

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA**

**QUADRUPPLICAMENTO CIAMPINO – CAPANNELLE E PRG CIAMPINO  
2^ FASE LATO ROMA**

**QUADRUPPLICAMENTO LINEA**

**INDAGINI PROPEDEUTICHE FINALIZZATE ALLE ATTIVITA' DI  
PROGETTAZIONE DEFINITIVA**

**INDAGINI GEOFISICHE**

SCALA:

-

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

NR45 11 R 69 IG GE0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	T. VICENZETTO	Febbraio 2021	F. Mancini	Febbraio 2021	T. Paoletti	Febbraio 2021	M. Comedini Febbraio 2021

File: NR4511R69IGGE0001001A

n. Elab.:

## 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
	ALLEGATO: UBICAZIONE PROVE GEOFISICHE .....	54

## 1 PREMESSA

La presente relazione illustra e riassume i risultati delle indagini geofisiche a supporto del progetto definitivo Quadruplicamento Ciampino – Capannelle (RM).



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 e HVSR. Di seguito si riporta una breve descrizione dei principi base delle tecniche d'indagine ed i relativi risultati.



**Figura 2:** Strumentazione impiegata per le prove di superficie mediante metodologia MASW (a sinistra) e HVSR (a destra).



### 3. INDAGINE SISMICA CON METODO MASW ATTIVO

Lo scopo della prova MASW è quello di ricostruire il profilo di rigidezza 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 e Rifrazione)
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

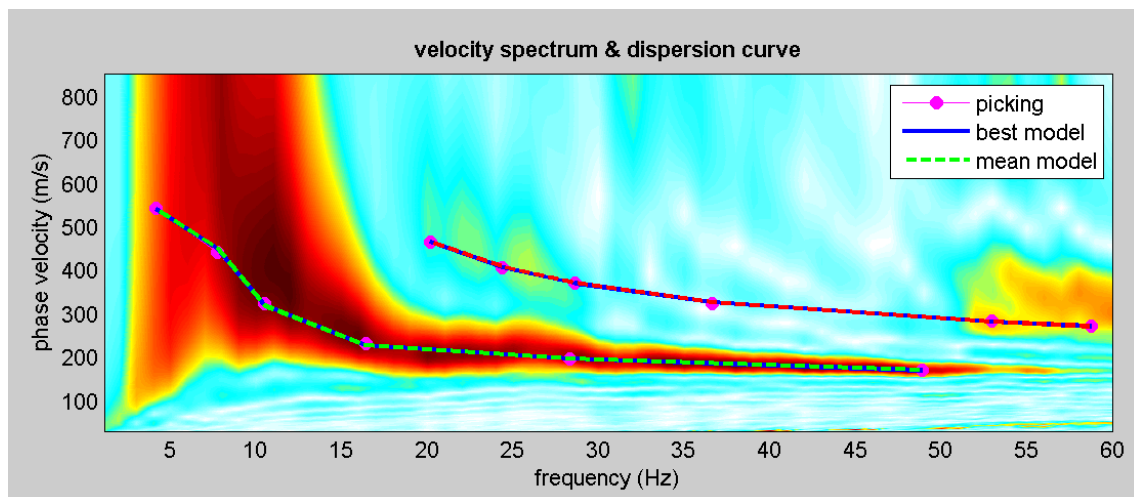
#### 4. RISULTATI PROSPEZIONI MASW

##### MASW1

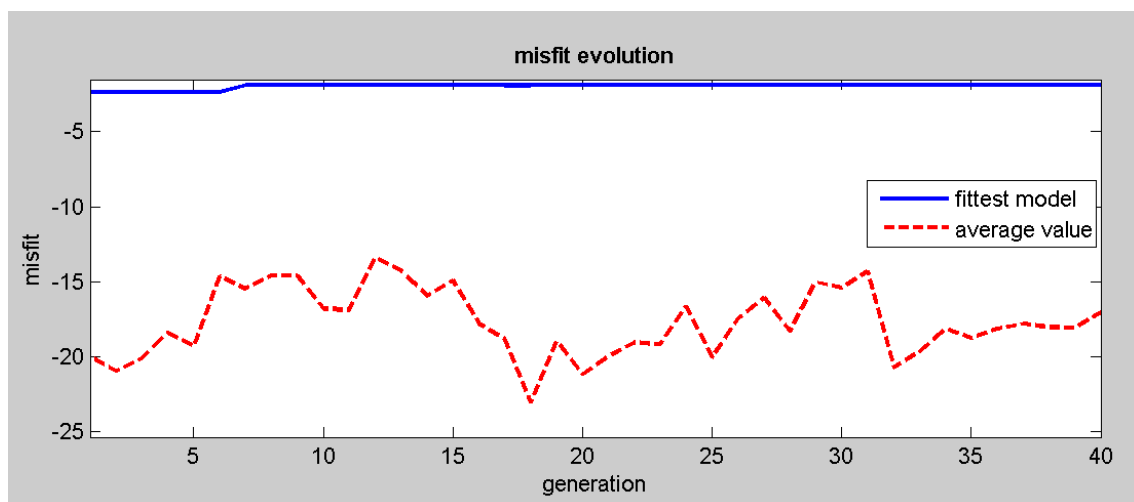
L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

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.

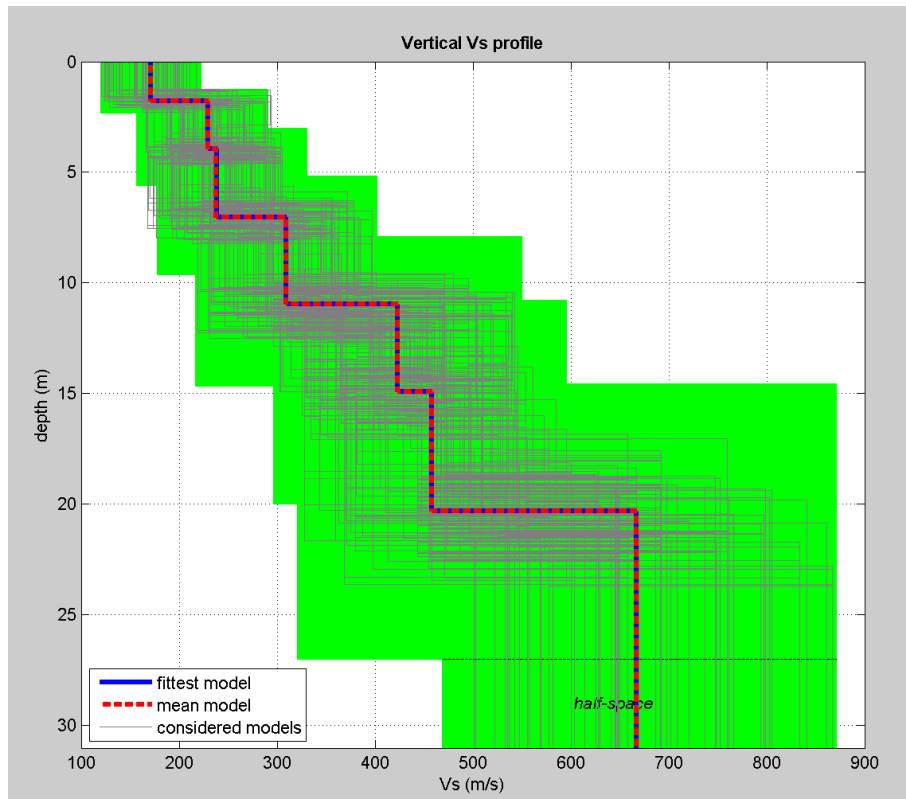
L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.



**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:

**$V_{s,eq} = 369$  m/s**

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

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle 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 MASW1.



**Figura 7:** Foto relativa all'esecuzione della prova MASW1.

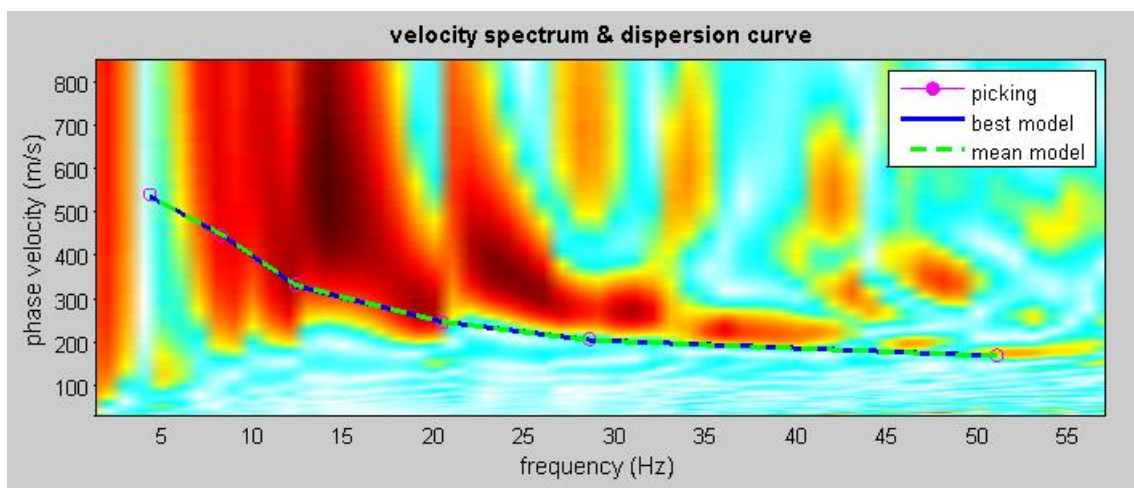


## MASW2

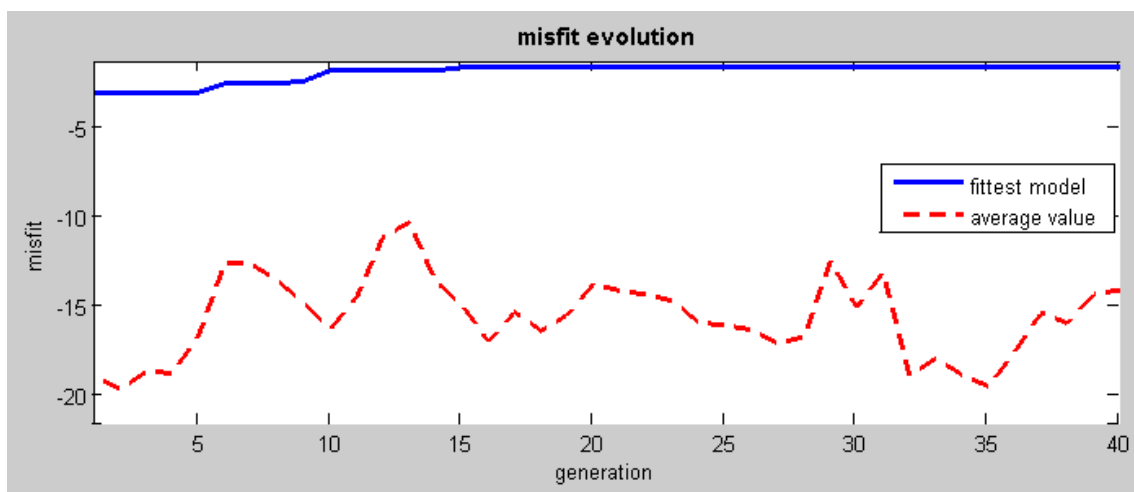
L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

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.

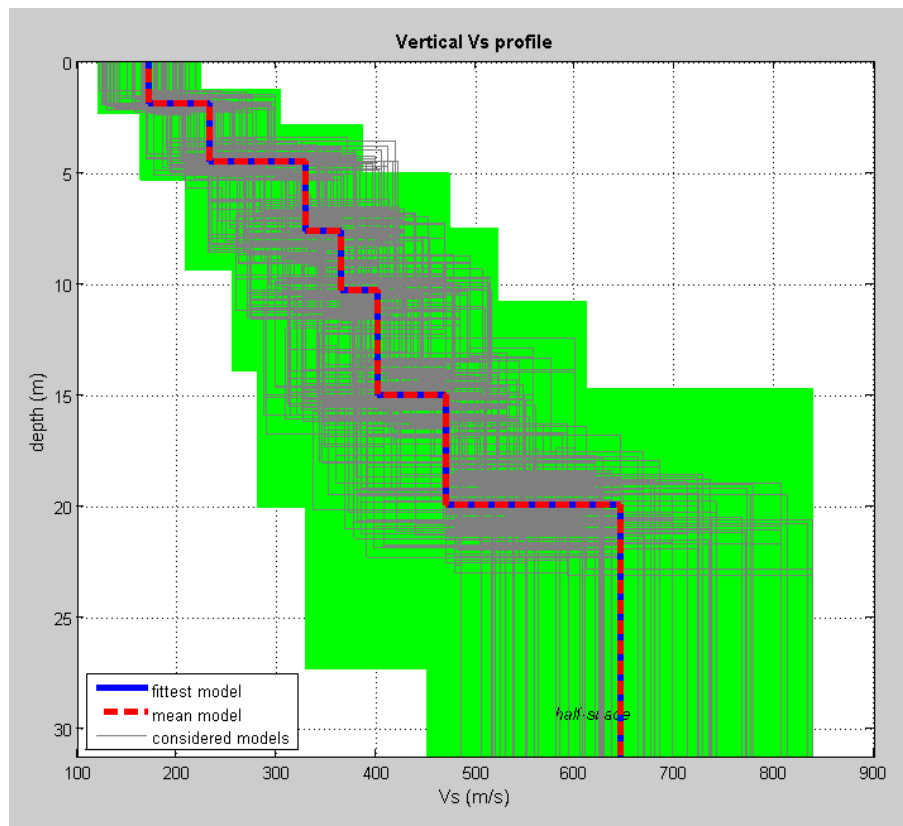
L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.



**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:

**$V_{s,eq} = 390 \text{ m/s}$**

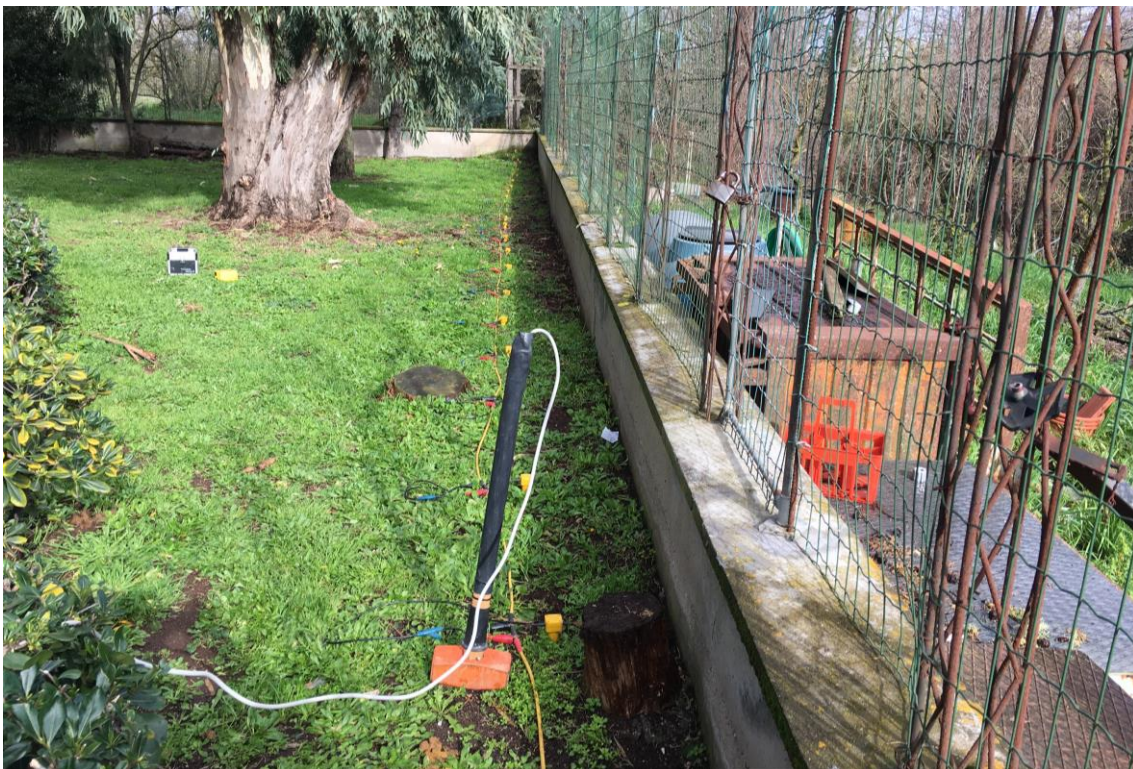
Si tratta quindi di un suolo di **tipo B** ( $S_s = 1.2$  secondo le NTC 2018).

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle 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 MASW2.



**Figura 12:** Foto relativa all'esecuzione della prova MASW2.



### MASW3

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.

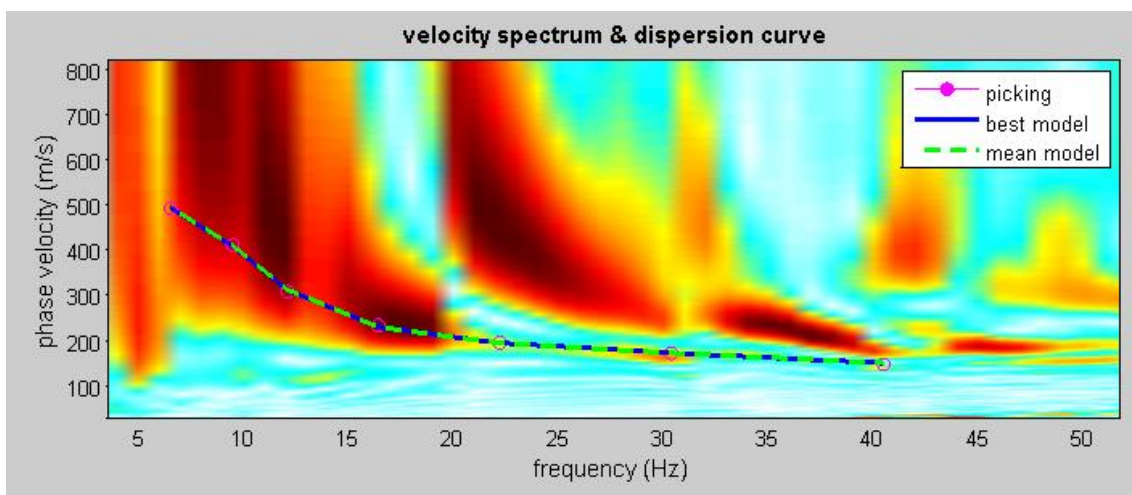


Figura 13: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

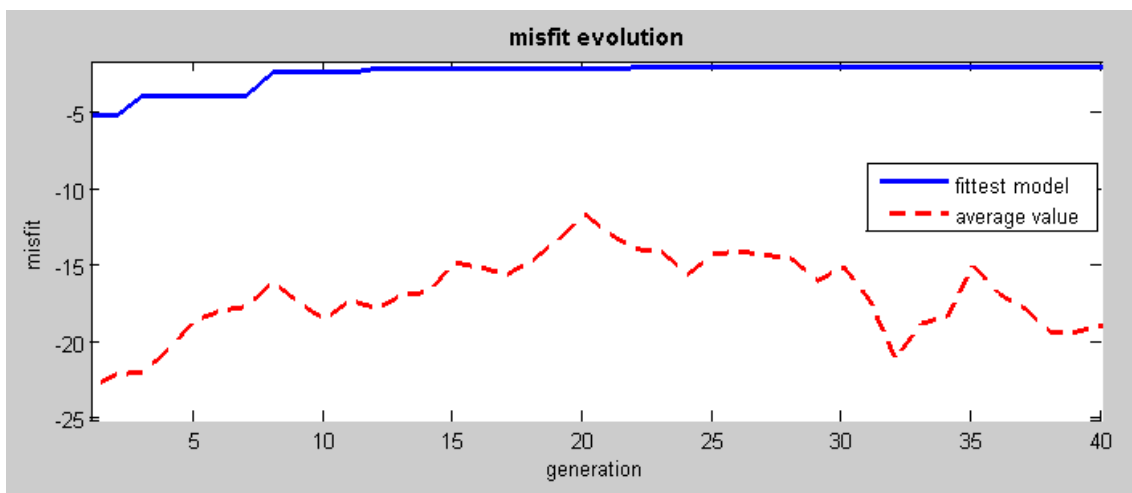
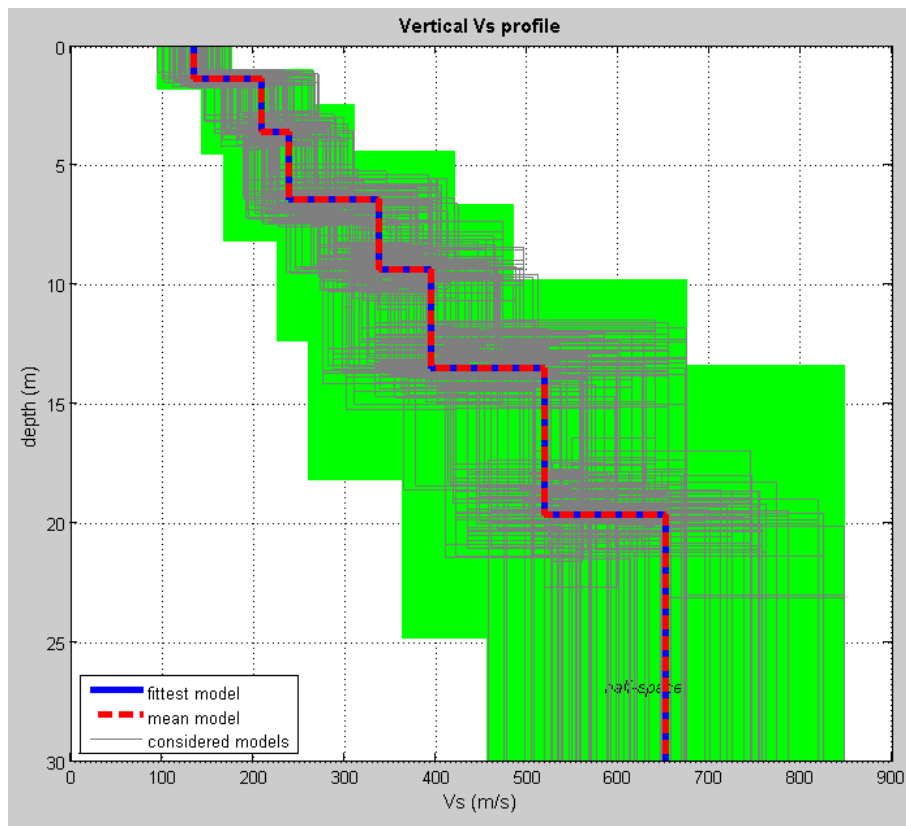


Figura 14: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.



**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:

**$V_{s,eq} = 376 \text{ m/s}$**

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

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle 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 MASW3.



**Figura 17:** Foto relativa all'esecuzione della prova MASW3.

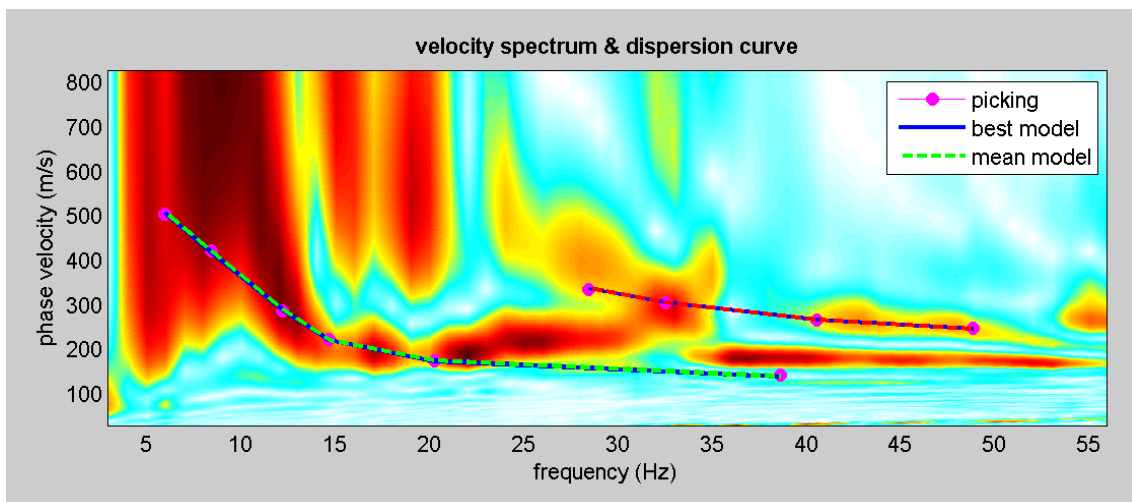


## MASW4

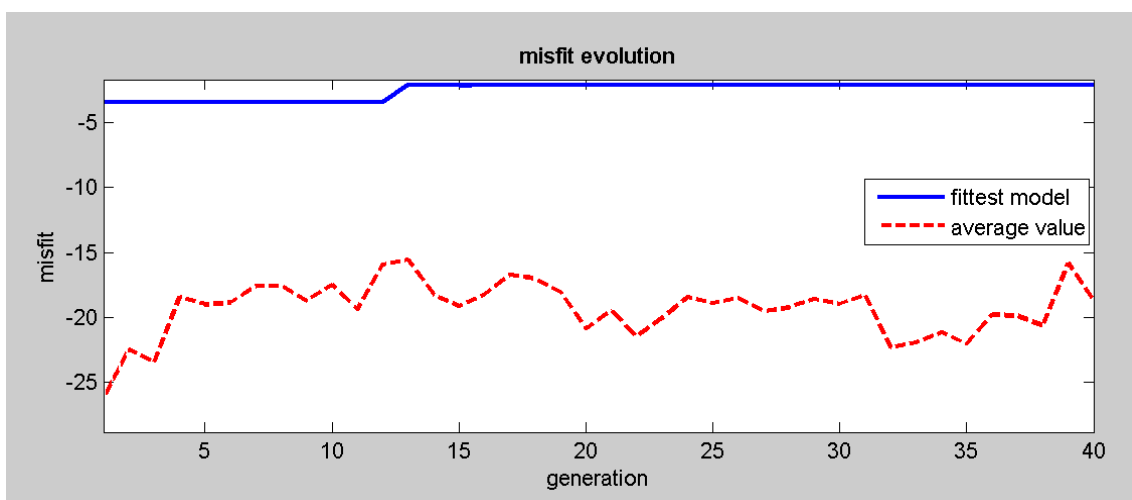
L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

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.

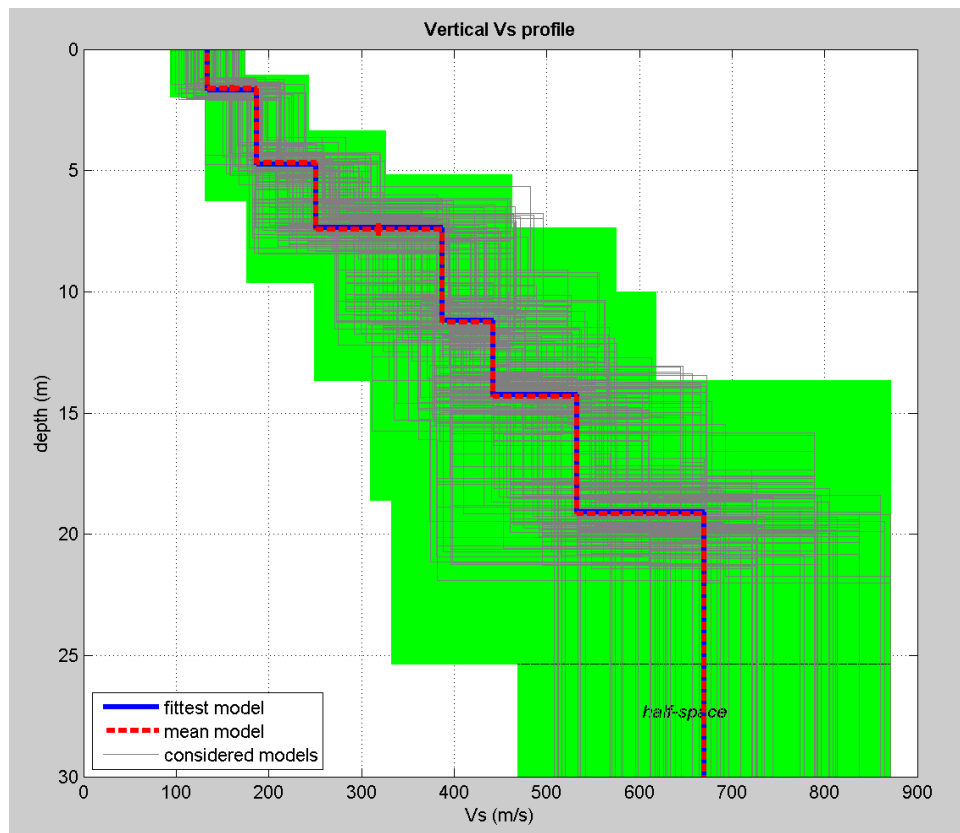
L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.



**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:

**$V_{s,eq} = 368$  m/s**

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

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle 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 MASW4.



**Figura 22:** Foto relativa all'esecuzione della prova MASW4.

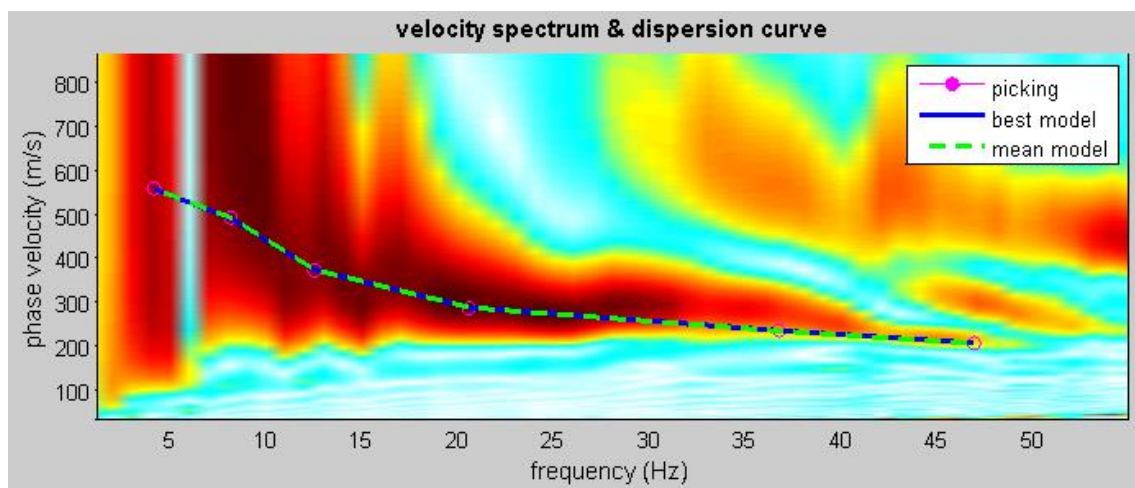


## MASW5

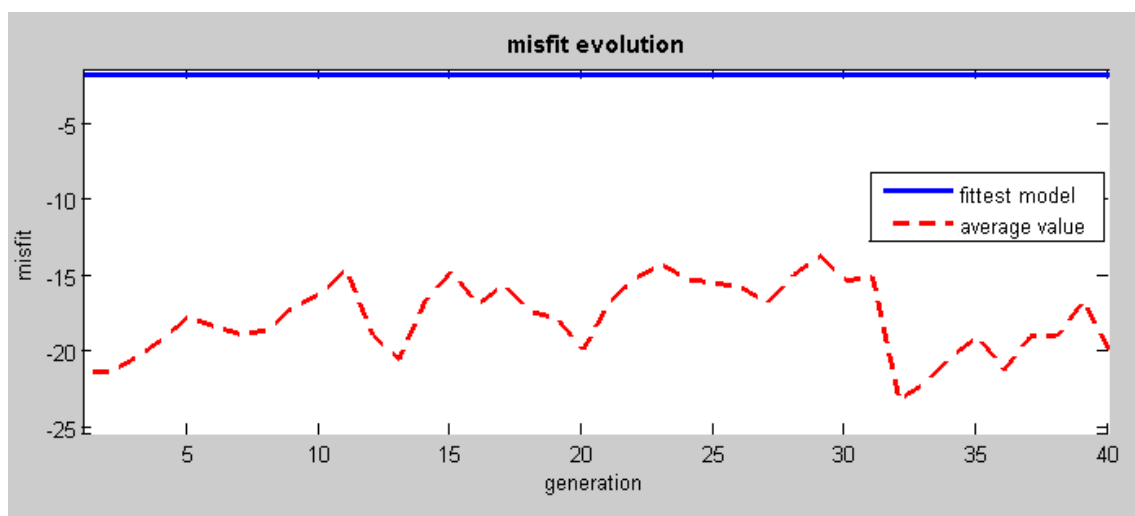
L'indagine di sismica superficiale eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs fino a 30 m di profondità.

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.

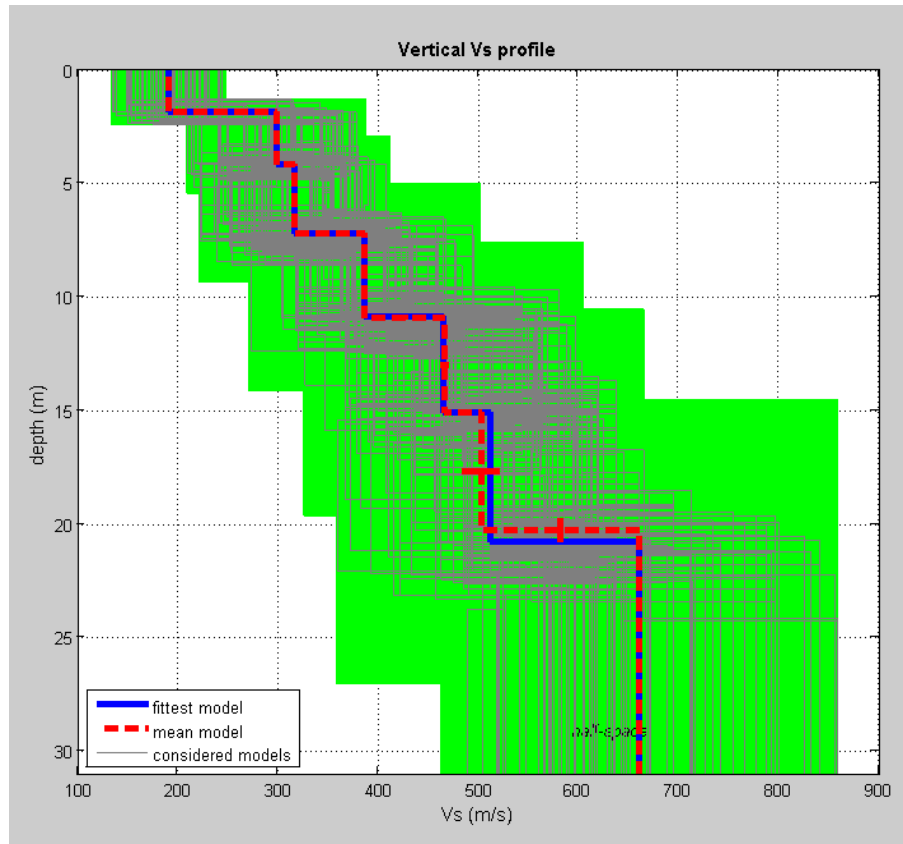
L'inversione della curva di dispersione con il metodo phase shift utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.



**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:

**$V_{s,eq} = 424 \text{ m/s}$**

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

In allegato, vengono inoltre fornite tabelle 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 26: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW5.



Figura 27: Foto relativa all'esecuzione della prova MASW5.



## CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW1

**Data: marzo 2020**

**Località** Capannelle (RM)

**Coordinate** LAT 41.835204 LONG 12.565149 (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>
<b>A</b>	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>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s	1.2	1.42	1.2
<b>C</b>	Depositati 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.			
<b>D</b>	Depositati 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.			
<b>E</b>	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

St

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

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

**SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)**  
 Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

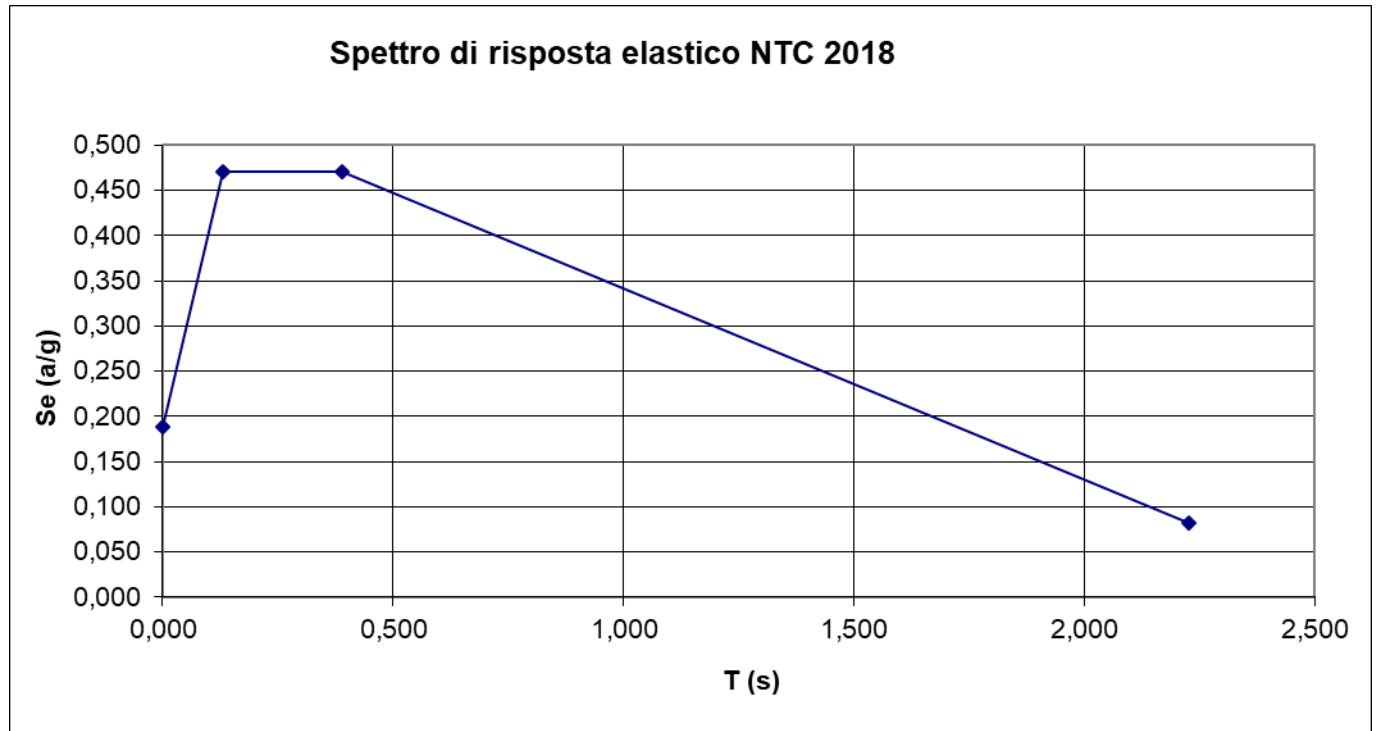
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

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

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

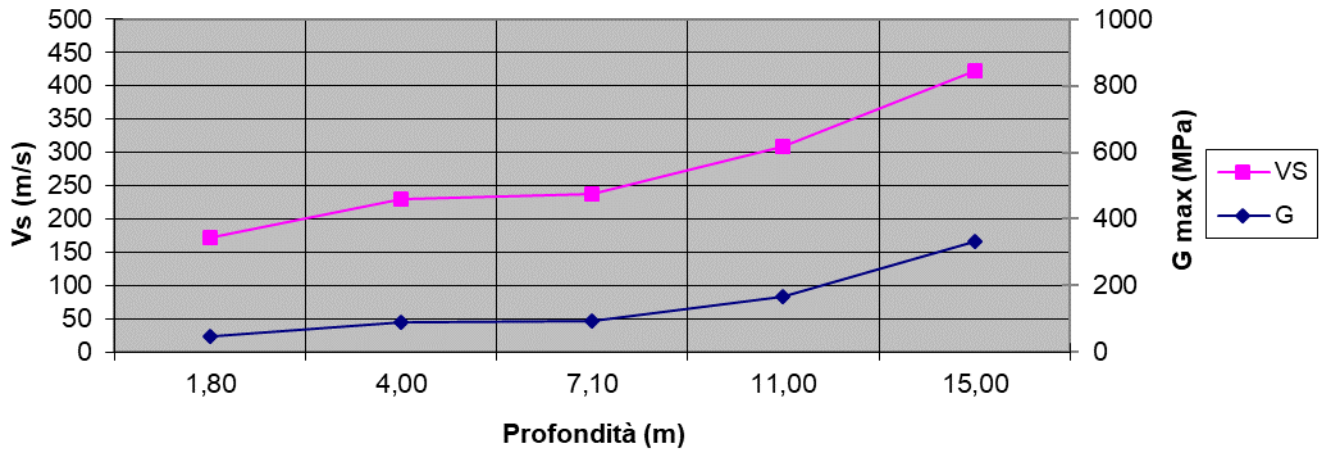
Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,188
0,130	0,471
0,391	0,471
2,228	0,083



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1,80	1,56	171	46
4,00	1,65	230	88
7,10	1,67	238	94
11,00	1,74	309	166
15,00	1,85	423	331
20,40	1,88	458	394
30,00	1,98	667	880

$$V_{s,eq} = 368,65 \text{ m/s}$$

### Andamento G - Vs con profondità





## CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW2

**Data: marzo 2020**

**Località** Capannelle (RM)

**Coordinate** LAT 41.833656 LONG 12.56624 (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

$\pm$   
 (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>
<b>A</b>	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>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s	1.2	1.42	1.2
<b>C</b>	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.			
<b>D</b>	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.			
<b>E</b>	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

St

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

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

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

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

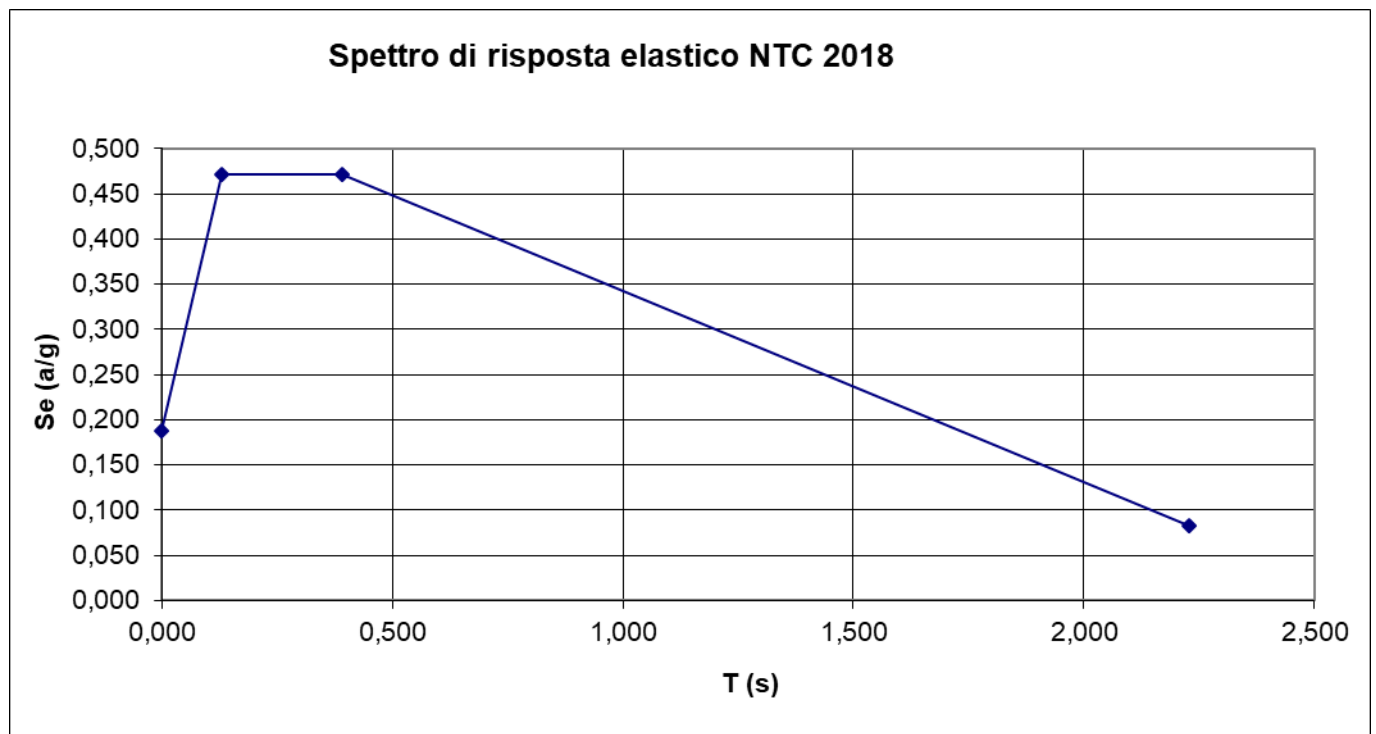
Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,188
0,130	0,471
0,391	0,471
2,228	0,083

$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

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

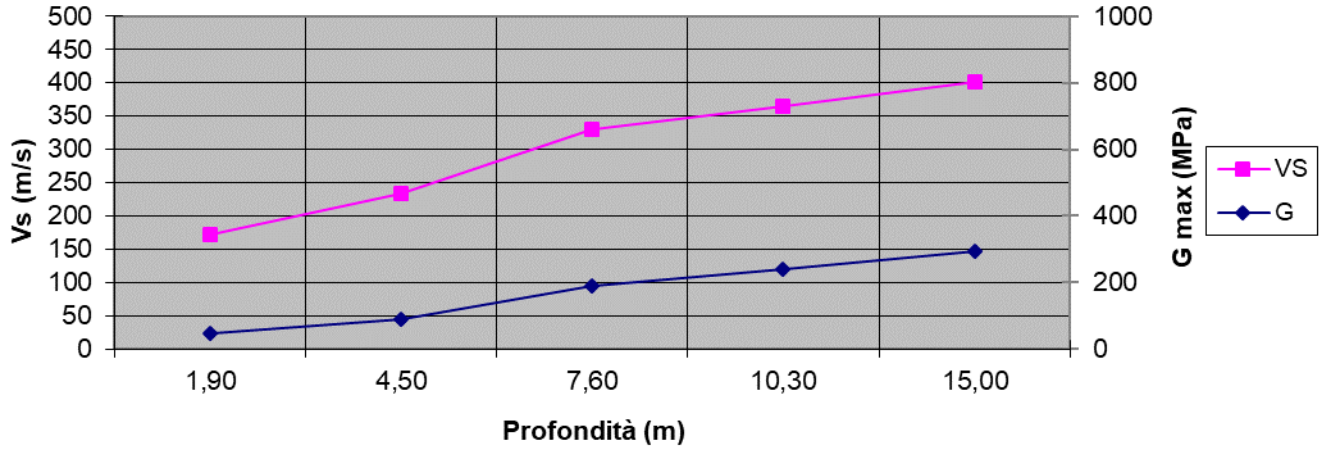
$$T_d = 4.0 \cdot a_g / g + 1.6$$



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1,90	1,57	172	47
4,50	1,65	233	90
7,60	1,77	329	191
10,30	1,80	364	238
15,00	1,83	401	295
20,00	1,89	469	415
30,00	1,97	644	818

$$V_{s,eq} = 389,84 \text{ m/s}$$

### Andamento G - Vs con profondità





## CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW3

**Data: marzo 2020**

**Località** Capannelle (RM)

**Coordinate** LAT 41.830642

LONG 12.569081 (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

$\pm$   
 (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>
<b>A</b>	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>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s	1.2	1.42	1.2
<b>C</b>	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.			
<b>D</b>	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.			
<b>E</b>	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

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

#### Categorie topografiche

St

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

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

**SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)**  
 Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

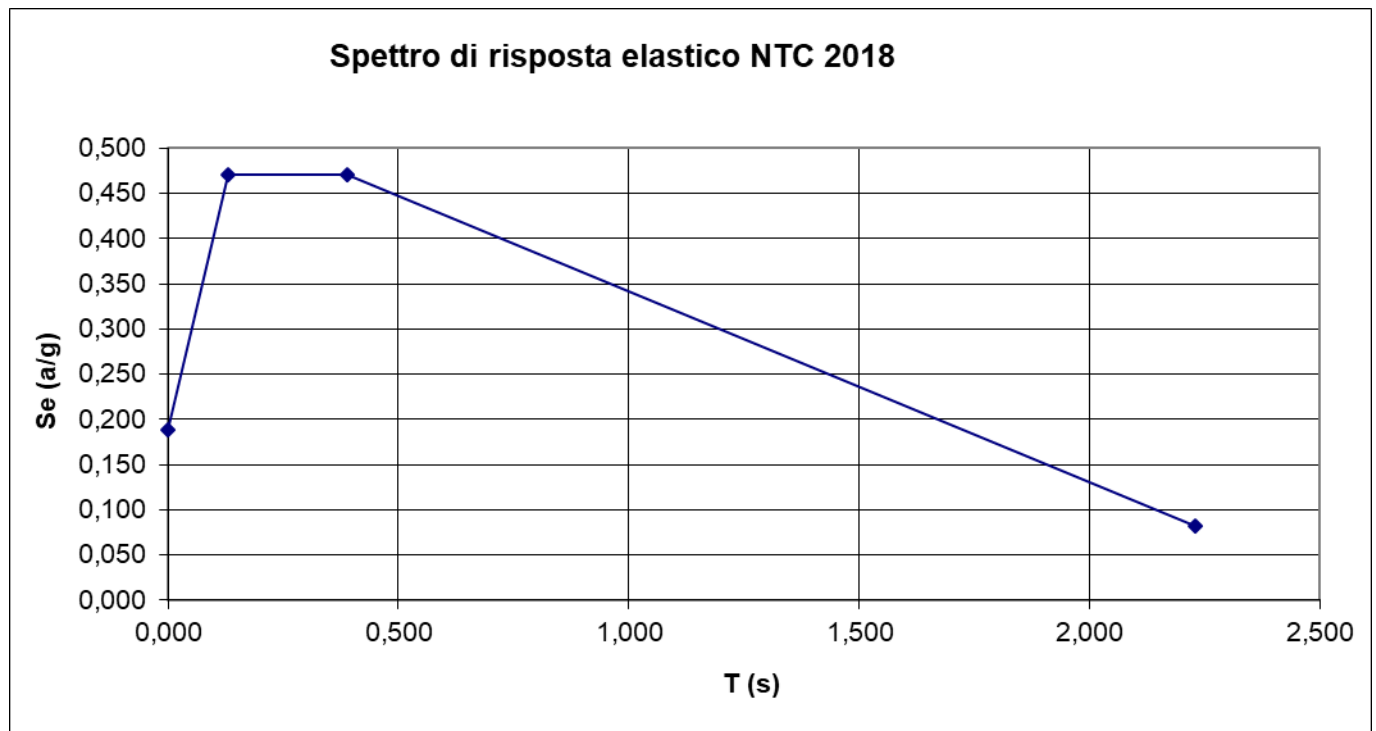
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

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

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

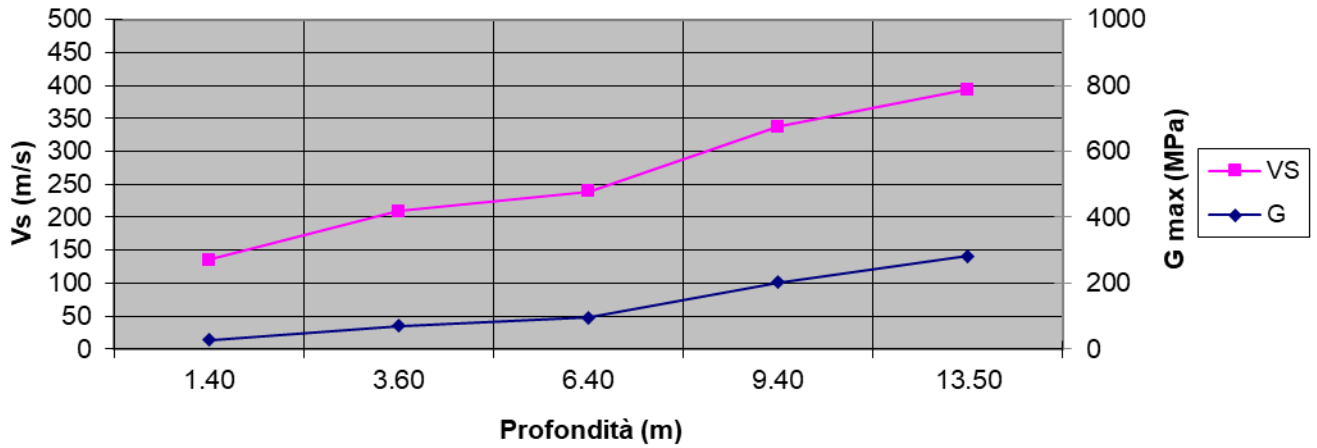
Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,188
0,130	0,471
0,391	0,471
2,228	0,083



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1,40	1,48	135	27
3,60	1,61	209	70
6,40	1,67	239	95
9,40	1,78	337	202
13,50	1,82	394	283
19,60	1,92	518	516
30,00	1,97	651	834

$$V_{s,eq} = 376,54 \text{ m/s}$$

**Andamento G - Vs con profondità**





## CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW4

**Data: marzo 2020**

**Località** Capannelle (RM)

**Coordinate** LAT 41.821662                      LONG 12.577537 (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

$\pm$   
 (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>
<b>A</b>	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>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s	1.19	1.42	1.2
<b>C</b>	Depositati 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.			
<b>D</b>	Depositati 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.			
<b>E</b>	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

St

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

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

**SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)**  
 Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

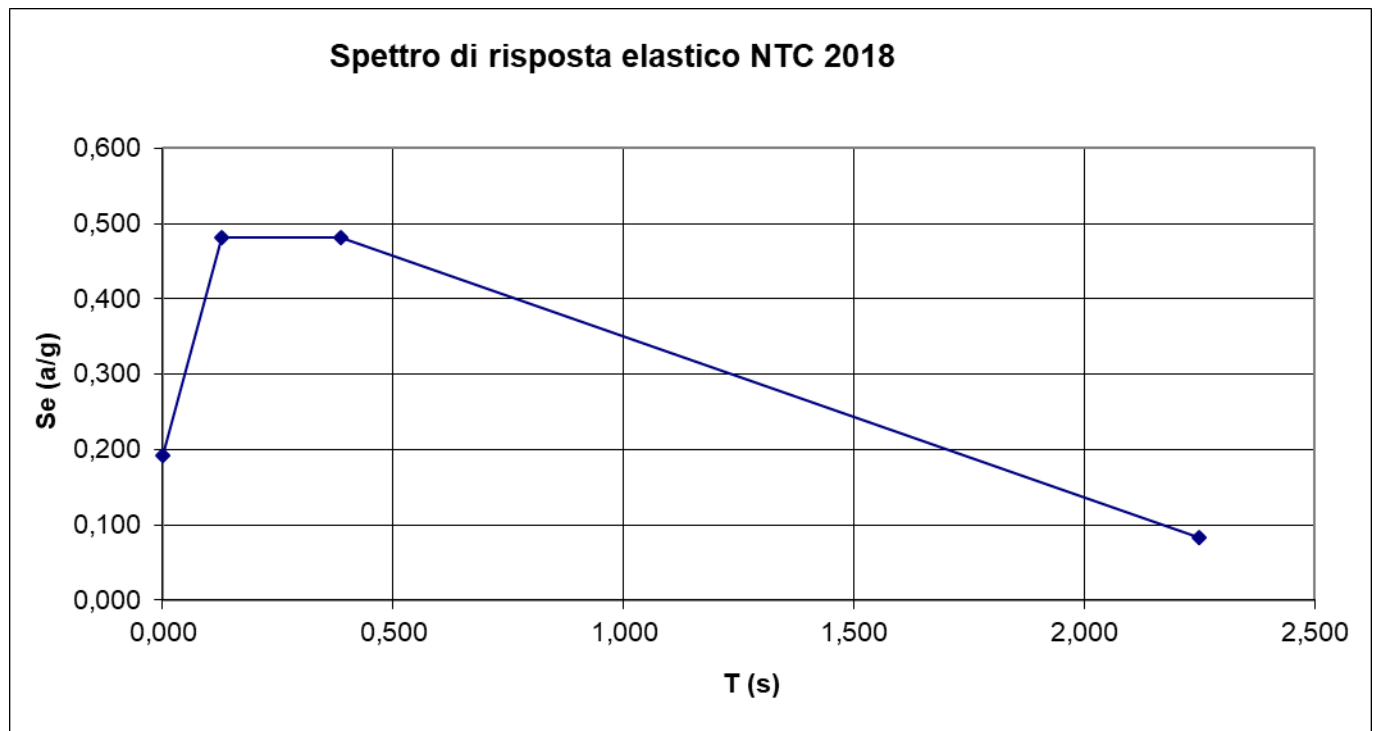
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

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

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

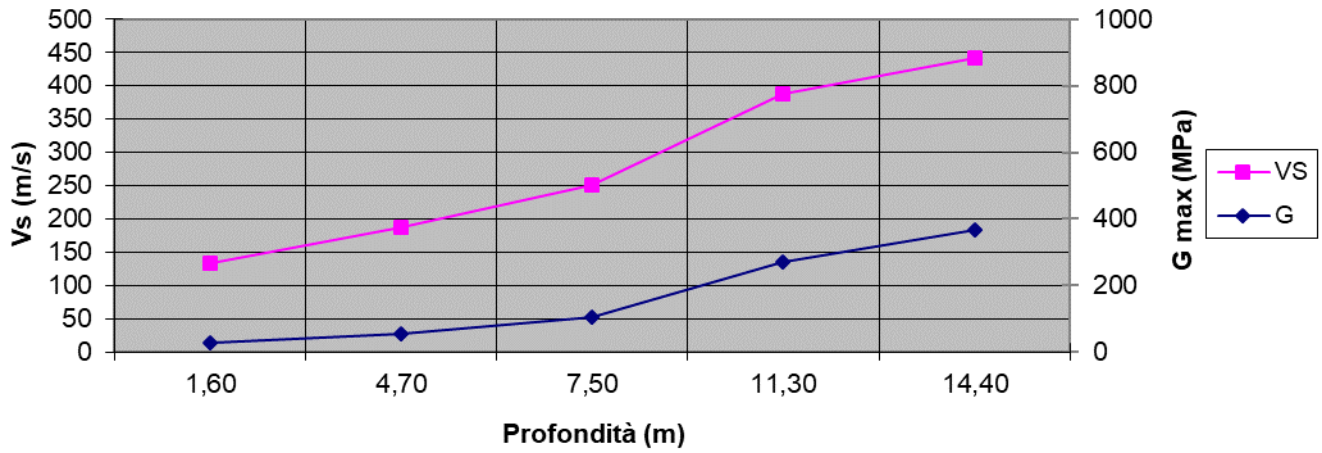
Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,193
0,129	0,482
0,388	0,482
2,248	0,083



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
<b>1,60</b>	1,49	134	27
<b>4,70</b>	1,59	187	56
<b>7,50</b>	1,67	251	105
<b>11,30</b>	1,81	387	272
<b>14,40</b>	1,87	442	365
<b>19,20</b>	1,94	533	550
<b>30,00</b>	1,98	670	889

$$V_{s,eq} = 367,51 \text{ m/s}$$

### Andamento G - Vs con profondità



## CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW5

**Data: marzo 2020**

**Località** Capannelle (RM)

**Coordinate** LAT 41.818582

LONG 12.580311 (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

$\pm$   
 (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>
<b>A</b>	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>B</b>	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s	1.19	1.42	1.2
<b>C</b>	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.			
<b>D</b>	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.			
<b>E</b>	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

St

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

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



**SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO @ 5% SMORZAMENTO – COMP. ORIZZONTALE (NTC 2018)**  
 Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

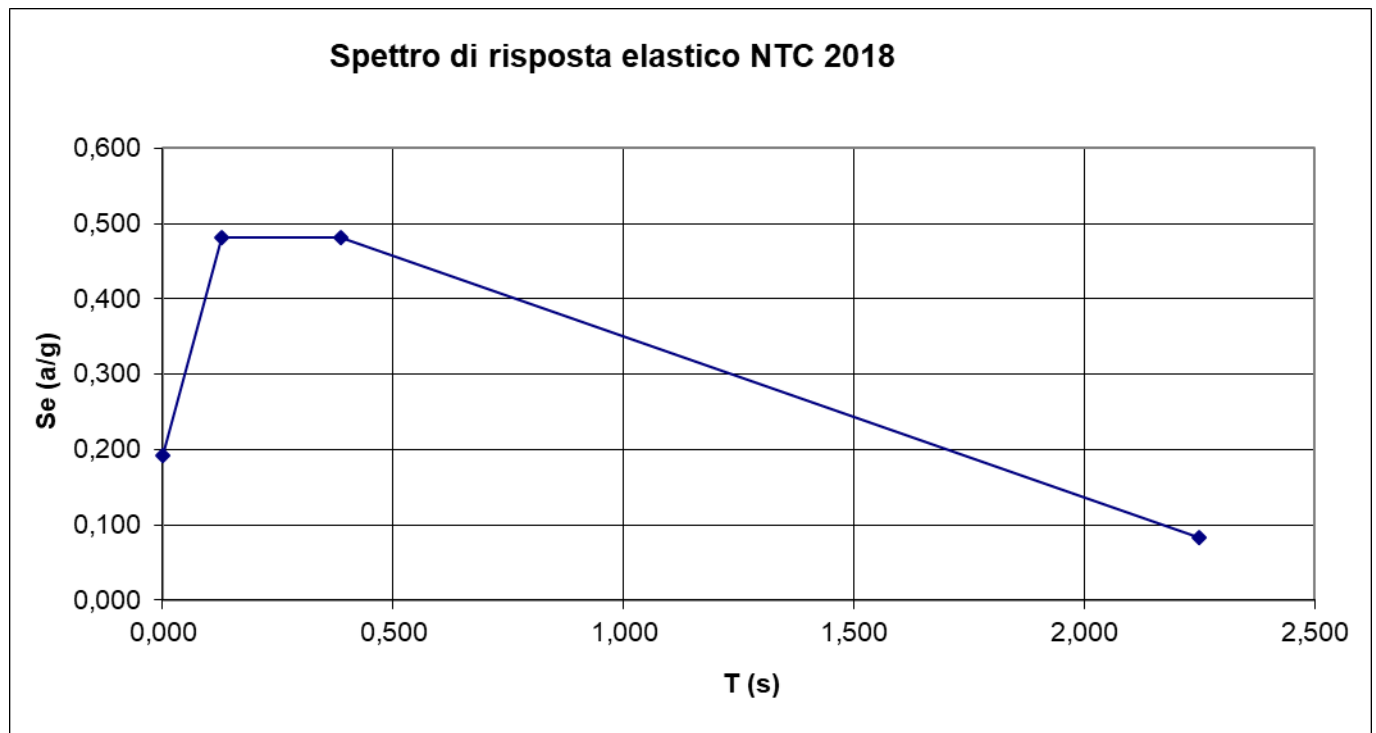
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

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

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

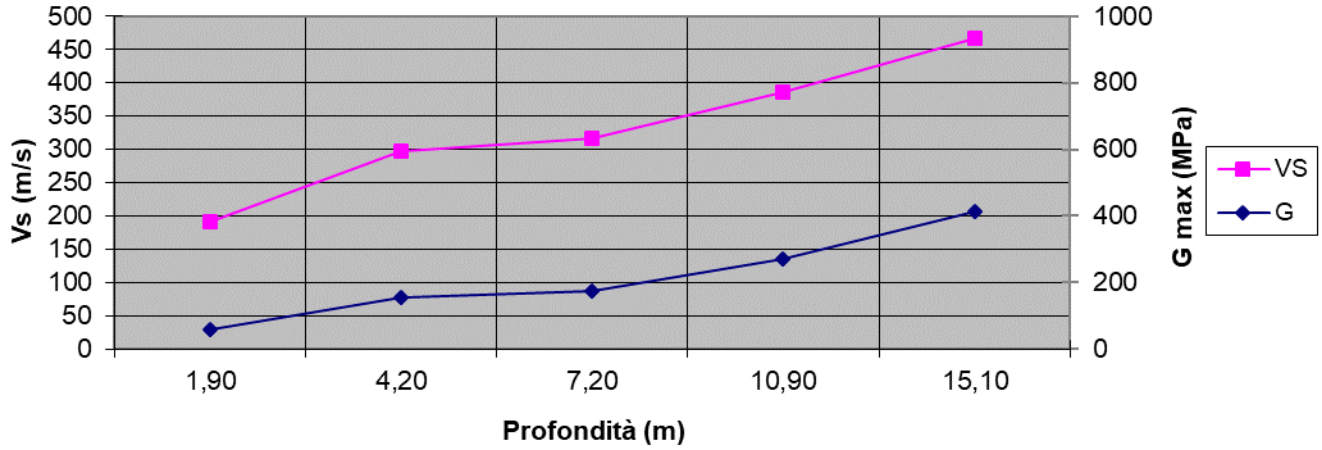
Ascisse (s)	Ordinate (g)
0,000	0,193
0,129	0,482
0,388	0,482
2,248	0,083



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1,90	1,61	191	59
4,20	1,73	298	153
7,20	1,74	316	173
10,90	1,81	386	270
15,10	1,89	466	411
20,30	1,92	502	484
30,00	1,98	660	862

$$V_{s,eq} = 423,65 \text{ m/s}$$

### 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 microtremiti. 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)

### HVSrI

Strumento: TRZ-0017/01-09

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 06/03/20 10:15:33

Fine registrazione: 06/03/20 10:35:34

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

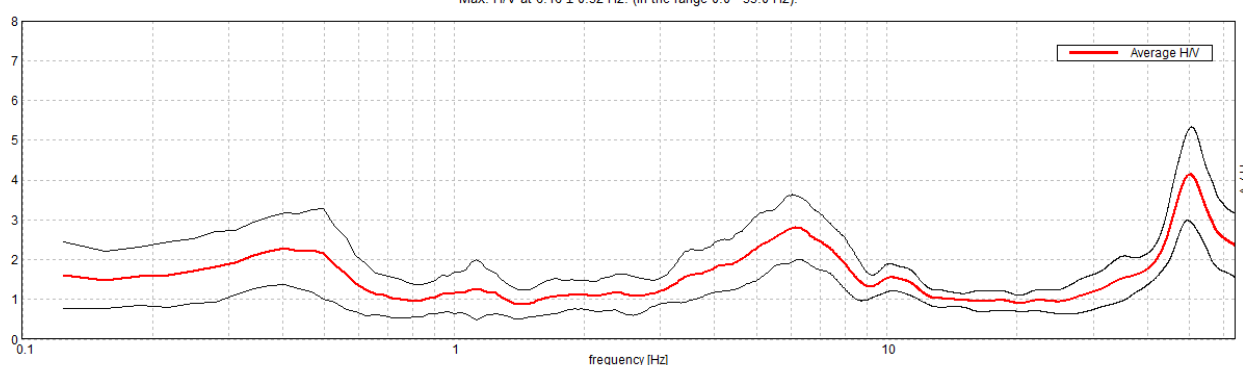
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

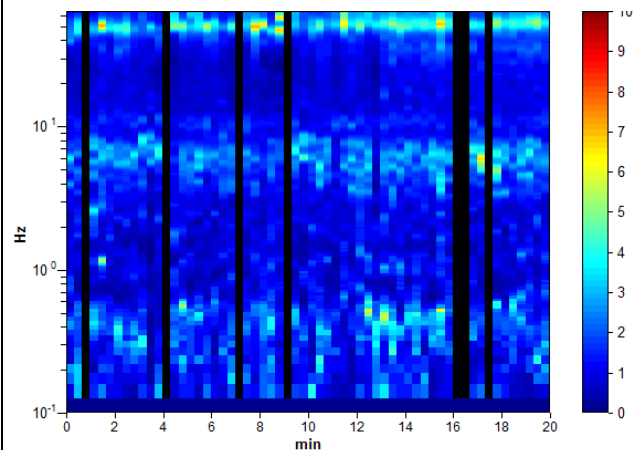
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

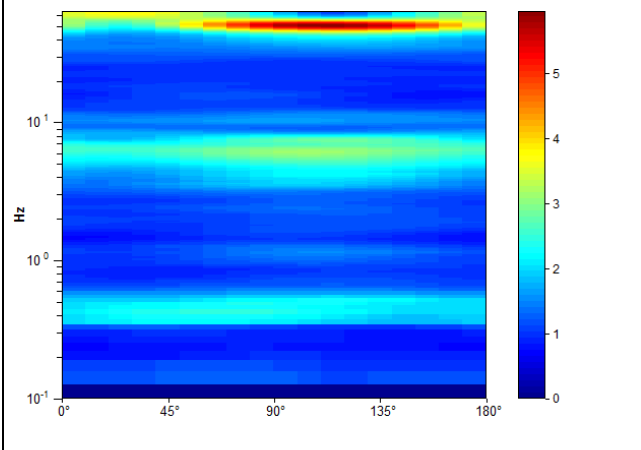
Max. H/V at 6.16 ± 0.32 Hz. (In the range 0.0 - 35.0 Hz).



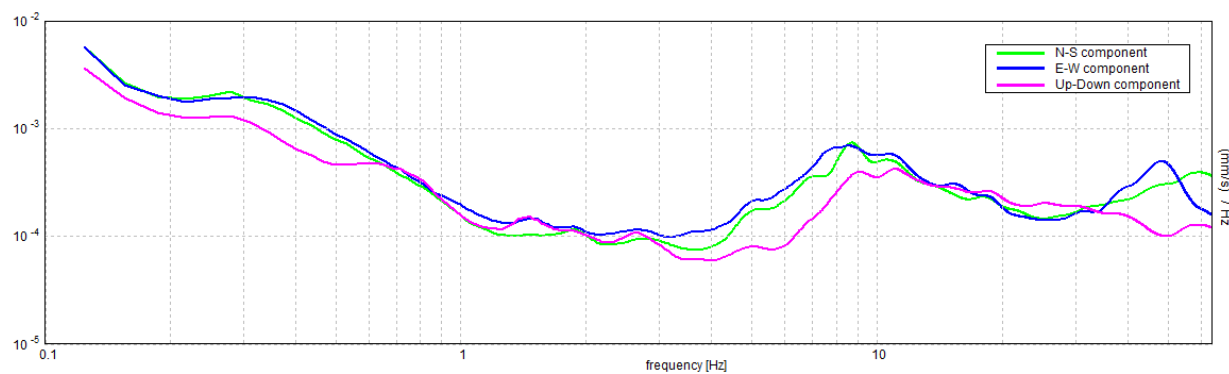
### SERIE TEMPORALE H/V



### 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  $6.16 \pm 0.32$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

**Altro Picco di risonanza H/V a  $50.31 \pm 0.73$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

### Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.16 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$6525.6 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 296	<b>OK</b>	

### Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.219 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.813 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.80 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02546  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.15674 < 0.30781$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4028 < 1.58$	<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 28:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR1.



**Figura 29:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR1.



## HVSRZ

Strumento: TRZ-0017/01-09

Inizio registrazione: 06/03/20 10:45:08

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: 06/03/20 11:05:09

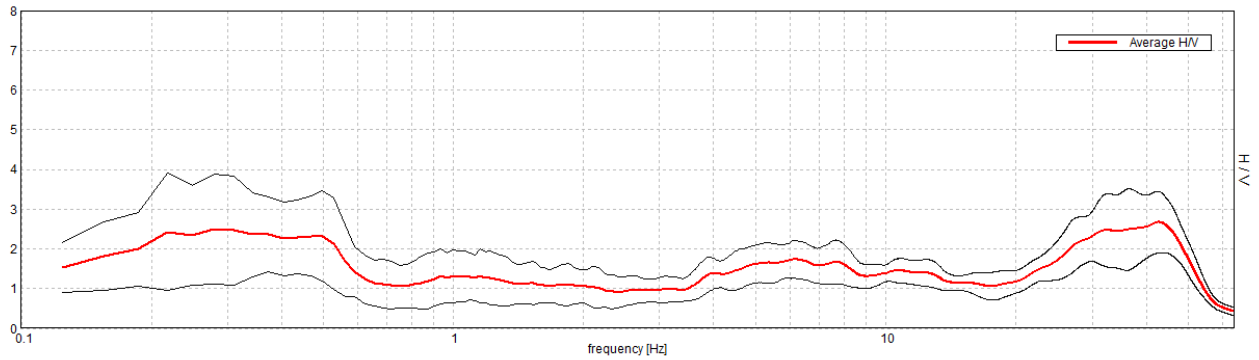
Dato GPS non disponibile

Analizzato 55% tracciato (selezione manuale)

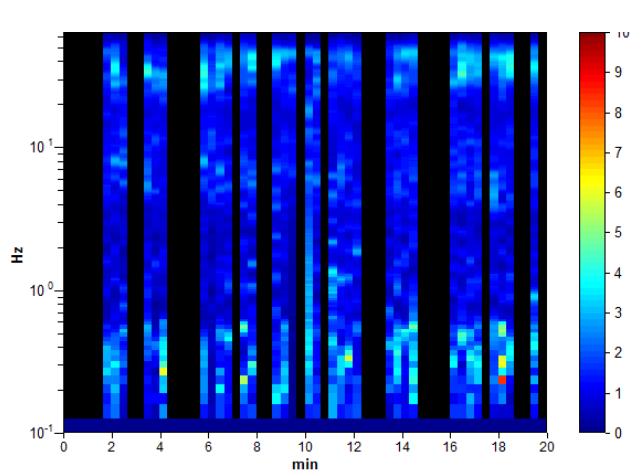
Lunghezza finestre: 20 s

Lisciamento: 10%

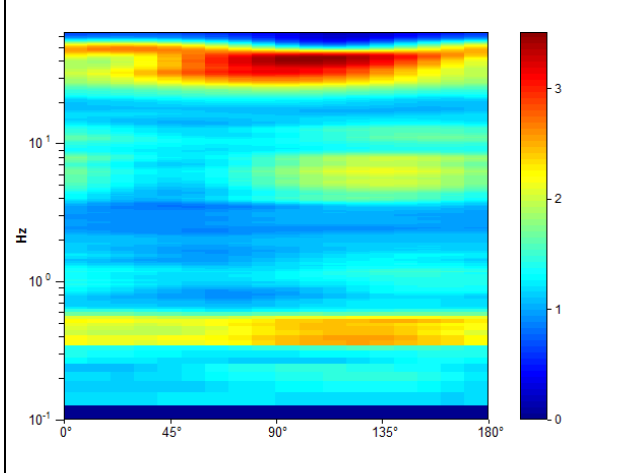
### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



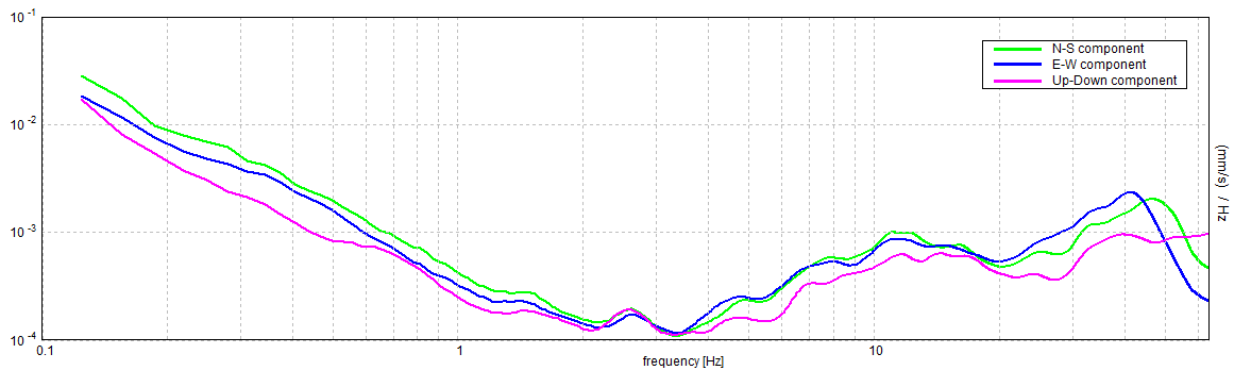
### SERIE TEMPORALE H/V



### 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  $6.16 \pm 0.52$  Hz (nell'intervallo 0.00 - 64.0 Hz).**

**Altro Picco di risonanza H/V a  $42.78 \pm 0.3$  Hz (nell'intervallo 0.00 - 64.0 Hz).**

### Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$6.16 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$4063.1 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 296	<b>OK</b>	

### Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>			
$A_0 > 2$	$1.74 > 2$		
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04118  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.2535 < 0.30781$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2315 < 1.58$	<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 HVSR2.



**Figura 31:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR2.

### HVSR3

Strumento: TRZ-0017/01-09

Inizio registrazione: 06/03/20 11:14:01

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

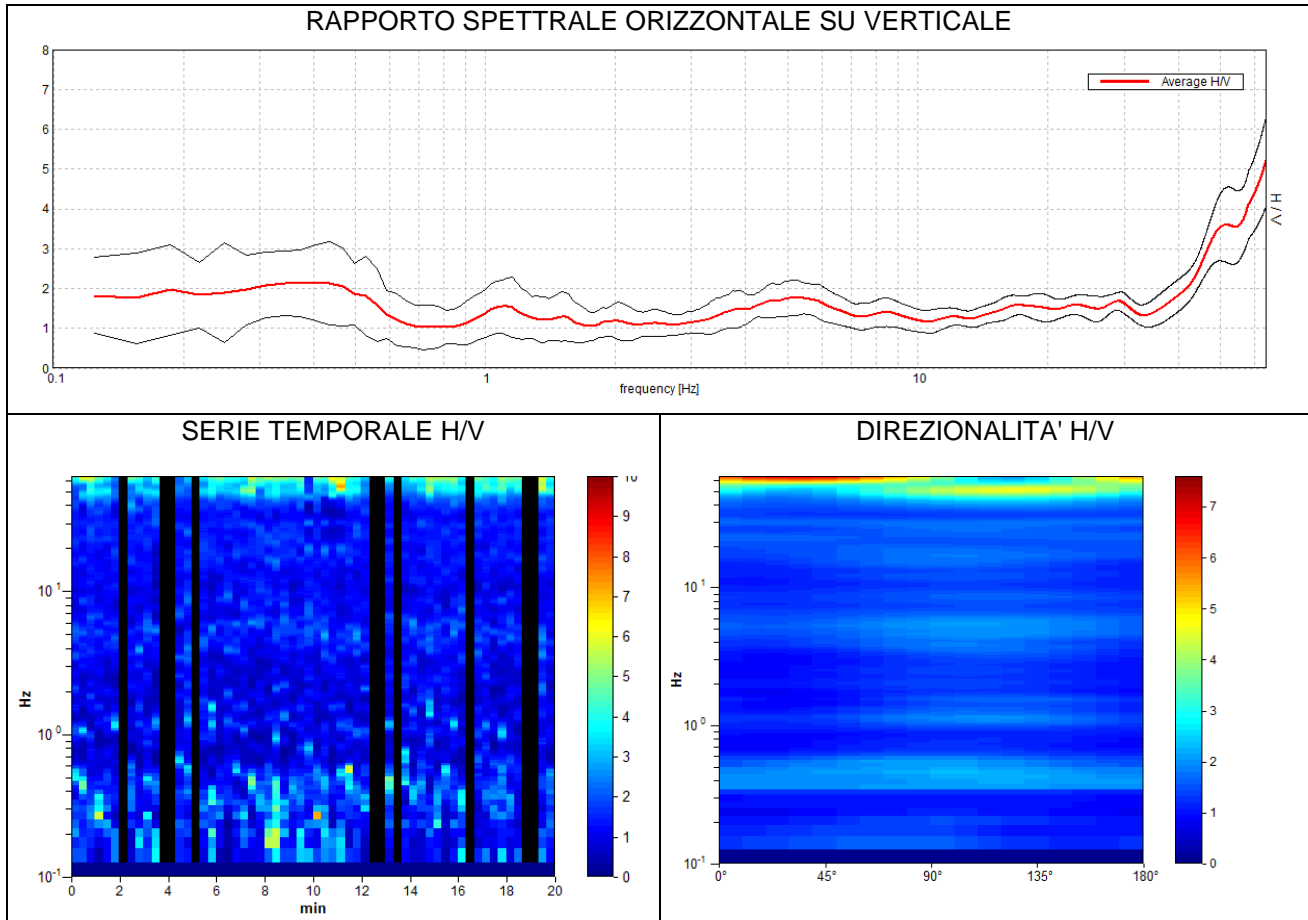
Fine registrazione: 06/03/20 11:34:02

Dato GPS non disponibile

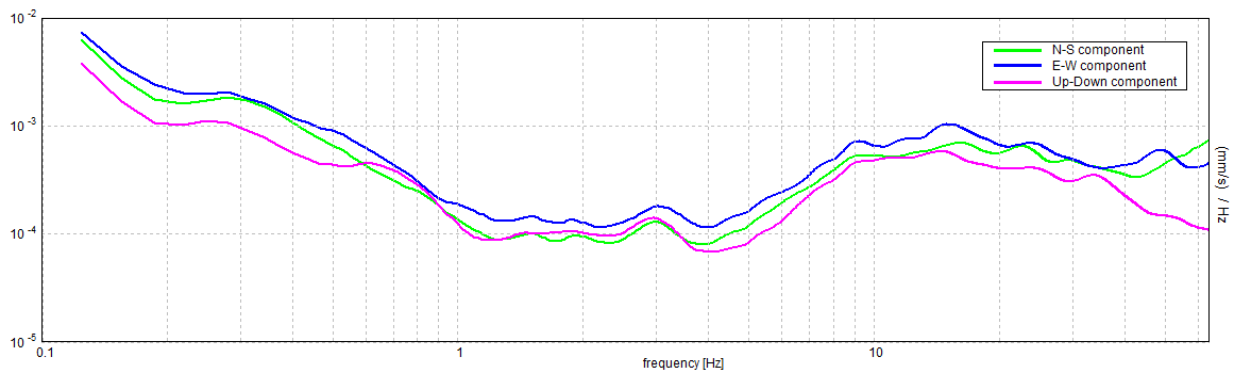
Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)

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  $5.22 \pm 0.41$  Hz (nell'intervallo 0.00 - 64.0 Hz).**

**Altro Picco di risonanza H/V a  $0.41 \pm 0.21$  Hz (nell'intervallo 0.00 - 64.0 Hz).**

### Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$5.22 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$5218.8 > 200$	<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 252	<b>OK</b>	

### Criteria per un picco H/V chiaro

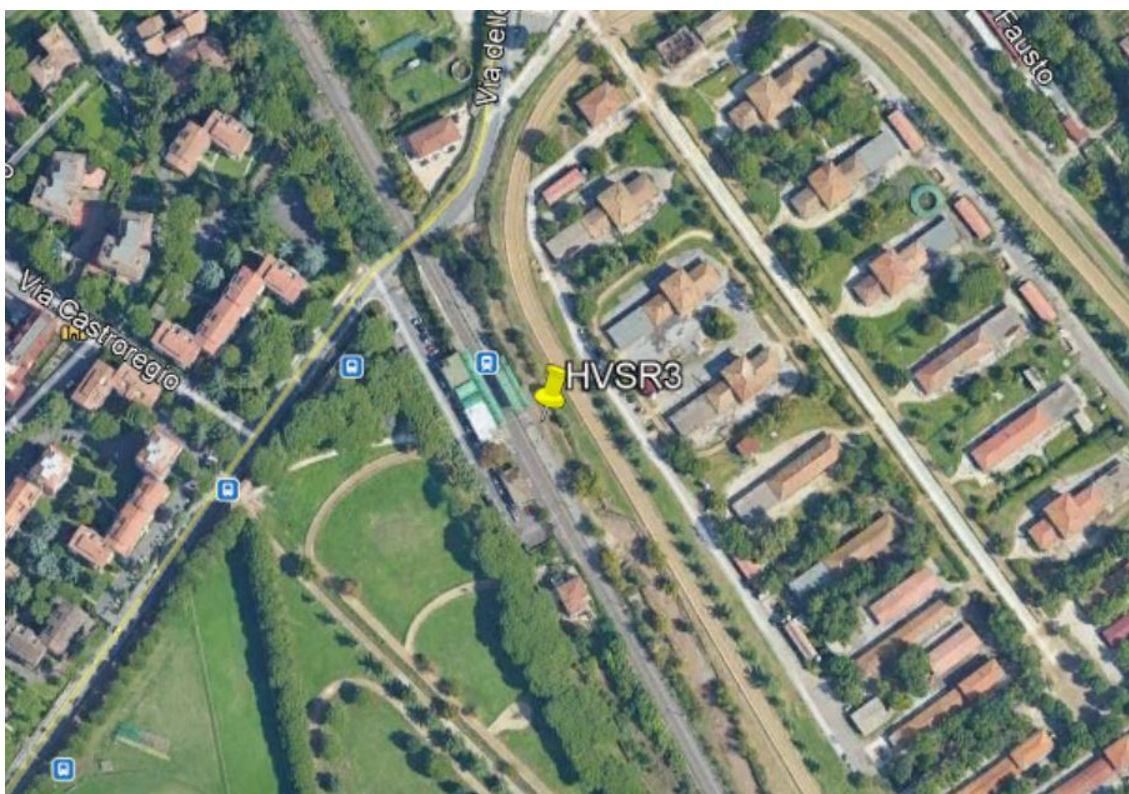
[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>			
$A_0 > 2$	$1.77 > 2$		
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03904  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.20373 < 0.26094$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2182 < 1.58$	<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 32:** Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR3.



**Figura 33:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR3.



## HVSR4

Strumento: TRZ-0017/01-09

Inizio registrazione: 06/03/20 12:00:42

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

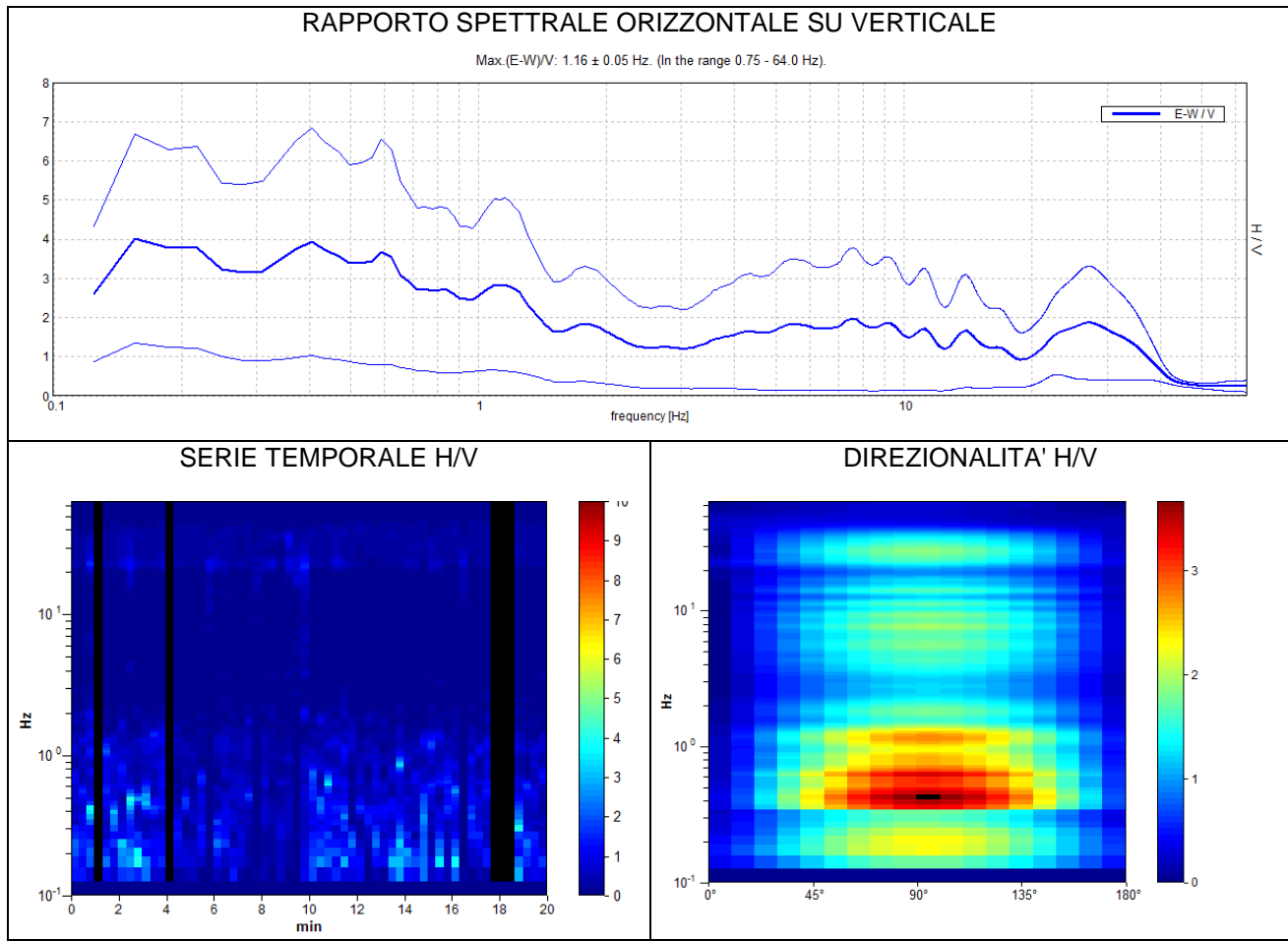
Fine registrazione: 06/03/20 12:20:43

Dato GPS non disponibile

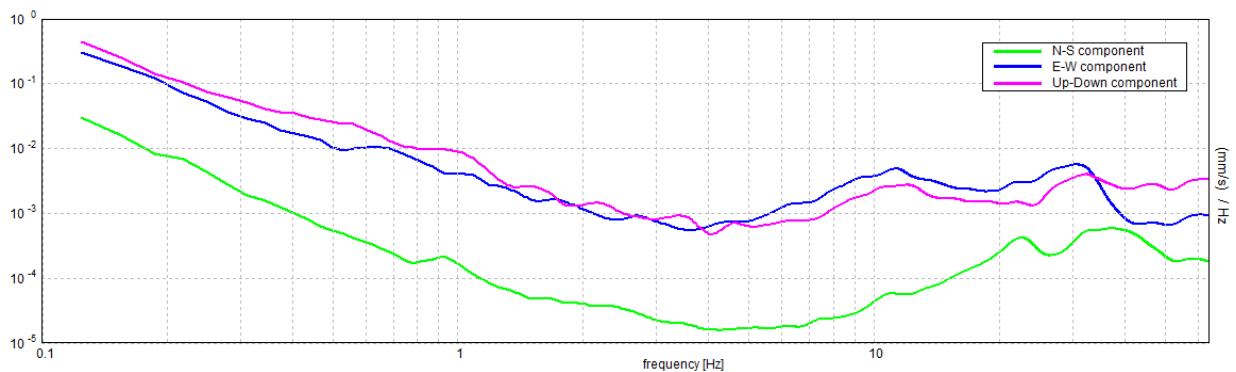
Analizzato 92% tracciato (selezione manuale)

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  $1.16 \pm 0.05$  Hz (nell'intervallo 0.00 - 64.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.16 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$1168.8 > 200$	<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 52	<b>OK</b>	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

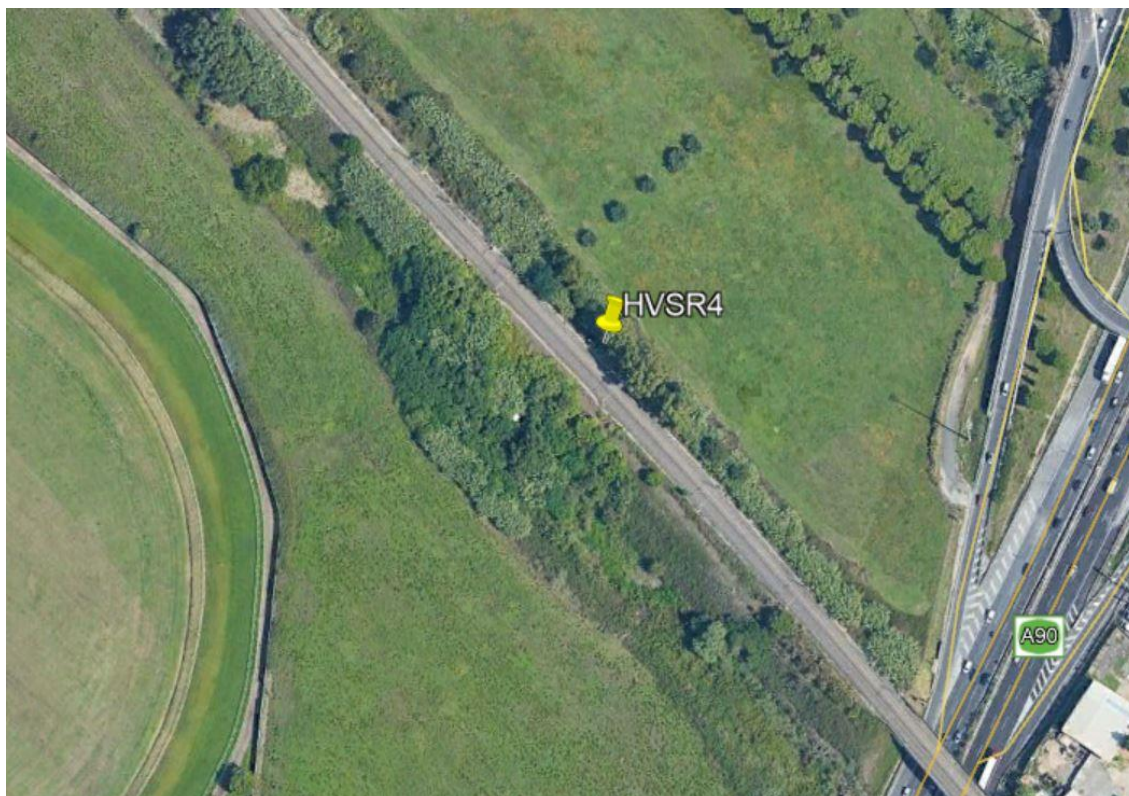
<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.938 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$0.69 > 2$		
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 1.11582  < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.18556 < 0.10625$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1765 < 1.78$	<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 HVSR4.



**Figura 35:** Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR4.

## HVSR5

Strumento: TRZ-0017/01-09

Inizio registrazione: 06/03/20 13:01:12

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: 06/03/20 13:21:13

Dato GPS non disponibile

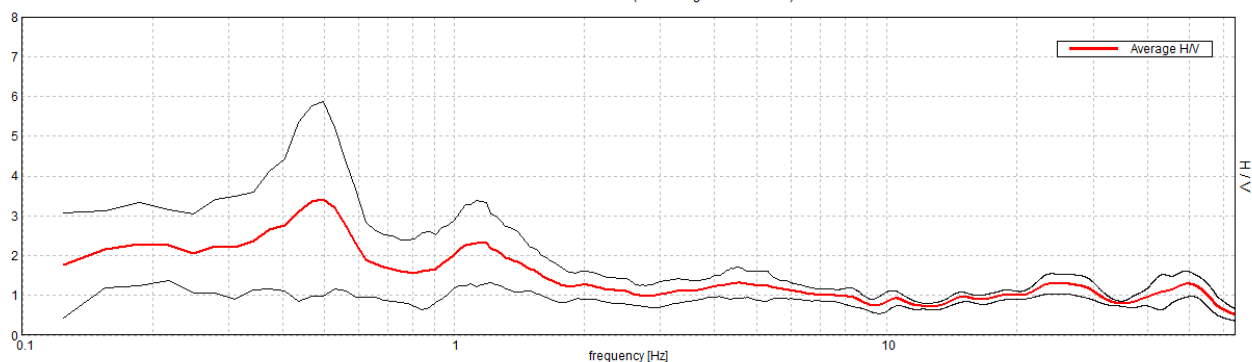
Analizzato 58% tracciato (selezione manuale)

Lunghezza finestre: 20 s

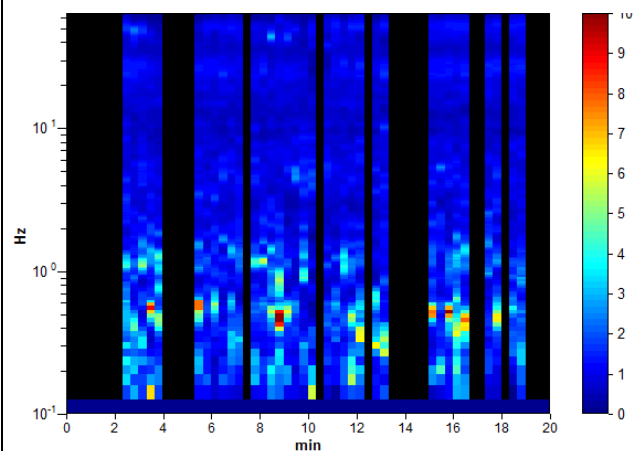
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

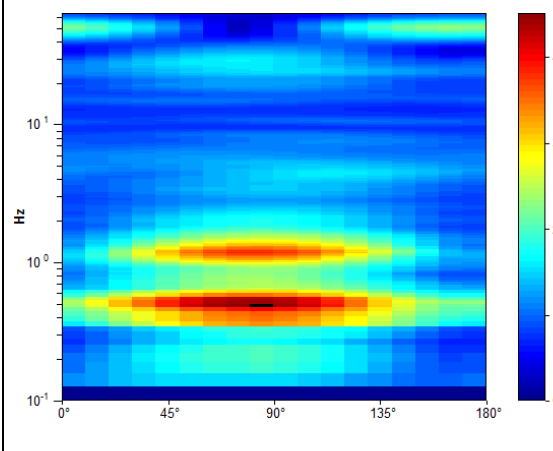
Max. H/V at 1.16 ± 0.02 Hz. (In the range 0.7 - 64.0 Hz).



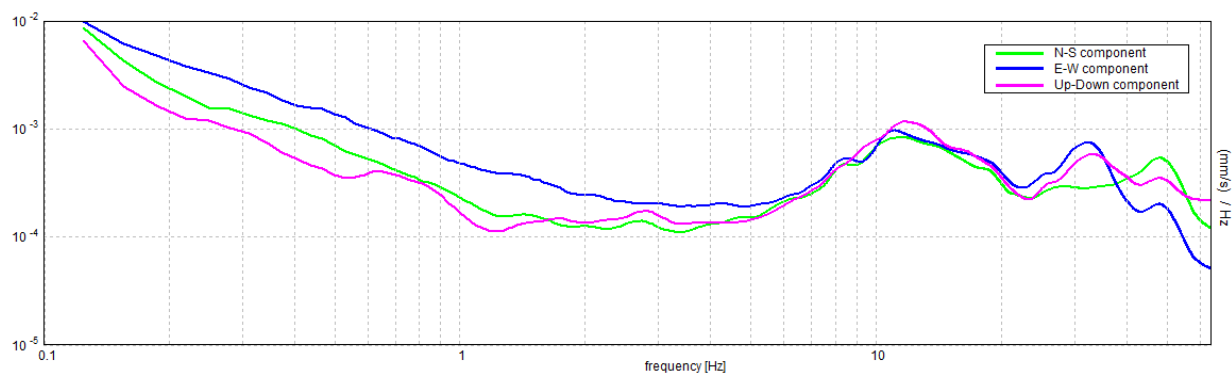
### SERIE TEMPORALE H/V



### 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  $1.16 \pm 0.02$  Hz (nell'intervallo 0.00 - 64.0 Hz).**

**Altro Picco di risonanza H/V a  $0.5 \pm 0.06$  Hz (nell'intervallo 0.00 - 64.0 Hz).**

### Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.16 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$809.4 > 200$	<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 56	<b>OK</b>	

### Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

<b>Esiste <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			
<b>Esiste <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	2.219 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$2.32 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00817  < 0.05$	<b>OK</b>	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00945 < 0.11563$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.5074 < 1.78$	<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



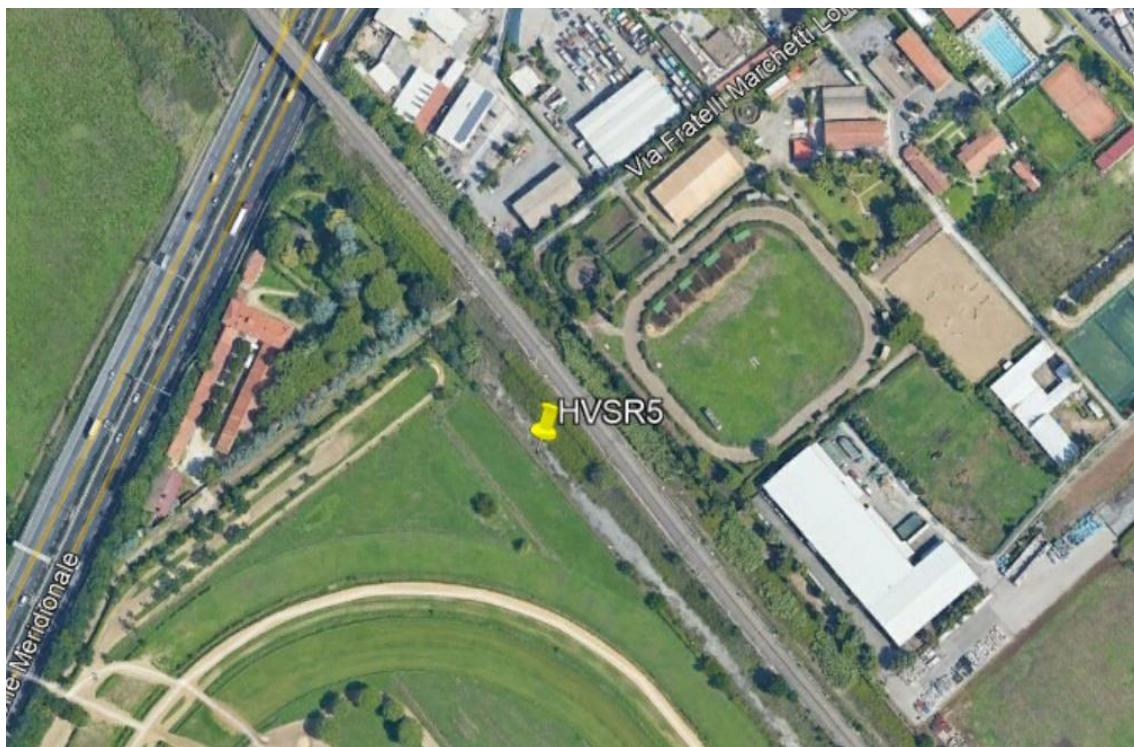


Figura 36: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR5.



Figura 37: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR5.



**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	MASW1	Capannelle (RM)	41.835204	12.565149	297825.15	4634345.56
MASW	MASW2	Capannelle (RM)	41.833656	12.56624	297910.89	4634171.1
MASW	MASW3	Capannelle (RM)	41.830642	12.569081	298137.29	4633829.73
MASW	MASW4	Capannelle (RM)	41.821662	12.577537	298811.39	4632812.82
MASW	MASW5	Capannelle (RM)	41.818582	12.580311	299032.21	4632464.27
HVSR	HVSR1	Capannelle (RM)	41.835204	12.565149	297825.15	4634345.56
HVSR	HVSR2	Capannelle (RM)	41.833656	12.56624	297910.89	4634171.1
HVSR	HVSR3	Capannelle (RM)	41.830642	12.569081	298137.29	4633829.73
HVSR	HVSR4	Capannelle (RM)	41.821662	12.577537	298811.39	4632812.82
HVSR	HVSR5	Capannelle (RM)	41.818582	12.580311	299032.21	4632464.27

Tabella riassuntiva riportante le ubicazioni delle prove eseguite