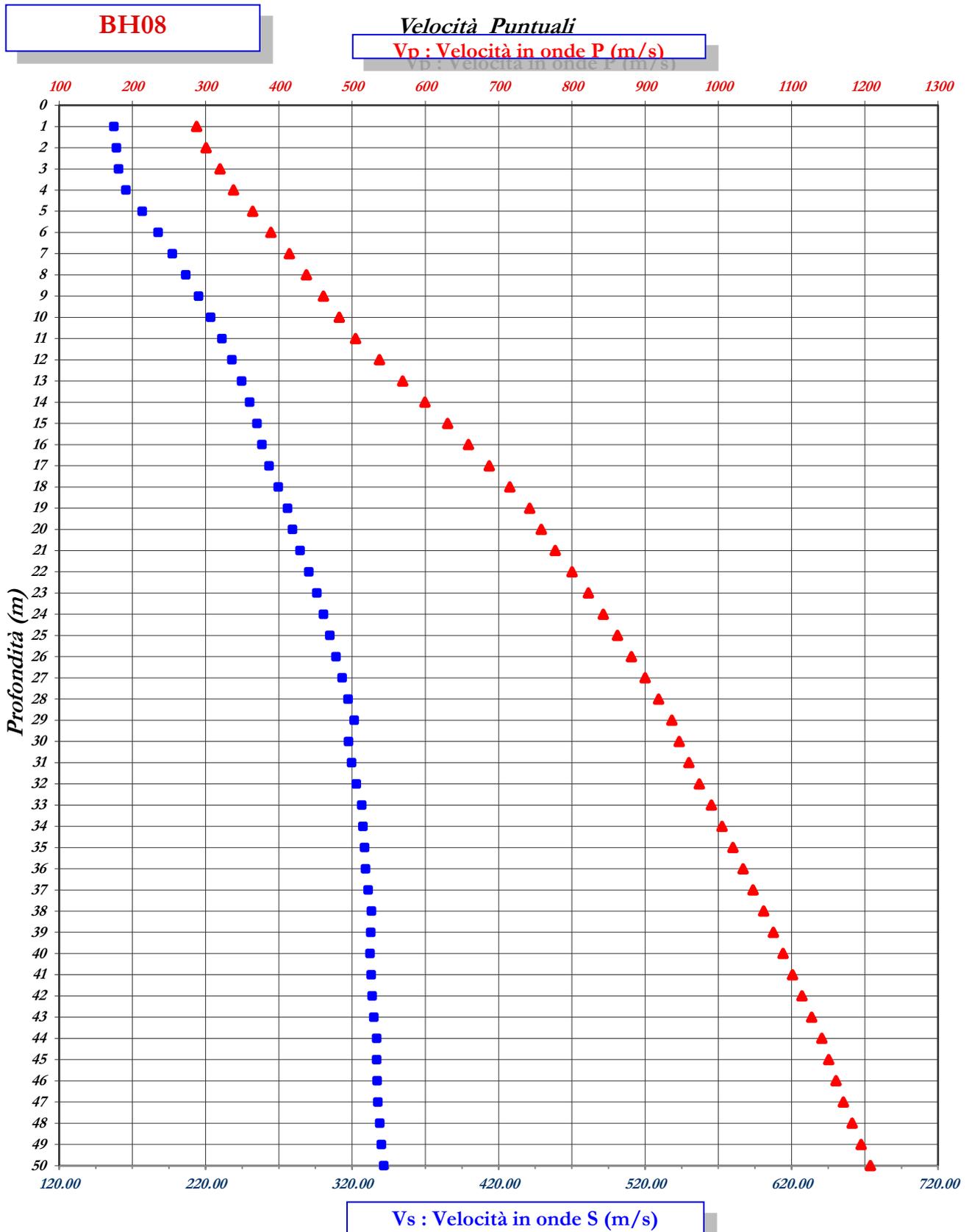


Figura 89: andamento dei tempi-profondità per la prova down-hole BH 08 metro per metro.



**Figura 90:** andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità puntuali metro per metro.

**BH 08**

*Velocità Intervallari*

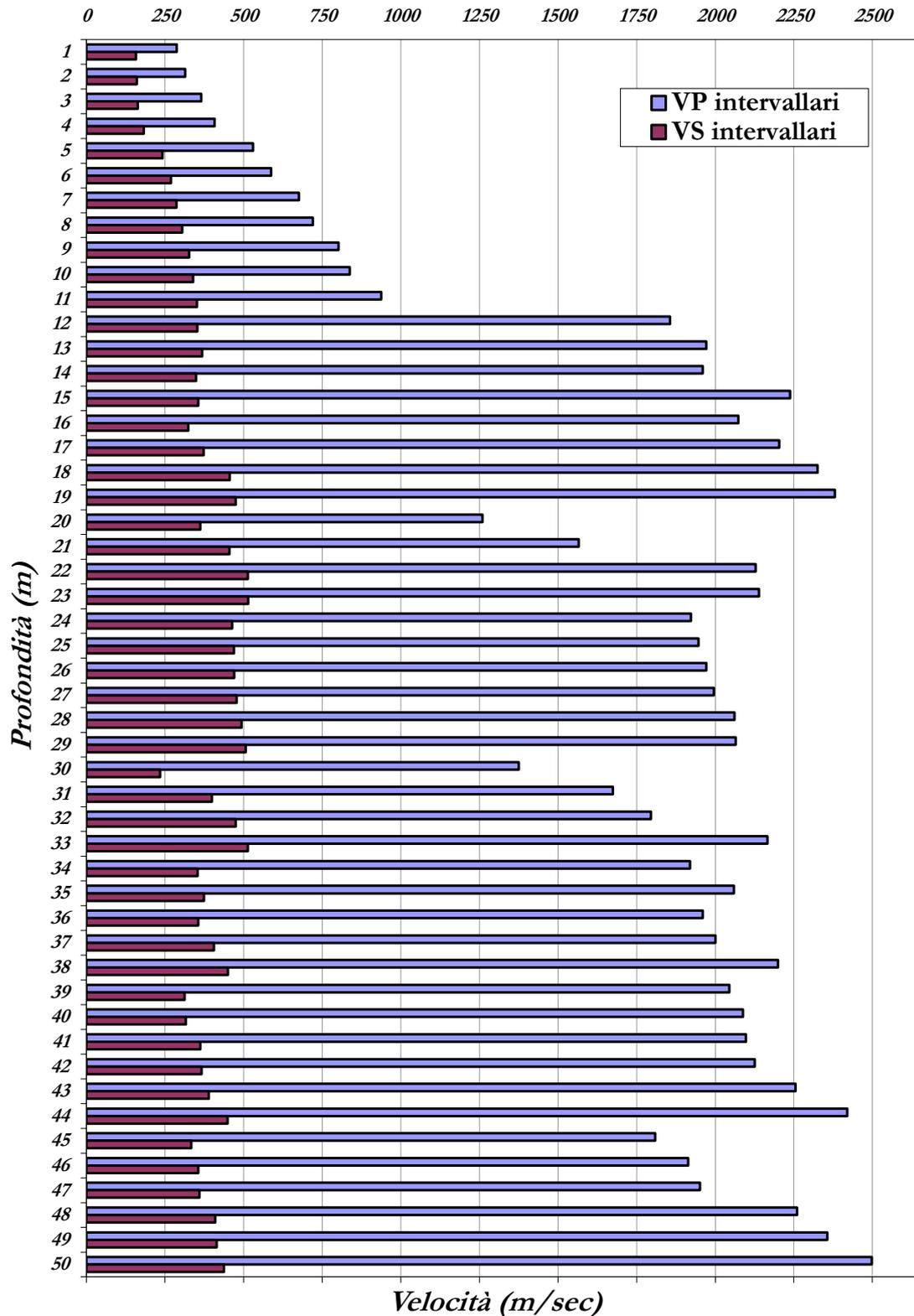
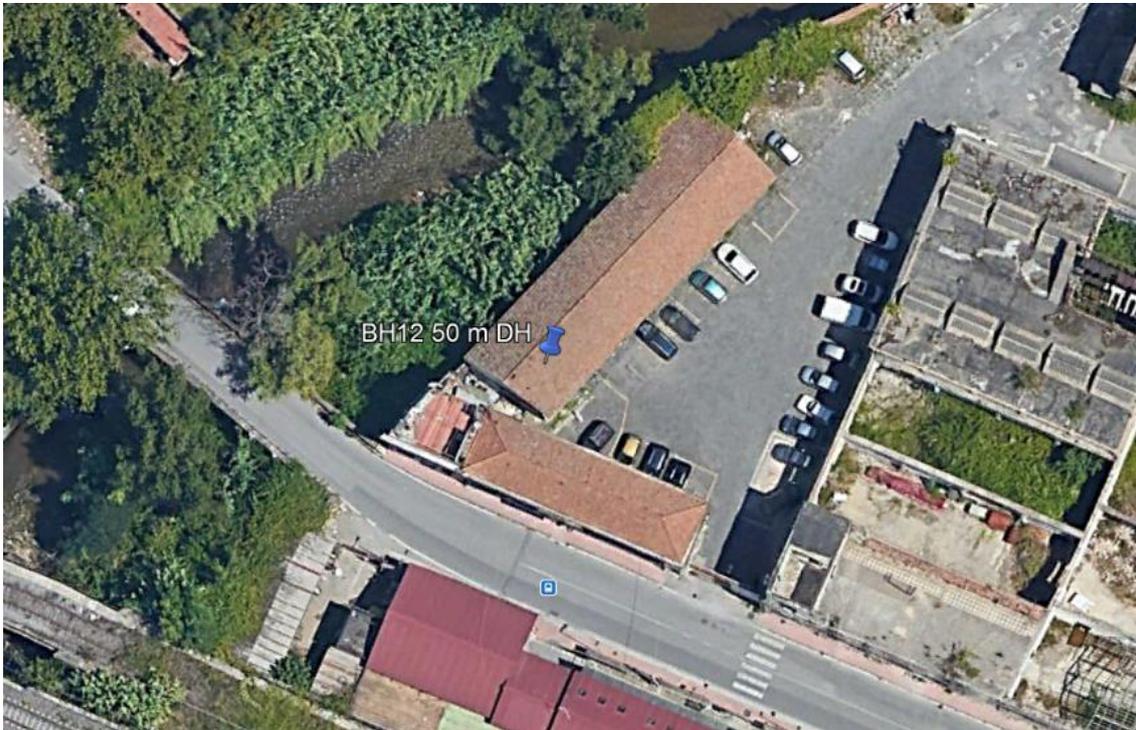


Figura 91: andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità intervallari metro per metro.

### 8.8 DOWN-HOLE BH 12



**Figura 92:** ortofoto relativa all'ubicazione della prova down-hole BH 12.



**Figura 93:** foto relativa all'esecuzione della prova down-hole BH 12.

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 (in metri da piano campagna). I grafici relativi sono riportati nelle figure **Figura 94** e **Figura 95**.

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
m	ms	ms	m/s	m/s
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	8.57	14.80	368.99	213.67
2	9.84	17.20	366.42	209.63
3	10.79	18.60	393.20	228.10
4	11.45	19.60	436.68	255.10
5	12.20	20.85	477.95	279.66
6	13.31	23.40	503.85	286.68
7	14.32	25.80	532.01	295.19
8	15.56	28.70	549.10	297.70
9	16.22	31.50	584.88	301.17
10	16.78	33.32	622.19	313.33
11	17.46	36.80	653.02	309.83
12	18.05	40.20	685.28	307.69
13	18.63	43.00	716.14	310.27
14	19.18	45.40	746.50	315.37
15	19.78	47.82	773.36	319.89
16	20.38	50.20	798.76	324.28
17	20.98	52.10	822.82	331.34
18	21.58	54.00	845.61	337.93
19	22.17	55.65	867.63	345.65
20	22.79	57.40	887.40	352.33
21	23.37	59.05	907.71	359.24
22	23.95	60.62	927.08	366.28
23	24.51	61.97	946.34	374.29
24	25.08	63.35	964.38	381.80
25	25.65	64.67	981.65	389.35
26	26.25	66.08	997.05	396.07
27	26.90	67.90	1009.89	400.09
28	27.60	70.70	1020.30	398.31
29	28.41	74.60	1026.21	390.81
30	29.12	77.40	1035.36	389.53
31	29.90	81.30	1041.63	383.09
32	30.60	83.40	1050.34	385.38

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
33	31.35	86.00	1056.97	385.30
34	32.05	87.50	1064.96	390.08
35	32.70	88.90	1074.26	395.14
36	33.50	91.50	1078.35	394.81
37	34.20	93.20	1085.42	398.30
38	34.99	95.60	1089.40	398.73
39	35.74	97.50	1094.44	401.18
40	36.55	99.70	1097.46	402.33
41	37.20	101.30	1105.10	405.82
42	37.90	103.10	1111.00	408.41
43	38.51	104.70	1119.25	411.70
44	39.10	106.20	1127.93	415.27
45	39.80	108.00	1133.16	417.59
46	40.51	109.90	1137.93	419.45
47	41.10	111.40	1145.88	422.76
48	41.60	112.70	1156.10	426.74
49	42.19	114.20	1163.59	429.88

Nella seguente tabella sono riportate le velocità intervallari (in metri/secondo) per ciascun metro di indagine; il grafico relativo è riportato in **Figura 96**.

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
m	m/s	m/s
0	0.0	0.0
1	368.99	213.67
2	363.88	205.73
3	460.53	276.91
4	653.46	395.60
5	768.40	454.81
6	691.09	327.78
7	800.54	359.15
8	708.36	316.59
9	1221.95	332.13
10	1460.53	492.31
11	1294.58	278.67
12	1500.83	286.01
13	1558.03	344.94
14	1662.95	401.06
15	1558.52	400.14

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
16	1574.68	408.36
17	1587.75	508.38
18	1598.41	510.71
19	1633.12	586.95
20	1564.57	556.81
21	1674.31	591.17
22	1679.93	622.04
23	1742.94	721.84
24	1717.61	708.55
25	1721.28	741.54
26	1640.17	696.81
27	1518.63	543.41
28	1413.51	355.50
29	1225.10	255.99
30	1396.08	355.64
31	1273.10	256.01
32	1417.55	473.05
33	1324.78	383.01
34	1419.02	660.26
35	1527.71	707.29
36	1244.17	383.33
37	1420.76	584.38
38	1260.51	415.23
39	1327.56	523.74
40	1230.15	452.91
41	1530.97	621.45
42	1422.74	553.07
43	1626.21	621.84
44	1692.56	663.18
45	1423.66	553.47
46	1403.95	524.60
47	1688.03	663.69
48	1990.22	765.25
49	1688.73	663.99
50	1404.81	498.79

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S<sub>H</sub>. La seguente tabella mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati metro per metro.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed  
 HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	149 di 163

Profondità (m da p.c.)	VP (m/s)	VS (m/s)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
1	368.99	213.67	1.57	0.25	71.51	178.45	70.24	117.91
2	363.88	205.73	1.56	0.27	66.12	167.29	74.60	118.68
3	460.53	276.91	1.64	0.22	125.26	304.85	95.94	179.45
4	653.46	395.60	1.75	0.21	273.23	661.62	199.05	381.21
5	768.40	454.81	1.80	0.23	372.43	916.45	318.20	566.49
6	691.09	327.78	1.77	0.35	189.58	513.72	463.61	589.99
7	800.54	359.15	1.82	0.37	234.06	643.19	694.77	850.80
8	708.36	316.59	1.77	0.38	177.69	488.71	534.19	652.65
9	1221.95	332.13	1.97	0.46	216.91	633.43	2502.32	2646.93
10	1460.53	492.31	2.04	0.44	493.01	1415.84	3353.14	3681.82
11	1294.58	278.67	1.99	0.48	154.38	455.65	3023.12	3126.04
12	1500.83	286.01	2.05	0.48	167.26	495.47	4271.19	4382.70
13	1558.03	344.94	2.06	0.47	245.01	722.42	4508.80	4672.15
14	1662.95	401.06	2.09	0.47	335.36	985.36	5094.97	5318.54
15	1558.52	400.14	2.06	0.46	329.73	965.93	4342.79	4562.61
16	1574.68	408.36	2.07	0.46	344.10	1007.48	4428.37	4657.77
17	1587.75	508.38	2.07	0.44	534.13	1541.38	4141.73	4497.82
18	1598.41	510.71	2.07	0.44	539.74	1557.84	4207.47	4567.29
19	1633.12	586.95	2.08	0.43	715.81	2041.25	4110.02	4587.23
20	1564.57	556.81	2.06	0.43	638.97	1824.24	3766.94	4192.92
21	1674.31	591.17	2.09	0.43	729.58	2084.85	4393.16	4879.55
22	1679.93	622.04	2.09	0.42	808.30	2296.47	4278.82	4817.69
23	1742.94	721.84	2.11	0.40	1096.10	3061.37	4198.31	4929.04
24	1717.61	708.55	2.10	0.40	1053.19	2943.60	4082.52	4784.65
25	1721.28	741.54	2.10	0.39	1154.01	3199.05	3909.88	4679.22
26	1640.17	696.81	2.08	0.39	1009.67	2806.65	3574.78	4247.90
27	1518.63	543.41	2.05	0.43	605.14	1726.55	3515.88	3919.30
28	1413.51	355.50	2.02	0.47	255.48	749.19	3528.09	3698.41
29	1225.10	255.99	1.97	0.48	128.93	380.89	2694.86	2780.81
30	1396.08	355.64	2.02	0.47	255.08	747.53	3420.67	3590.72
31	1273.10	256.01	1.98	0.48	117.87	348.65	2679.14	2757.72
32	1417.55	473.05	2.02	0.44	375.97	1080.80	2624.17	2874.81
33	1324.78	383.01	2.00	0.45	224.32	652.50	2235.09	2384.64
34	1419.02	660.26	2.03	0.36	626.49	1706.36	1640.76	2058.42
35	1527.71	707.29	2.05	0.36	679.83	1854.01	1812.04	2265.26
36	1244.17	383.33	1.98	0.45	179.90	520.84	1535.38	1655.32
37	1420.76	584.38	2.03	0.40	403.27	1127.70	1577.12	1845.97
38	1260.51	415.23	1.98	0.44	187.85	540.68	1355.41	1480.65
39	1327.56	523.74	2.00	0.41	285.77	804.64	1264.56	1455.07
40	1230.15	452.91	1.97	0.42	200.00	568.63	1075.45	1208.78
41	1530.97	621.45	2.05	0.40	373.67	1047.28	1520.46	1769.57
42	1422.74	553.07	2.03	0.41	278.48	785.87	1285.86	1471.52
43	1626.21	621.84	2.08	0.41	345.27	976.67	1670.74	1900.92
44	1692.56	663.18	2.09	0.41	379.07	1068.46	1711.03	1963.74
45	1423.66	553.47	2.03	0.41	245.19	691.91	1131.90	1295.36
46	1403.95	524.60	2.02	0.42	211.18	599.28	1090.19	1230.98
47	1688.03	663.69	2.09	0.41	337.00	949.38	1506.03	1730.70

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	150 di 163

Profondità (m da p.c.)	VP (m/s)	VS (m/s)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
48	1990.22	765.25	2.16	0.41	445.64	1259.62	2123.01	2420.11
49	1688.73	663.99	2.09	0.41	313.92	884.35	1402.69	1611.97
50	1404.81	498.79	2.02	0.43	165.32	472.11	980.71	1090.92

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

*valore  $V_{seq} = 389.53$  m/s*

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

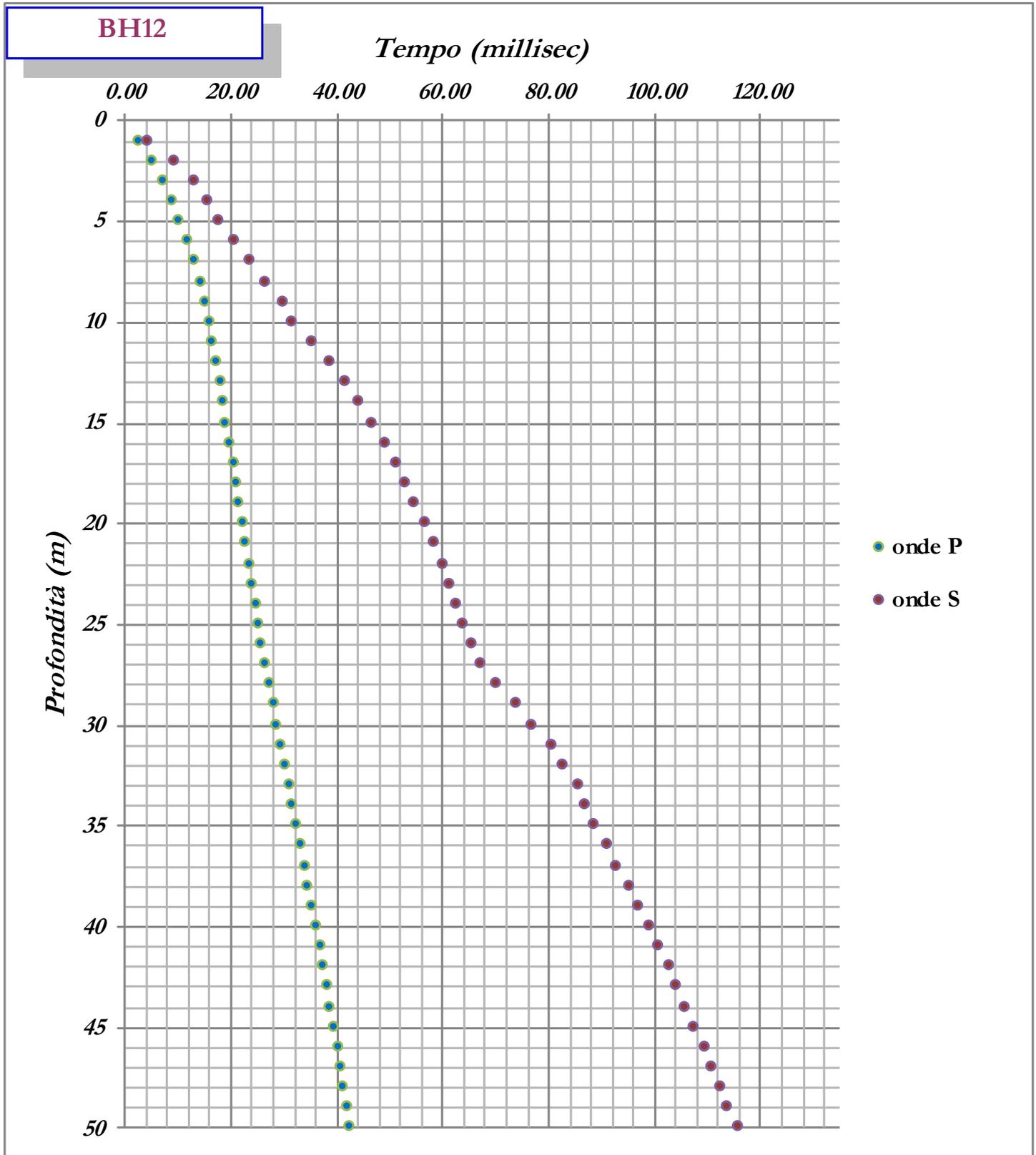


Figura 94: andamento dei tempi-profondità per la prova down-hole BH 12 metro per metro.

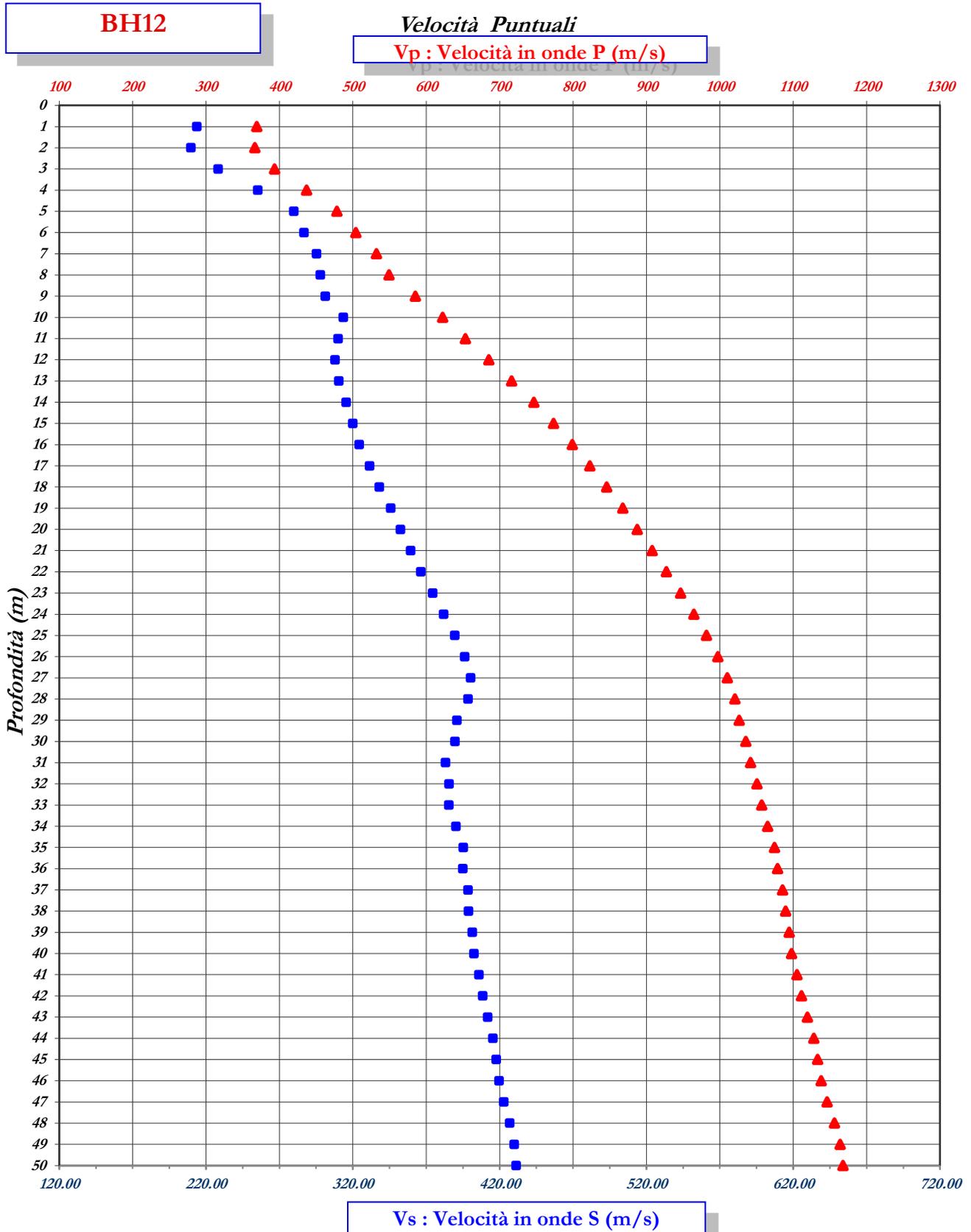
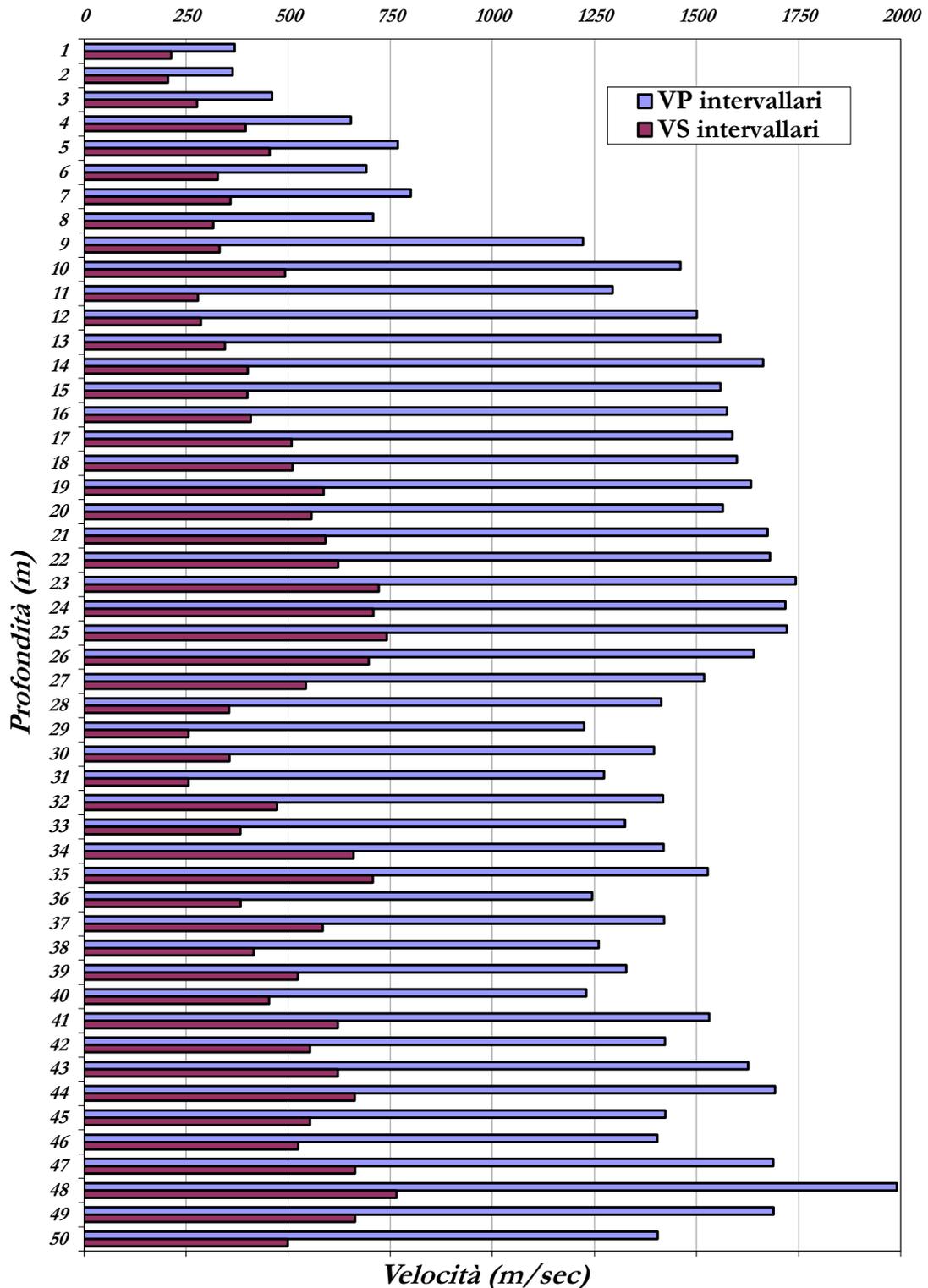


Figura 95: andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità puntuali metro per metro.

**BH 12**
*Velocità Intervallari*


**Figura 96:** andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità intervallari metro per metro.

### 8.9 DOWN-HOLE BH 22



Figura 97: ortofoto relativa all'ubicazione della prova down-hole BH 22.



Figura 98: foto relativa all'esecuzione della prova down-hole BH 22.

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 (in metri da piano campagna). I grafici relativi sono riportati nelle figure **Figura 99e** **Figura 100**.

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
m	ms	ms	m/s	m/s
0	0.0	0.0	0.0	0.0
1	13.14	30.00	240.66	105.41
2	15.42	34.35	233.82	104.97
3	18.11	36.44	234.27	116.43
4	18.81	39.79	265.82	125.66
5	19.60	44.01	297.50	132.49
6	20.26	47.75	331.11	140.49
7	21.02	51.52	362.31	147.82
8	21.51	55.29	397.21	154.53
9	21.95	58.22	432.20	162.95
10	22.31	60.62	467.97	172.23
11	22.62	63.25	504.06	180.26
12	22.97	66.18	538.50	186.90
13	23.35	69.53	571.38	191.88
14	23.90	73.72	599.07	194.22
15	24.48	79.17	624.88	193.22
16	24.99	84.61	651.41	192.40
17	25.55	90.06	675.64	191.68
18	26.08	92.99	699.70	196.24
19	26.65	97.18	721.78	197.94
20	27.15	100.11	744.89	202.02
21	27.65	102.62	767.20	206.72
22	28.16	105.14	788.48	211.18
23	28.65	107.65	809.59	215.47
24	29.14	109.75	830.02	220.38
25	29.62	111.84	850.08	225.14
26	30.10	113.93	869.52	229.72
27	30.60	116.50	887.78	233.19
28	31.15	119.38	904.02	235.89
29	31.75	122.73	918.26	237.55
30	32.30	125.24	933.42	240.73
31	32.91	128.60	946.36	242.18
32	33.51	131.53	959.13	244.36
33	34.05	133.80	973.16	247.65

depth	P-time	S <sub>H</sub> -time	P-punctual velocity	S <sub>H</sub> -punctual velocity
34	34.52	135.72	988.76	251.49
35	35.03	138.23	1002.81	254.13
36	35.60	141.16	1014.74	255.91
37	36.14	143.67	1027.16	258.38
38	36.65	145.77	1040.06	261.50
39	37.15	147.86	1052.90	264.54
40	37.70	150.80	1063.99	266.00
41	38.23	152.89	1075.32	268.88
42	38.80	155.40	1085.23	270.96
43	39.35	157.92	1095.41	272.95
44	39.90	160.43	1105.32	274.90
45	40.54	164.20	1112.37	274.66
46	41.00	166.29	1124.33	277.21
47	41.50	170.48	1134.83	276.25
48	42.05	175.09	1143.73	274.68
49	42.60	179.28	1152.39	273.83
50	43.10	181.47	1162.18	276.02

Nella seguente tabella sono riportate le velocità intervallari (in metri/secondo) per ciascun metro di indagine; il grafico relativo è riportato in **Figura 101**.

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
m	m/s	m/s
0	0.0	0.0
1	240.66	105.41
2	227.36	104.52
3	235.17	148.96
4	445.97	164.88
5	568.55	169.31
6	760.90	201.18
7	833.80	215.26
8	1219.49	226.49
9	1463.79	288.79
10	1833.16	353.22
11	2203.36	338.08
12	2168.18	314.20
13	2137.39	282.06
14	1619.58	230.72
15	1574.46	180.21

depth	P-interval velocity	S <sub>H</sub> -interval velocity
16	1794.17	180.89
17	1668.77	180.87
18	1773.26	329.47
19	1670.20	234.41
20	1902.08	332.05
21	1913.94	386.67
22	1887.95	386.51
23	1970.16	389.12
24	1977.75	463.67
25	2024.15	467.10
26	2030.06	468.22
27	1956.05	383.38
28	1786.07	343.27
29	1642.75	296.04
30	1791.35	393.71
31	1620.04	295.55
32	1648.17	338.55
33	1829.96	435.78
34	2099.79	514.34
35	1939.41	395.22
36	1739.11	339.28
37	1835.67	395.62
38	1943.52	472.19
39	1983.12	474.69
40	1805.58	338.62
41	1873.87	475.13
42	1744.20	396.40
43	1807.72	394.95
44	1808.32	396.62
45	1546.50	264.70
46	2179.21	475.93
47	1989.52	238.31
48	1810.30	216.67
49	1810.70	238.33
50	1991.05	454.69

Il carotaggio sismico down-hole ha permesso di definire i parametri meccanici dei litotipi in merito al comportamento registrato per le onde di volume P e per le onde polarizzate S<sub>H</sub>. La seguente tabella mostra i valori dei moduli elasto-dinamici calcolati metro per metro.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	158 di 163

Profondità (m da p.c.)	VP (m/s)	VS (m/s)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
1	240.66	105.41	1.45	0.38	16.05	44.33	51.55	62.24
2	227.36	104.52	1.43	0.37	15.61	42.64	42.63	53.04
3	235.17	148.96	1.44	0.16	31.90	74.33	15.71	36.98
4	445.97	164.88	1.63	0.42	44.14	125.43	234.65	264.08
5	568.55	169.31	1.70	0.45	48.74	141.48	452.14	484.64
6	760.90	201.18	1.80	0.46	72.74	212.74	895.01	943.50
7	833.80	215.26	1.83	0.46	84.74	248.16	1101.83	1158.32
8	1219.49	226.49	1.97	0.48	100.83	298.88	2721.56	2788.78
9	1463.79	288.79	2.04	0.48	169.72	502.29	4020.95	4134.10
10	1833.16	353.22	2.13	0.48	264.99	784.75	6607.36	6784.02
11	2203.36	338.08	2.20	0.49	251.39	748.11	10175.03	10342.63
12	2168.18	314.20	2.19	0.49	216.47	644.75	9875.14	10019.45
13	2137.39	282.06	2.19	0.49	173.97	518.83	9642.18	9758.16
14	1619.58	230.72	2.08	0.49	110.43	329.01	5220.65	5294.27
15	1574.46	180.21	2.07	0.49	67.01	200.15	4980.99	5025.67
16	1794.17	180.89	2.12	0.49	69.21	206.93	6670.65	6716.79
17	1668.77	180.87	2.09	0.49	68.25	203.95	5673.48	5718.98
18	1773.26	329.47	2.11	0.48	229.10	679.12	6178.28	6331.01
19	1670.20	234.41	2.09	0.49	114.66	341.67	5591.61	5668.05
20	1902.08	332.05	2.14	0.48	235.82	700.05	7266.57	7423.78
21	1913.94	386.67	2.14	0.48	320.16	946.86	7203.93	7417.38
22	1887.95	386.51	2.14	0.48	319.07	943.25	6974.73	7187.44
23	1970.16	389.12	2.16	0.48	326.02	964.84	7705.58	7922.93
24	1977.75	463.67	2.16	0.47	463.25	1362.81	7501.83	7810.67
25	2024.15	467.10	2.17	0.47	472.22	1390.09	7923.01	8237.82
26	2030.06	468.22	2.17	0.47	474.74	1397.56	7974.73	8291.23
27	1956.05	383.38	2.15	0.48	316.05	935.51	7595.10	7805.79
28	1786.07	343.27	2.12	0.48	249.03	737.55	6243.89	6409.91
29	1642.75	296.04	2.08	0.48	182.30	540.79	5248.85	5370.39
30	1791.35	393.71	2.12	0.47	327.78	966.71	6130.14	6348.66
31	1620.04	295.55	2.08	0.48	164.45	487.69	4612.31	4721.94
32	1648.17	338.55	2.08	0.48	198.16	585.77	4300.23	4432.34
33	1829.96	435.78	2.13	0.47	308.78	907.76	4827.39	5033.24
34	2099.79	514.34	2.18	0.47	409.56	1202.54	6006.88	6279.92
35	1939.41	395.22	2.15	0.48	222.11	656.71	4904.35	5052.42
36	1739.11	339.28	2.10	0.48	150.19	444.63	3645.84	3745.97
37	1835.67	395.62	2.13	0.48	194.05	572.69	3789.64	3919.01
38	1943.52	472.19	2.15	0.47	263.76	774.72	3940.81	4116.64
39	1983.12	474.69	2.16	0.47	253.35	744.66	3915.10	4084.00
40	1805.58	338.62	2.12	0.48	120.25	356.37	3178.51	3258.68
41	1873.87	475.13	2.13	0.47	226.97	665.31	3076.47	3227.78
42	1744.20	396.40	2.11	0.47	148.70	437.99	2581.57	2680.70
43	1807.72	394.95	2.12	0.47	142.10	419.19	2692.86	2787.60
44	1808.32	396.62	2.12	0.47	137.30	404.95	2579.52	2671.05
45	1546.50	264.70	2.06	0.48	56.97	169.19	1830.73	1868.71
46	2179.21	475.93	2.20	0.47	188.96	557.41	3583.78	3709.75
47	1989.52	238.31	2.16	0.49	44.83	133.83	3034.70	3064.59

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSR

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	159 di 163

Profondità (m da p.c.)	VP (m/s)	VS (m/s)	$\gamma$ (t/mc)	Coefficiente di Poisson	Mod. di taglio Go (MPa)	Mod. di elasticità Ed (MPa)	Mod. di Lamè $\lambda$ (MPa)	Mod. di Bulk k (MPa)
48	1810.30	216.67	2.12	0.49	35.09	104.76	2379.28	2402.67
49	1810.70	238.33	2.12	0.49	40.98	122.22	2283.63	2310.95
50	1991.05	454.69	2.16	0.47	146.79	432.29	2521.08	2618.94

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

*valore  $V_{seq} = 240.73$  m/s*

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

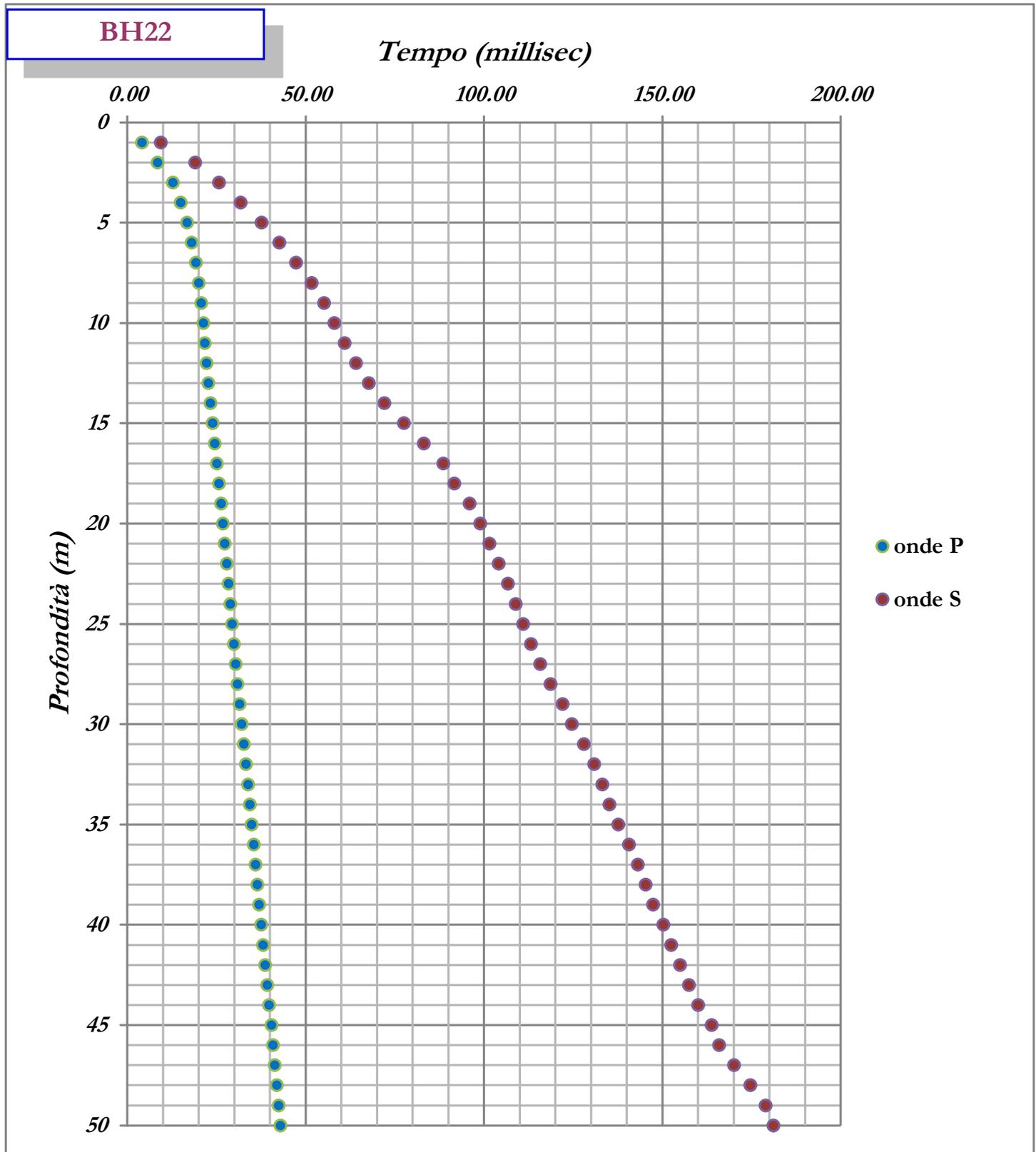
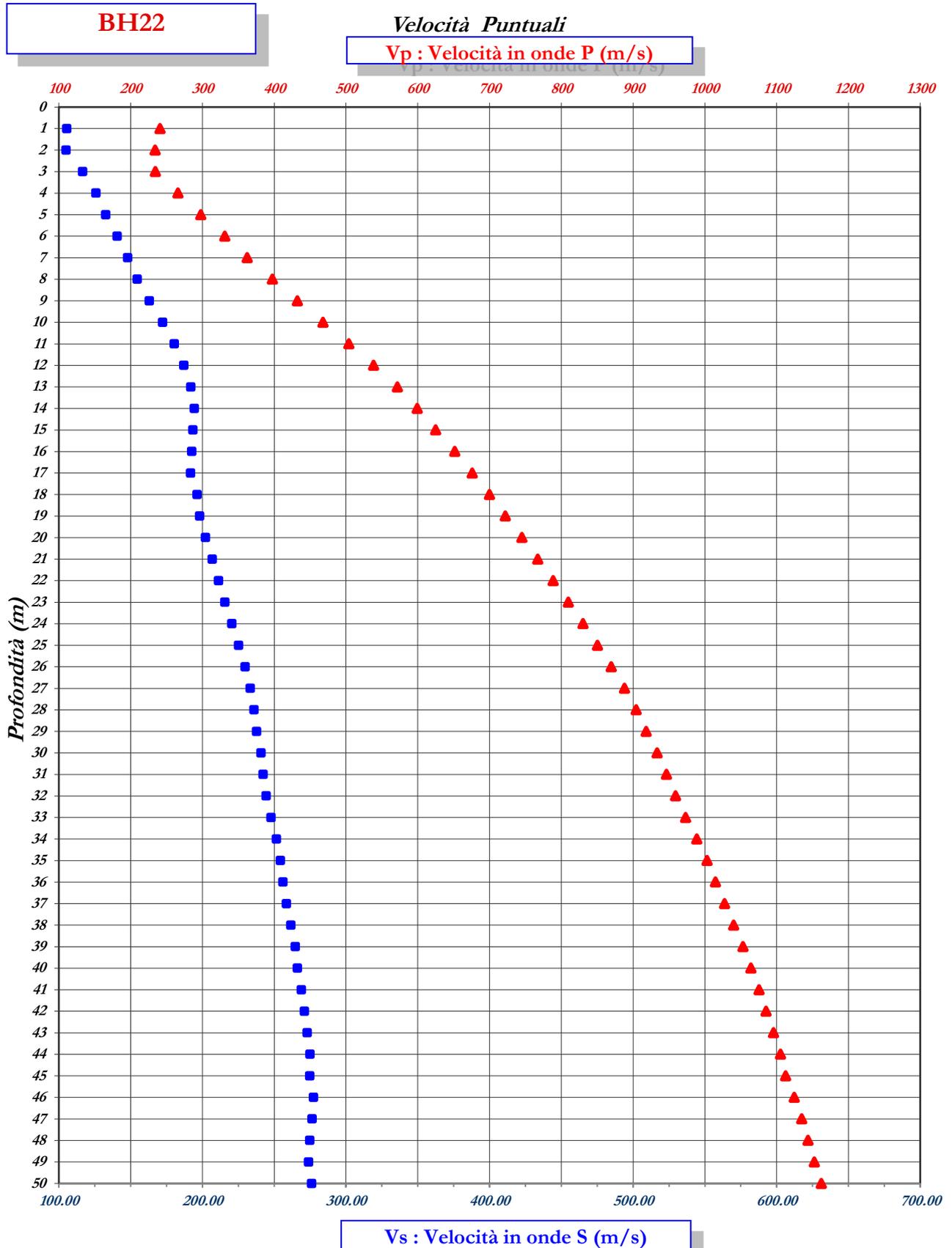


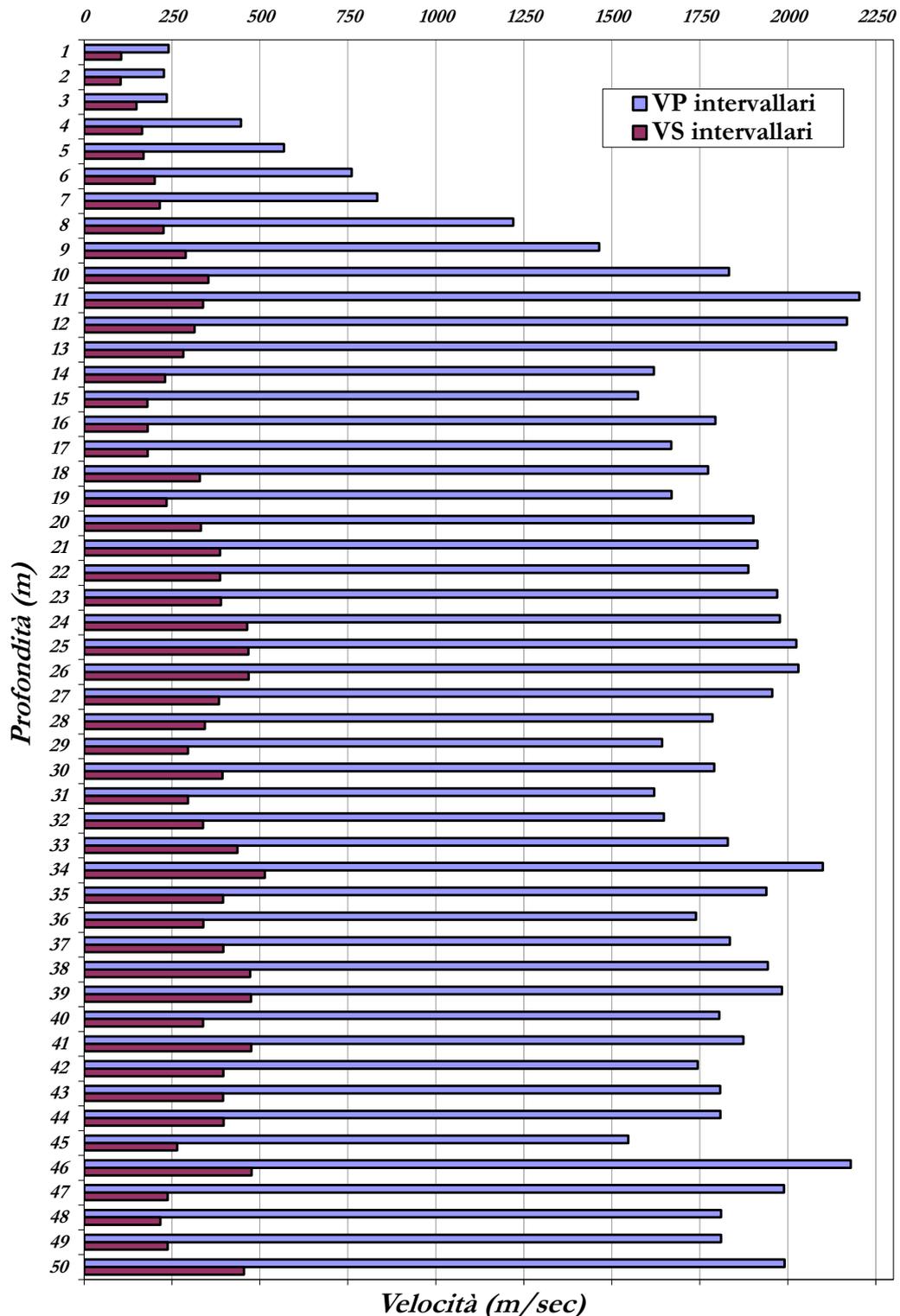
Figura 99: andamento dei tempi-profondità per la prova down-hole BH 22 metro per metro.



**Figura 100:** andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità puntuali metro per metro.

**BH 22**

*Velocità Intervallari*



**Figura 101:** andamento delle Vp e Vs, in metri al secondo, che rappresentano rispettivamente le velocità intervallari metro per metro.

Indagini geofisiche – Prove Down-Hole, MASW ed HVSr

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
NN1X	10 D 69	IG	GE0005 001	A	163 di 163

**ALLEGATO: Ubicazione prove geofisiche**

Tecnica Geofisica utilizzata	Codice Sito	Luogo	Coordinate (WGS84 gradi decimali)		Coordinate (UTM-WGS84, fuso 33N)	
			Latitudine	Longitudine	X (est)	Y (nord)
MASW	MASW BH1	Stadio Arechi (SA)	40.647679	14.824916	485197.04	4499662.02
MASW	MASW BH3	Stadio Arechi (SA)	40.644946	14.834716	486025.03	4499357.05
MASW	MASW BH15	Sant'Antonio (SA)	40.633691	14.893798	491018.98	4498100
MASW	MASW BH20	Pagliarone (SA)	40.628407	14.909415	492339	4497512
MASW	MASW BH26	Salerno - Mercatello	40.660132	14.804122	483442.03	4501048.05
HVSr	HVSr BH1	Stadio Arechi (SA)	40.647679	14.824916	485197.04	4499662.02
HVSr	HVSr BH3	Stadio Arechi (SA)	40.644946	14.834716	486025.03	4499357.05
HVSr	HVSr BH6	Fuorni (SA)	40.643827	14.842904	486717.12	4499231.53
HVSr	HVSr BH8	Fuorni (SA)	40.643578	14.845642	486948.59	4499203.54
HVSr	HVSr BH12	Pontecagnano (SA)	40.642531	14.866462	488708.78	4499084.43
HVSr	HVSr BH13	Pontecagnano (SA)	40.640468	14.873431	489297.73	4498854.56
HVSr	HVSr BH15	Sant'Antonio (SA)	40.633691	14.893798	491018.98	4498100
HVSr	HVSr BH16	Sant'Antonio (SA)	40.635298	14.893669	491008.28	4498278.37
HVSr	HVSr BH19	Sant'Antonio (SA)	40.631087	14.901949	491707.98	4497810.15
HVSr	HVSr BH20	Pagliarone (SA)	40.628407	14.909415	492339	4497512
HVSr	HVSr BH22	Pagliarone (SA)	40.627424	14.913563	492689.7	4497402.5
HVSr	HVSr BH23	Pagliarone (SA)	40.625933	14.918242	493085.27	4497236.59
HVSr	HVSr BH24	Montecorvino Pugliano (SA)	40.624245	14.922822	493472.48	4497048.93
HVSr	HVSr BH26	Salerno - Mercatello	40.660132	14.804122	483442.03	4501048.05
Down-hole	DH BH6	Fuorni (SA)	40.643827	14.842904	486717.12	4499231.53
Down-hole	DH BH8	Fuorni (SA)	40.643498	14.845733	486956.25	4499194.66
Down-hole	DH BH12	Pontecagnano (SA)	40.64264	14.86675	488733.2	4499096.45
Down-hole	DH BH13	Pontecagnano (SA)	40.640468	14.873431	489297.73	4498854.56
Down-hole	DH BH16	Sant'Antonio (SA)	40.635298	14.893669	491008.28	4498278.37
Down-hole	DH BH19	Sant'Antonio (SA)	40.631087	14.901949	491707.98	4497810.15
Down-hole	DH BH22	Pagliarone (SA)	40.627174	14.913136	492653.58	4497374.83
Down-hole	DH BH23	Pagliarone (SA)	40.625933	14.918242	493085.27	4497236.59
Down-hole	DH BH24	Montecorvino Pugliano (SA)	40.624245	14.922822	493472.48	4497048.93

Tabella riassuntiva riportante le ubicazioni delle prove eseguite