

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ED ECONOMICA

POTENZIAMENTO ED ELETTRIFICAZIONE DELLA LINEA BARLETTA-CANOSA DI PUGLIA

RELAZIONE

INDAGINI GEOFISICHE

SCALA:

-

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

I A 6 C 0 0 F 6 9 I G G E 0 0 0 0 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	T. VIGENZETTO 	Maggio 2020	F. Paolucci 	Maggio 2020	T. Paoletti	Giugno 2020	M. Comedini Giugno 2020

File: IA6C00F69IGGE000000FA

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	3
2	METODOLOGIE DI INDAGINE	4
3.	TOMOGRAFIA ELETTRICA	5
4.	RISULTATI TOMOGRAFIE ELETTRICHE.....	7
5.	INDAGINE SISMICA CON METODO MASW ATTIVO.....	10
6.	RISULTATI PROSPEZIONI MASW	11
7.	INDAGINE SISMICA CON METODO HVSR.....	51
8.	RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSR)	55
9.	INDAGINE SISMICA CON METODO MASW 2D.....	82

1 PREMESSA

La presente relazione illustra e riassume i risultati delle indagini geofisiche a supporto del PFTE Elettificazione Barletta-Canosa/Opera anticipata Fermata Ospedale.

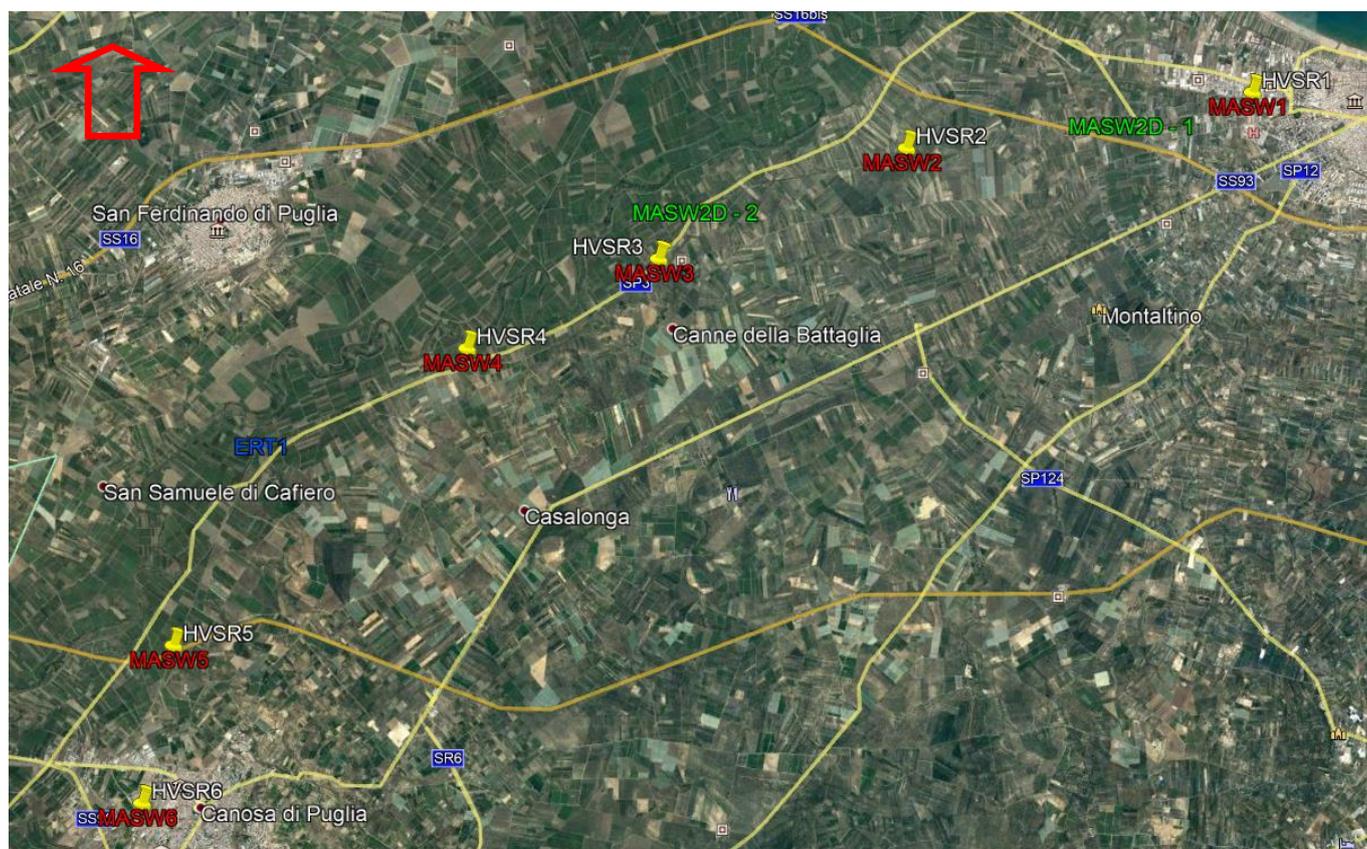


Figura 1: Ubicazione dell'area di intervento (da Google Earth).

2 METODOLOGIE DI INDAGINE

La campagna di misure geofisiche condotta, è consistita in indagini sismiche di superficie attraverso indagini geoelettriche eseguite con metodo tomografico, con metodologia Masw, Masw 1D e 2D e HVSr.

Nel seguito del presente capitolo 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 geoelettrica (in alto a sinistra) e Masw (in alto a destra),Hvsr (in basso a sinistra) e Masw 2D (in basso a destra).

3. TOMOGRAFIA ELETTRICA

L'indagine tomografica 2D è stata eseguita attraverso misure della resistività elettrica del sottosuolo. La resistività apparente in un punto del sottosuolo è un parametro direttamente correlabile con la "difficoltà" con cui una porzione di terreno può essere attraversata da una corrente elettrica. La programmazione della sequenza delle misure è operata sul campo mediante l'apposita interfaccia strumentale. Con tale operazione si definisce il tipo di configurazione ottimale per l'esecuzione del rilievo, determinando così i livelli di misura desiderati al fine di raggiungere la profondità voluta e una copertura ottimale per un buon dettaglio. Una volta definito lo schema del profilo, le misure dell'intensità di corrente e della differenza di potenziale vengono eseguite in successione, automaticamente.

Il metodo ricava quindi la distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo, elettricamente disomogeneo, iniettando una corrente continua mediante due elettrodi conficcati nel terreno, detti convenzionalmente AB, e misurando contemporaneamente la differenza di potenziale (d.d.p.), associata al campo elettrico generato, tra due elettrodi distinti dai primi, detti convenzionalmente MN. In pratica, variando la distanza tra gli elettrodi A e B, o tra M e N, o tra AB e MN, e misurando ogni volta la corrente immessa agli AB e la differenza di potenziale "d.d.p." risultante agli MN, si ottiene la resistività detta apparente, secondo la nota formula:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \text{ dove } k = \pi \frac{AM * AN}{MN} \quad (\Omega m)$$

k è detta costante geometrica del quadripolo e dipende solo da distanze interelettrodiche.

Questa resistività apparente varia in funzione della posizione reciproca degli elettrodi A, B, M e N (quadripolo elettrico) in quanto vengono investigate dal passaggio della corrente e dalla misura della risposta in termini di d.d.p. parti diverse del corpo. La misura della resistività apparente del terreno deriva da una serie di letture eseguite attraverso l'inversione di polarità della corrente che, nel presente rilievo, è stata fissata fra tre e otto cicli d'inversione; la validità della misura finale è data dal valore della deviazione standard registrata per ogni quadripolo.

Le misure della resistività elettrica sono state eseguite con georesistivimetro SAS1000 con LUND Imagin System (ABEM-Svezia) in grado di imporre una differenza di potenziale fino a 800V sugli elettrodi AB. Il georesistivimetro impiegato è dotato di un sistema di gestione e

commutazione automatica degli elettrodi, permettendo quindi di considerare tutte le possibili combinazioni quadripolari.

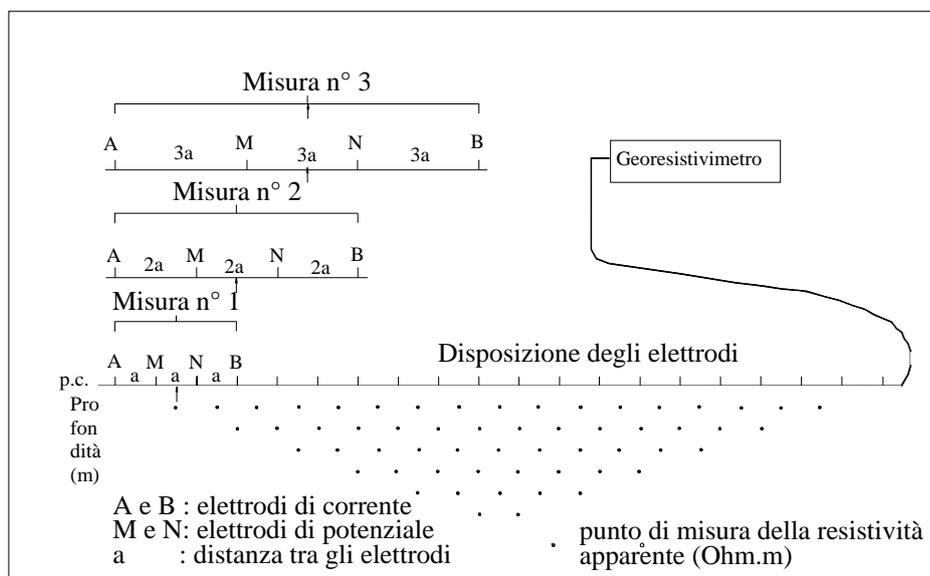


Figura 3: Sistema di acquisizione "tomografica" dei dati utilizzando una configurazione elettrodica di Wenner.

Dalla configurazione utilizzata, poi, si ottiene un grafico nel quale tutti i punti di eguale resistività apparente vengono collegati da una curva detta iso-resistiva. Questo quadro deve essere "interpretato" in modo da poter sostituire alle resistività apparenti la geometria della distribuzione ed i valori della resistività reale.

Specificamente, l'indagine è stata effettuata in configurazione Wenner-Schlumberger per un totale di acquisizioni fino a 1336 misure (equivalenti a 1334 quadripoli).

La fase di acquisizione è stata preceduta dalla verifica dell'assenza di resistenze di contatto, dovute all'interferenza elettrica data da uno scadente contatto elettrodo-terreno.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	Strumentazione per tomografie elettriche
1	Georesistivimetro SAS1000 con LUND Imagin System (ABEM - Svezia) fino a 64 canali in configurazione multielettrodica
1	Sistema di immissione di corrente nel terreno (batteria a 12V)
1	Serie di elettrodi (impiegati in serie di quattro, due di corrente e due di potenziale) di acciaio inox, collegati tra loro tramite un cavo multipolare

4. RISULTATI TOMOGRAFIE ELETTRICHE

ERT1

Il profilo elettrico ERT1, della lunghezza di 155 metri con elettrodi spaziati di 5 metri, è stato condotto da ENE (elettrodo n.1) verso SO (elettrodo n.32), sul lato nord-orientale dell'asse ferroviario.

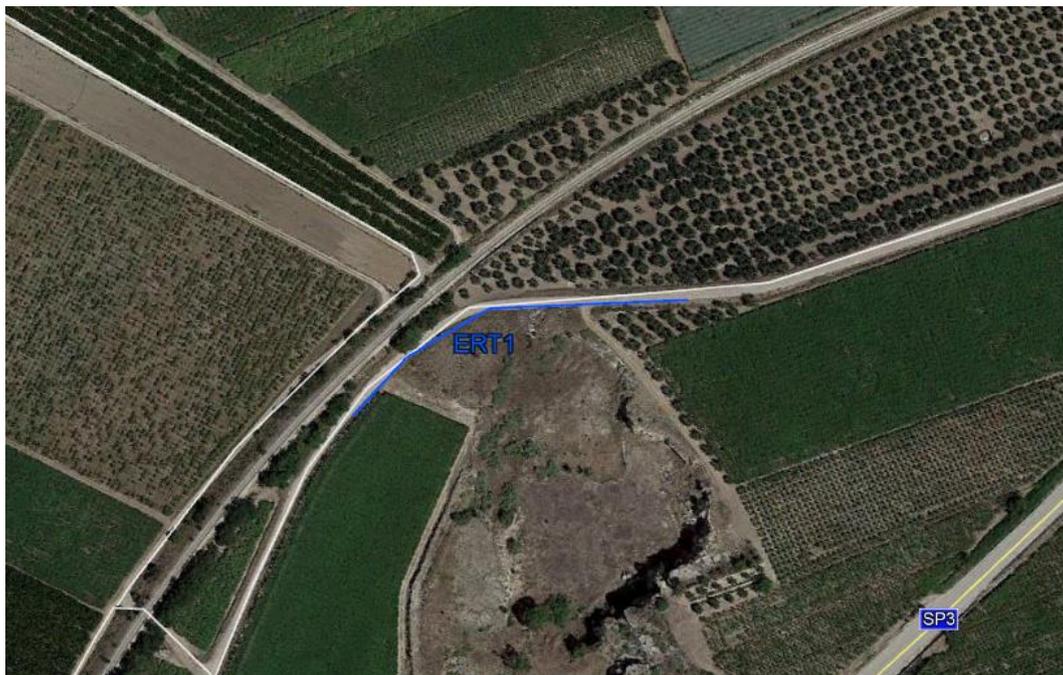


Figura 4: Ortofoto relativa all'ubicazione del profilo elettrico ERT1.

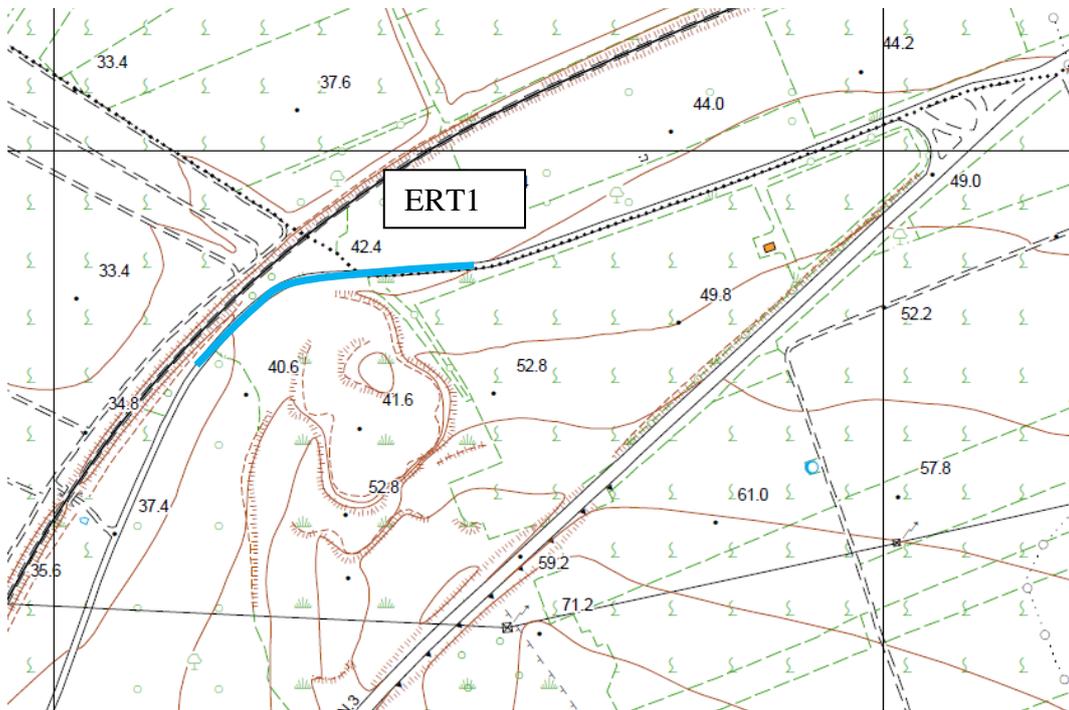


Figura 5: CTR 1:5.000 relativa al profilo elettrico ERT1.



Figura 6: Foto relative all'esecuzione del profilo elettrico ERT1.

L'acquisizione ha previsto l'utilizzo del metodo Wenner-Schlumberger.

L'elaborazione tomografica dei dati con software RES2Dinv ha permesso di individuare le peculiarità del sottosuolo in merito al parametro della resistività elettrica e mediante il confronto con i sondaggi eseguiti nelle aree limitrofe durante la campagna Italferr del Marzo-Giugno 2020. Nell'elaborazione del dato è stata considerata la presenza della topografia.

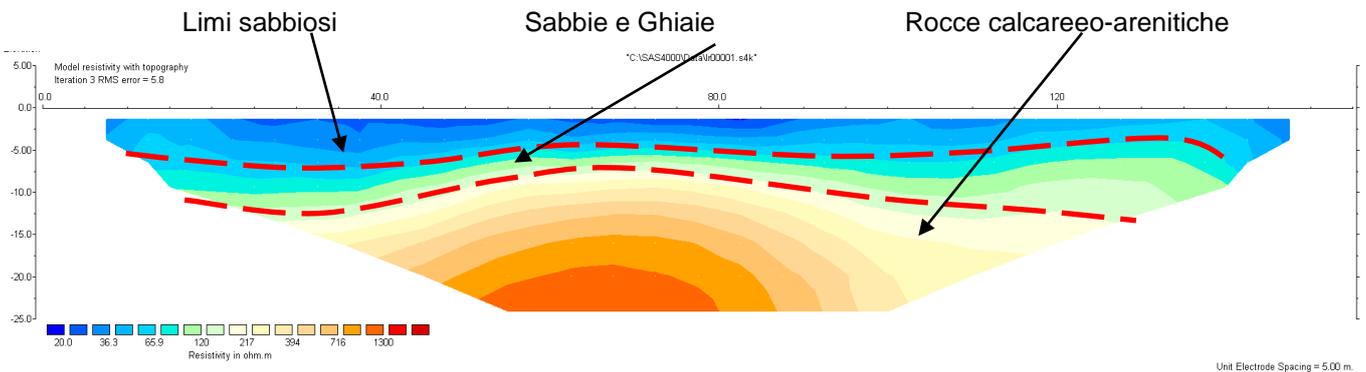


Figura 7: Sezione elettrotomografica ERT1.

Superficialmente si evidenzia la presenza di un elettrostrato conduttivo (resistività elettrica inferiore a $65.9 \Omega \cdot m$), riferibile a terreni di tipo limoso -sabbiosi, avente uno spessore medio fino a -3.5 metri dal p.c.

Scendendo verso il basso, è presente uno strato stratigraficamente sottoposto ai terreni superficiali fino a -6 metri dal p.c. di terreni incoerenti costituiti principalmente da sabbie e ghiaie in matrice sabbiosa (resistività comprese tra $65.9 \Omega \cdot m$ e $168.5 \Omega \cdot m$).

Al di sotto di tale strato, si evidenzia la presenza di un elettrostrato conduttivo (resistività elettrica compresa tra $168.5-1300 \Omega \cdot m$), riferibile a rocce calcareo-arenitiche.

Tale elettrostrato si approfondisce fino alla copertura massima della tomografia.

5. 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 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

6. 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 ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

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

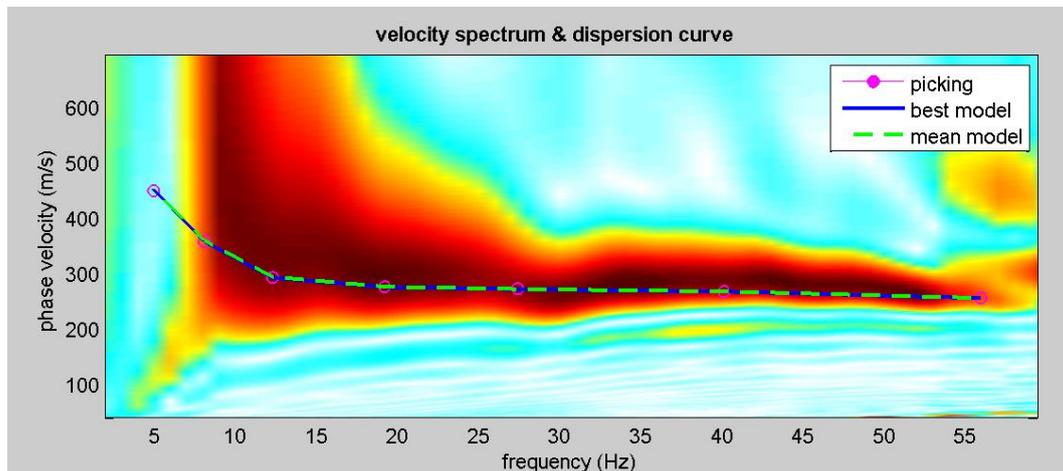


Figura 8: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

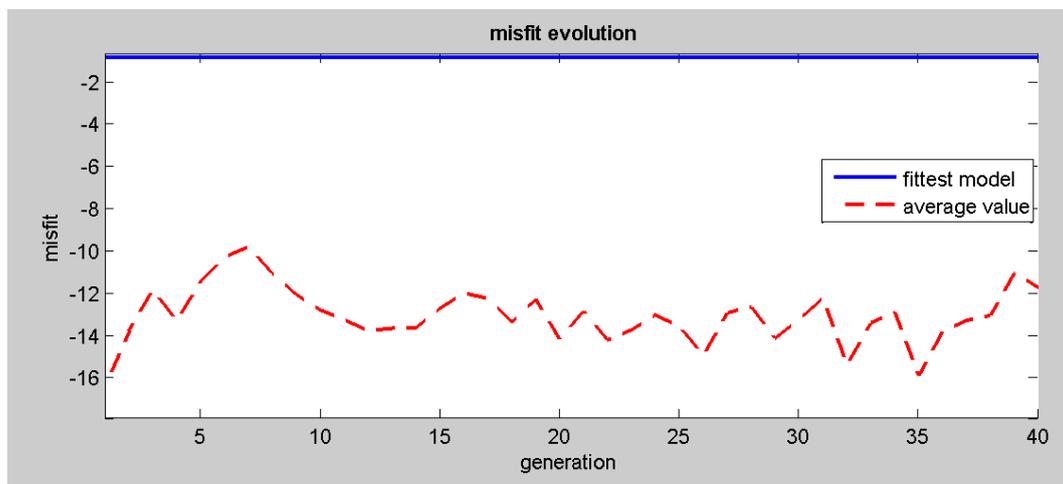


Figura 9: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

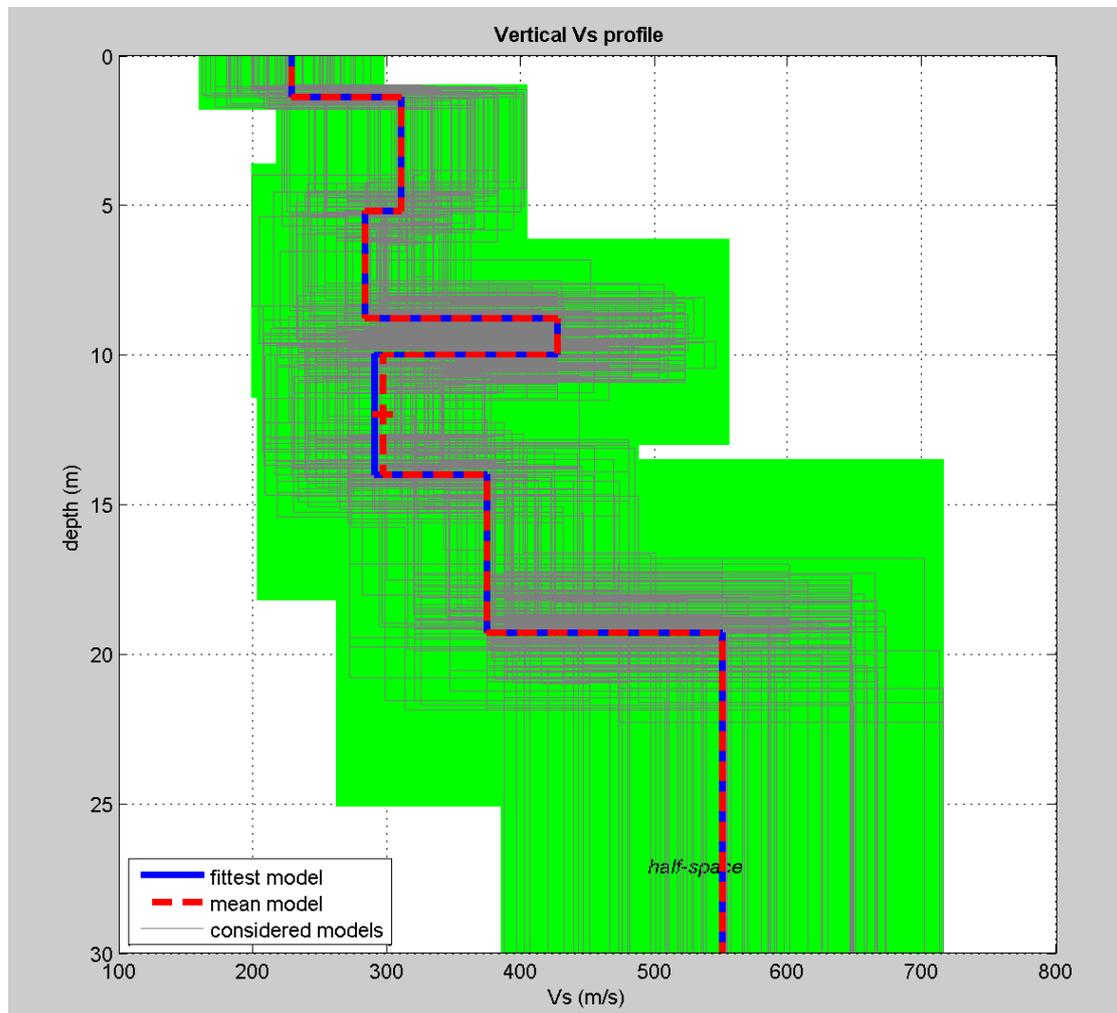


Figura 10: Modello risultante dall'inversione dei dati.

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:

$V_{s,eq} = 371 \text{ m/s}$

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 MASW1.



Figura 12: 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 ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

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

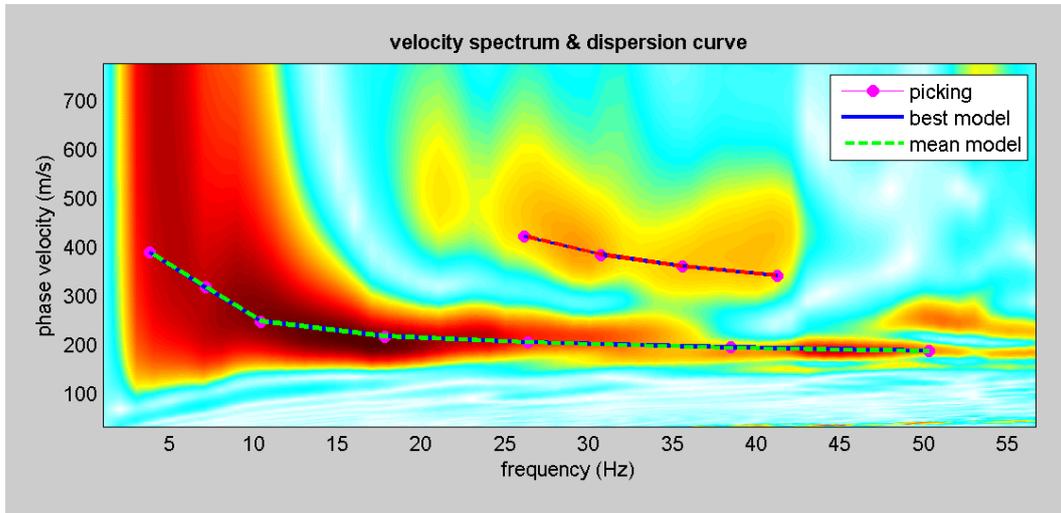


Figura 13: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

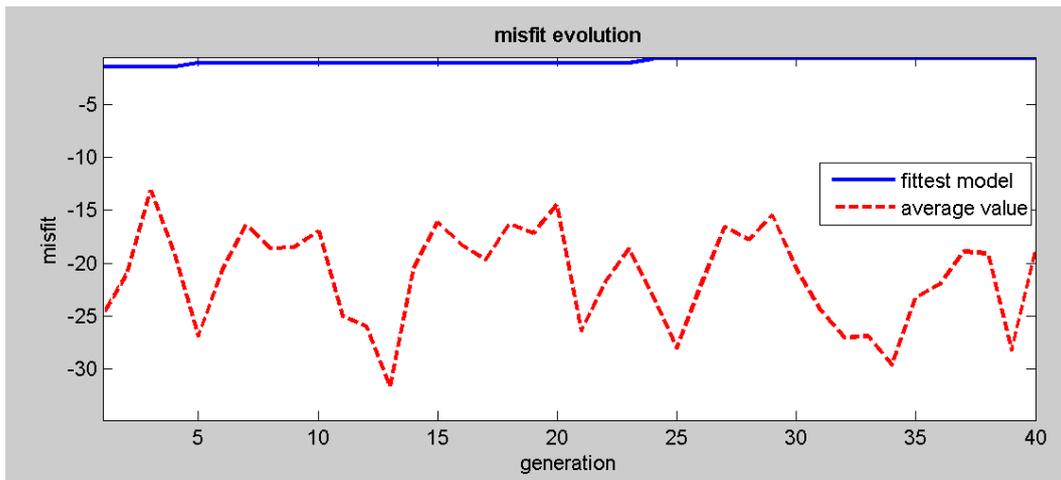


Figura 14: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

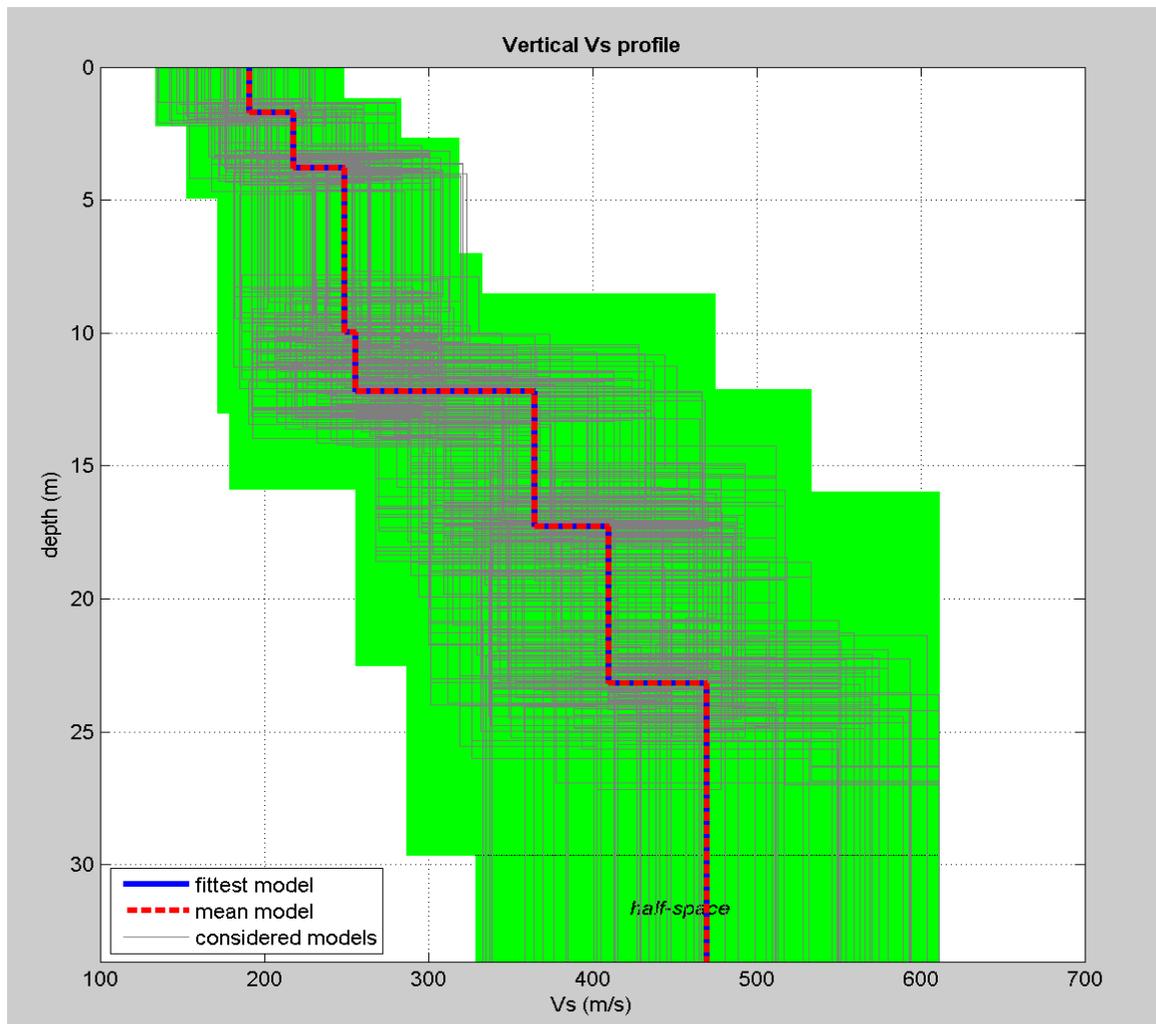


Figura 15: Modello risultante dall'inversione dei dati.

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 Vs eq è stata ricavata dalla formula:

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

Nel caso specifico è risultato:

Vs,eq = 316 m/s

Si tratta quindi di un suolo di **tipo C** (Ss = 1.5 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).

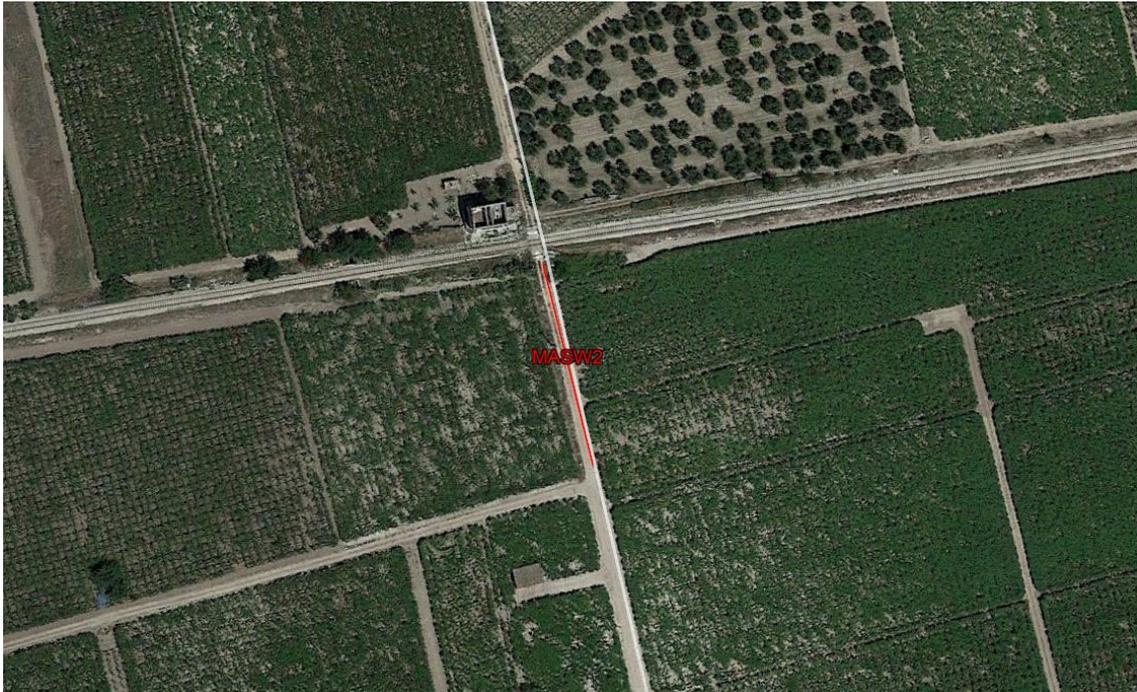


Figura 16: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW2.



Figura 17: 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 ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

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

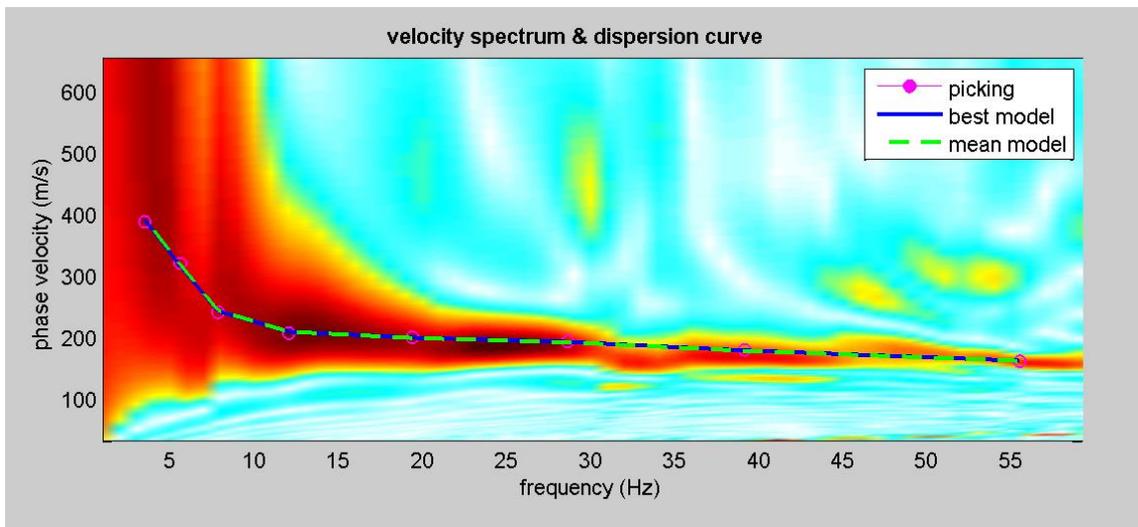


Figura 18: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

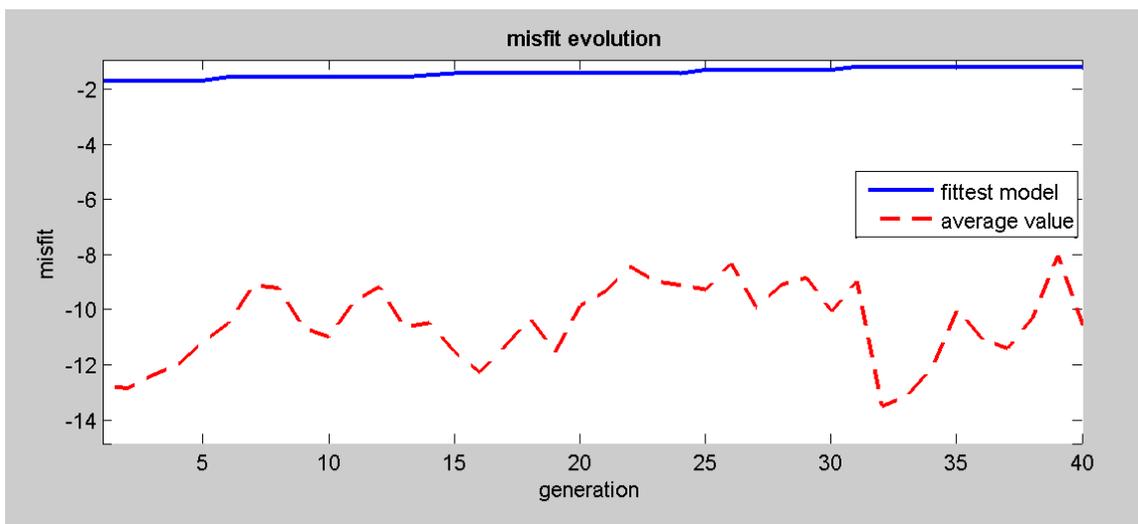


Figura 19: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

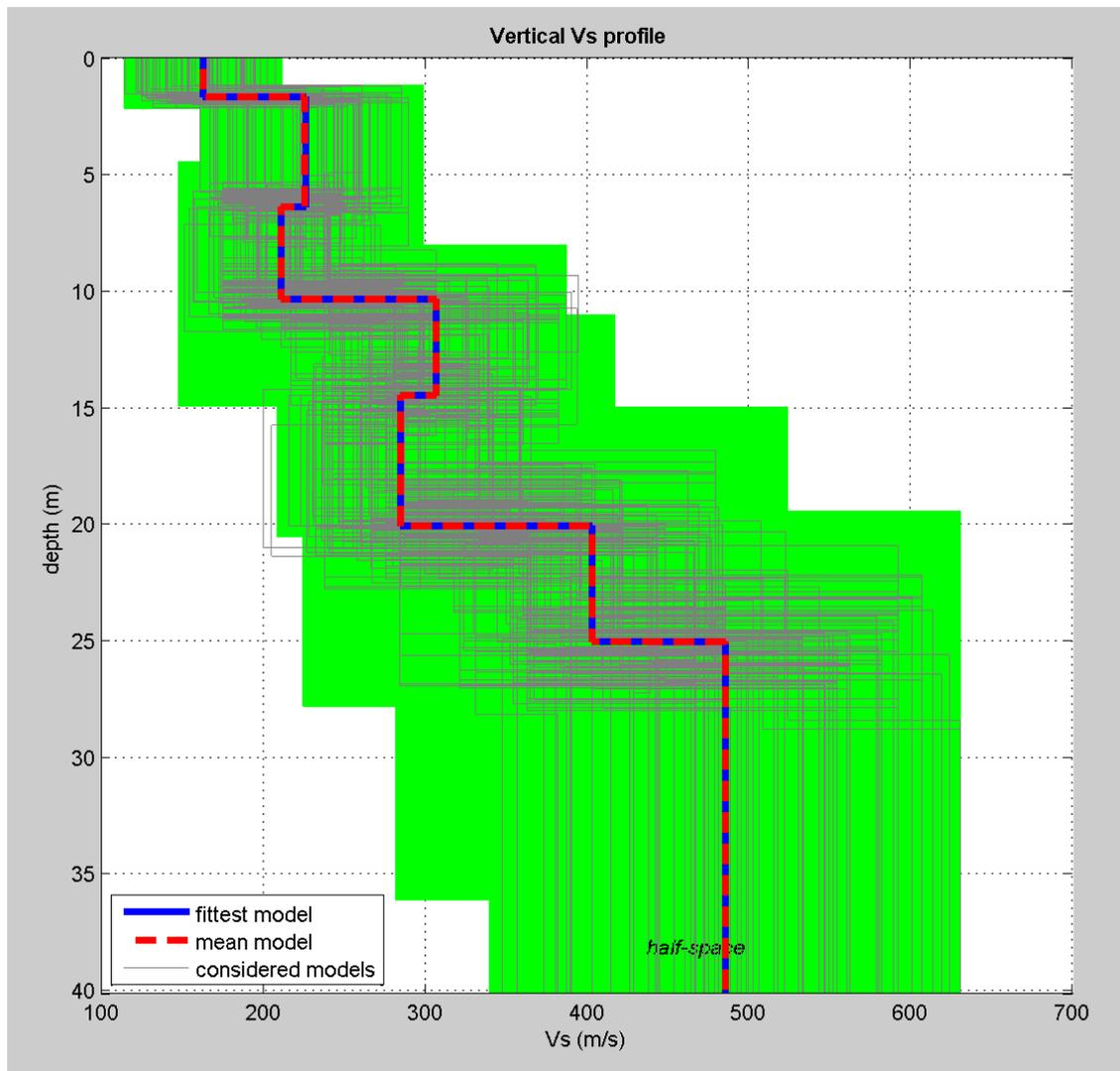


Figura 20: Modello risultante dall'inversione dei dati.

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:

$V_{s,eq} = 284 \text{ m/s}$

Si tratta quindi di un suolo di **tipo C** ($S_s = 1.5$ 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 MASW3.



Figura 22: 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 ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

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

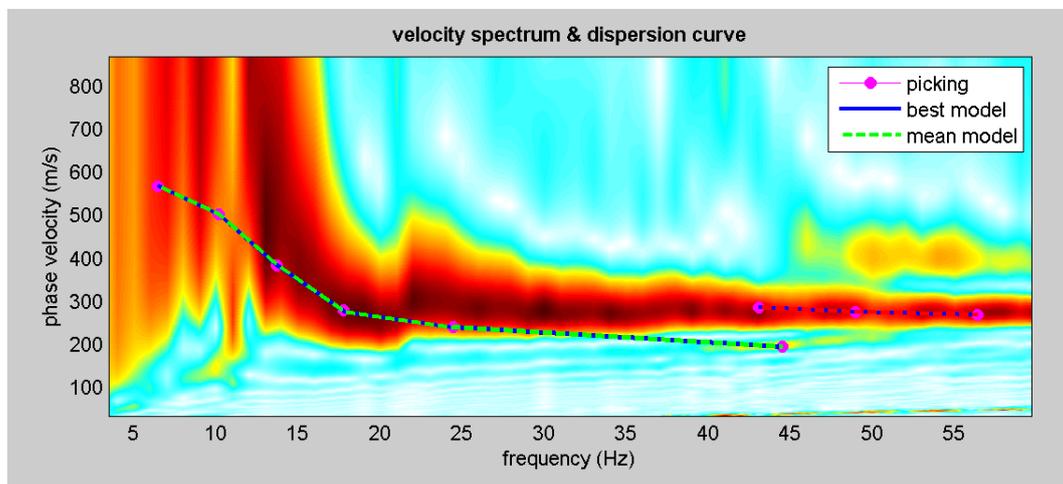


Figura 23: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

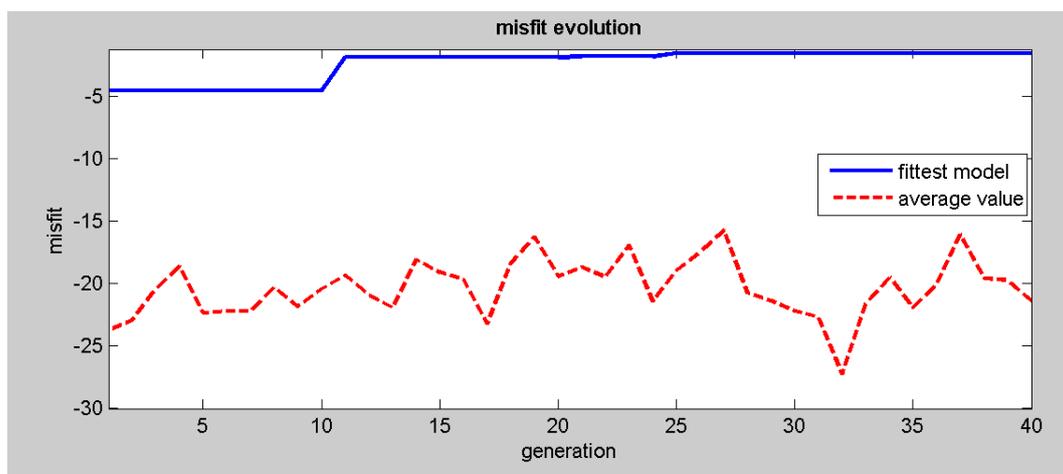


Figura 24: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

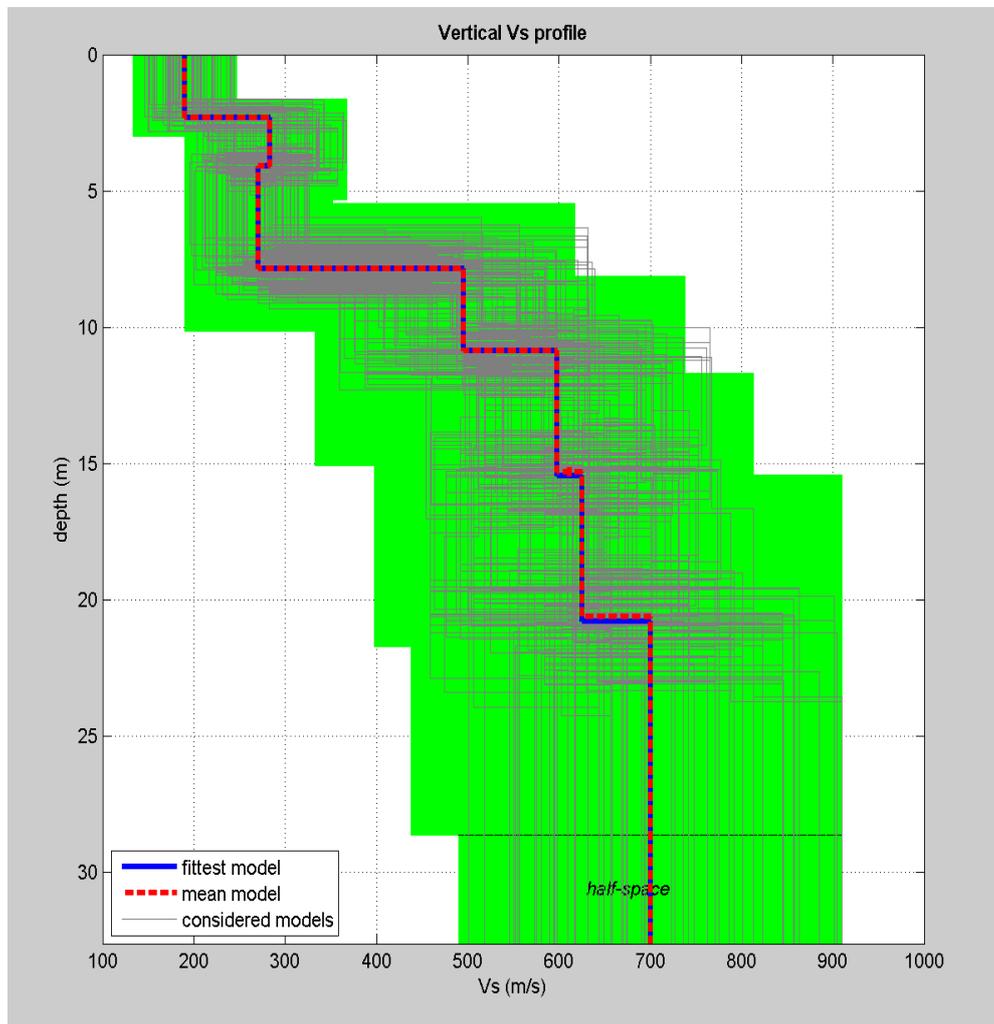


Figura 25: Modello risultante dall'inversione dei dati.

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:

$V_{s,eq} = 443 \text{ m/s}$

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).

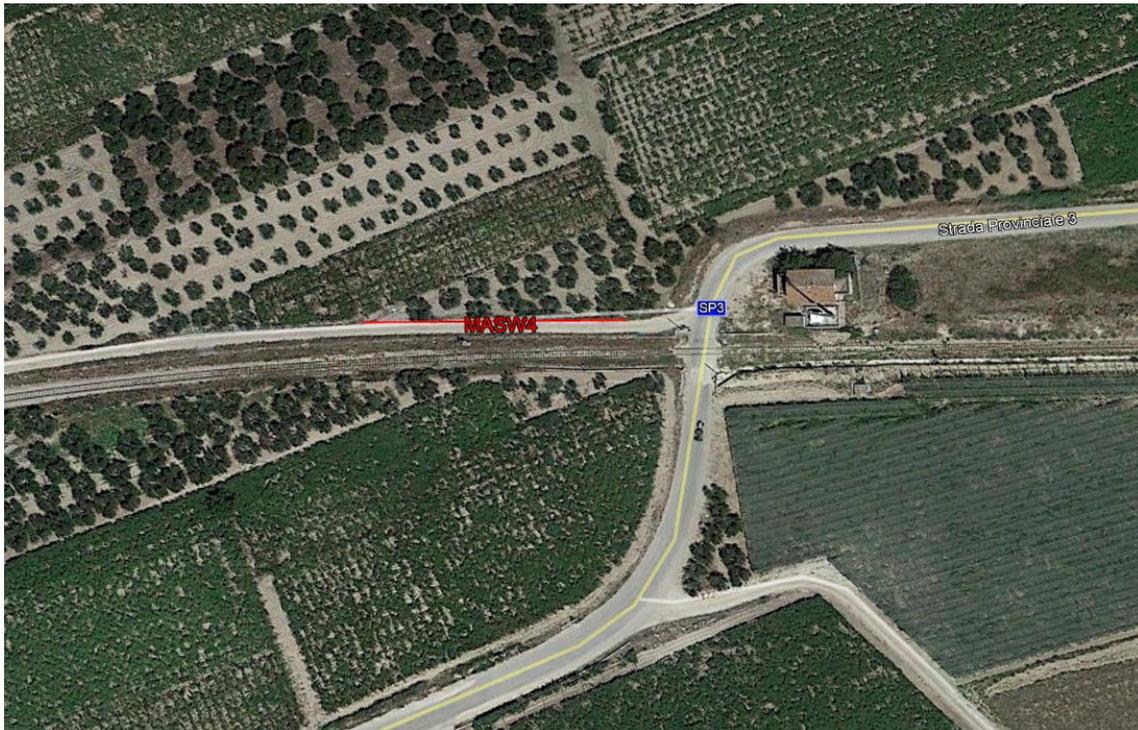


Figura 26: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW4.



Figura 27: 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 ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

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

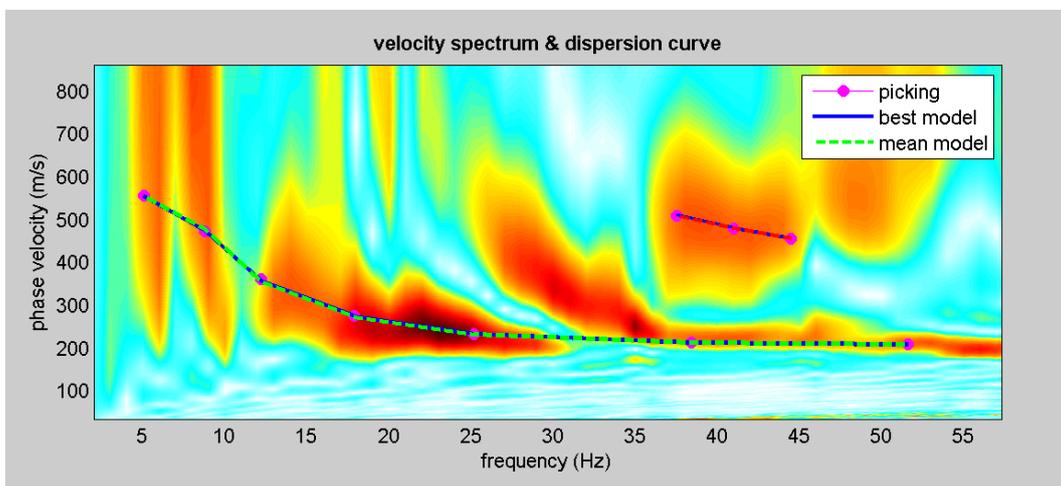


Figura 28: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

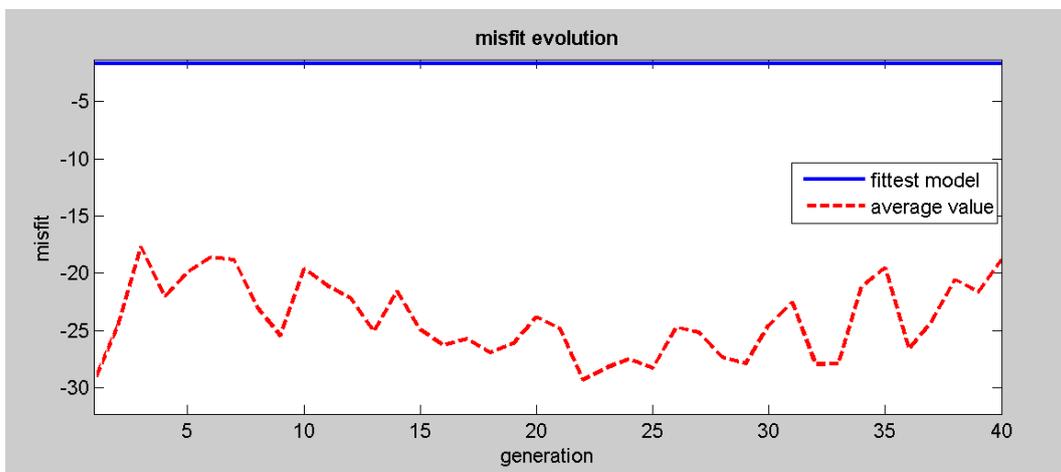


Figura 29: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

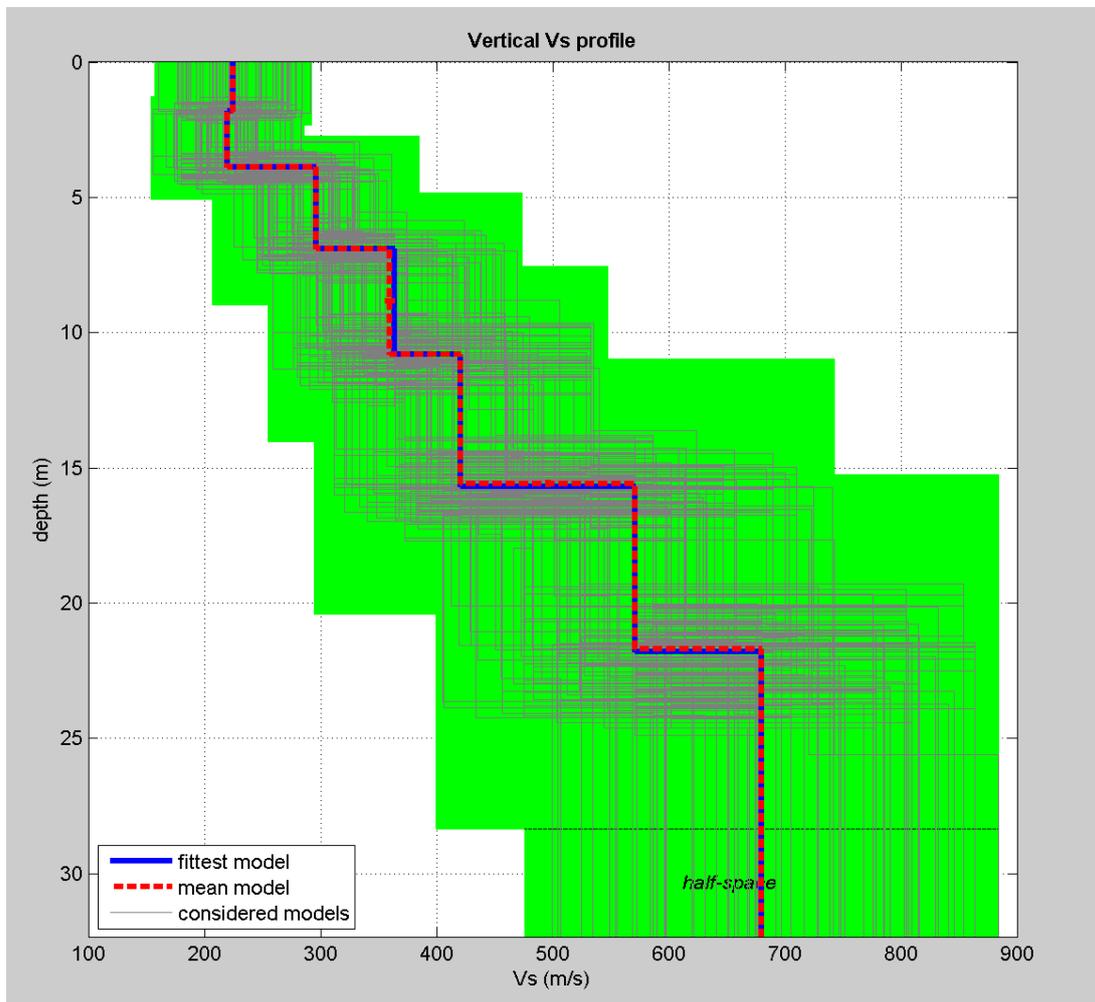


Figura 30: Modello risultante dall'inversione dei dati.

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:

$V_{s,eq} = 412 \text{ m/s}$

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 31: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW5.



Figura 32: Foto relativa all'esecuzione della prova MASW5.

MASW6

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 ω -p (trasformata τ -p & trasformata di Fourier) al fine di discriminare l'energia associata alle onde di Rayleigh.

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

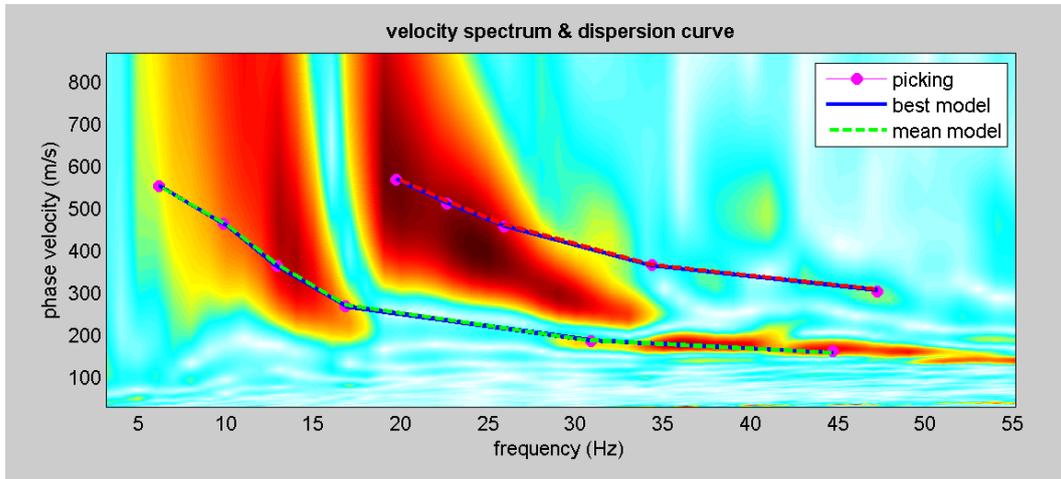


Figura 33: Modo fondamentale relativo al segnale sismico registrato in situ.

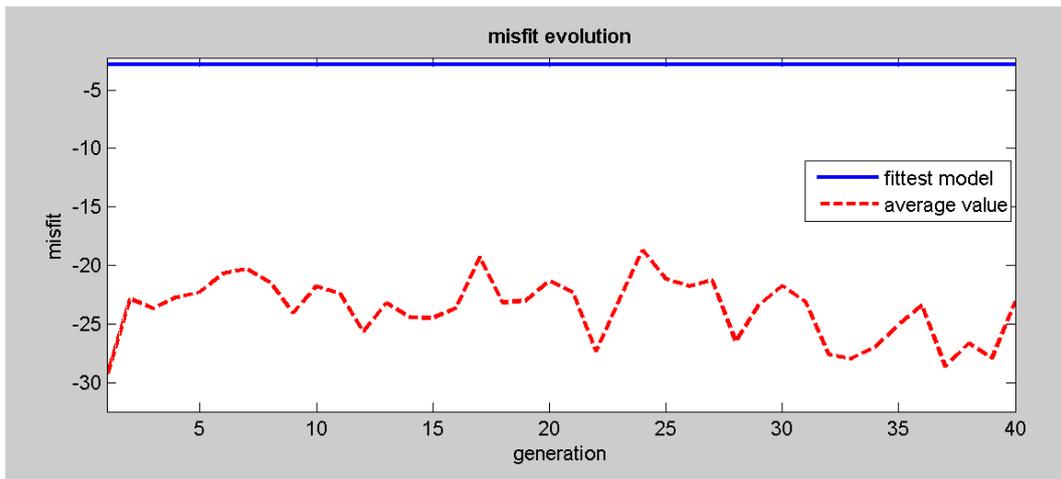


Figura 34: Confronto tra la curva di dispersione sperimentale e quella teorica.

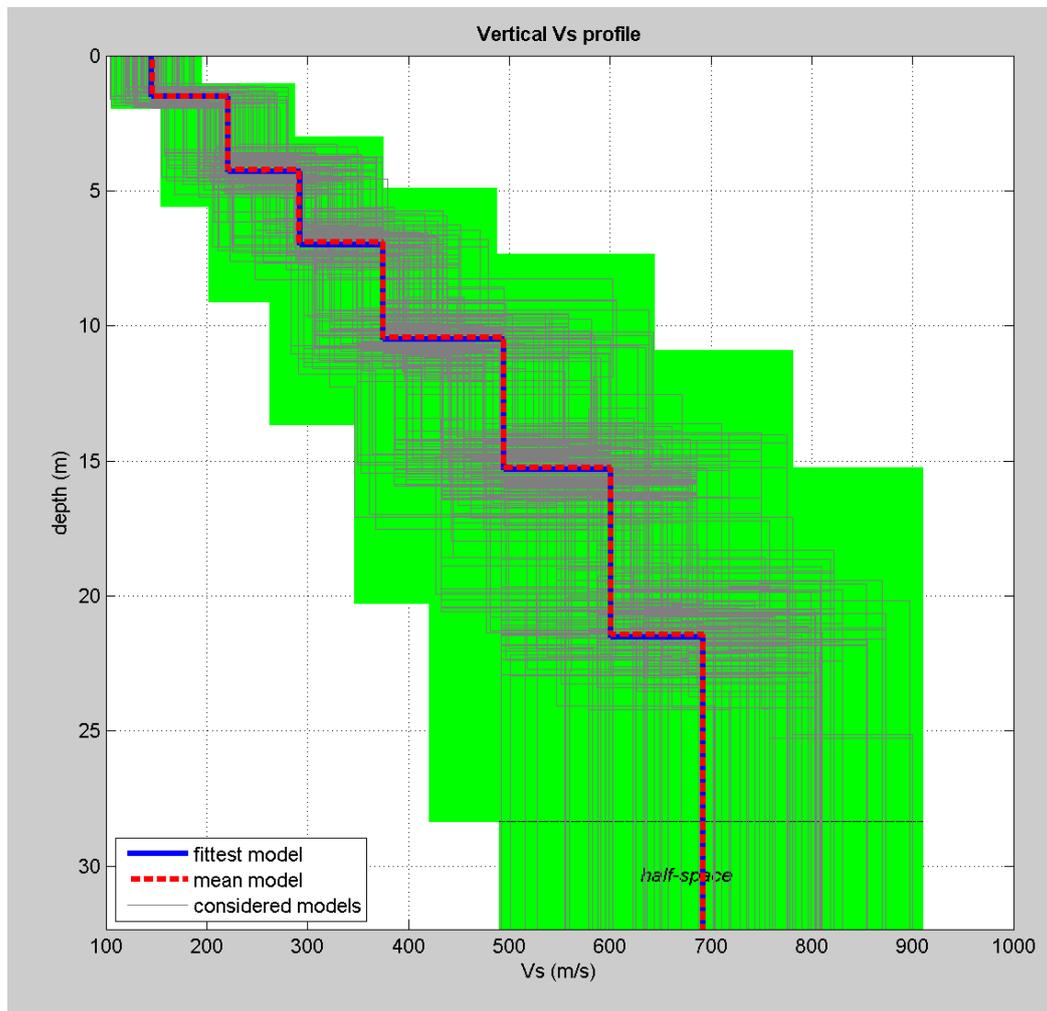


Figura 35: Modello risultante dall'inversione dei dati.

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 Vs eq è stata ricavata dalla formula:

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

Nel caso specifico è risultato:

Vs,eq = 408 m/s

Si tratta quindi di un suolo di **tipo B** (Ss = 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 36: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW6.



Figura 37: Foto relativa all'esecuzione della prova MASW6.

CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW1

Data: maggio 2020

Località Barletta (BT)

Coordinate LAT 41.317283 LONG 16.253458 (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	$\frac{S_s}{S_T}$
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.			

B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s	1.2	1.4 2	1.2
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.			
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fine scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.			
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.			

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

Categorie topografiche

St

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

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

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

Possibilità di superamento del 10% in 50 anni

$$T_0 = a_g \cdot S$$

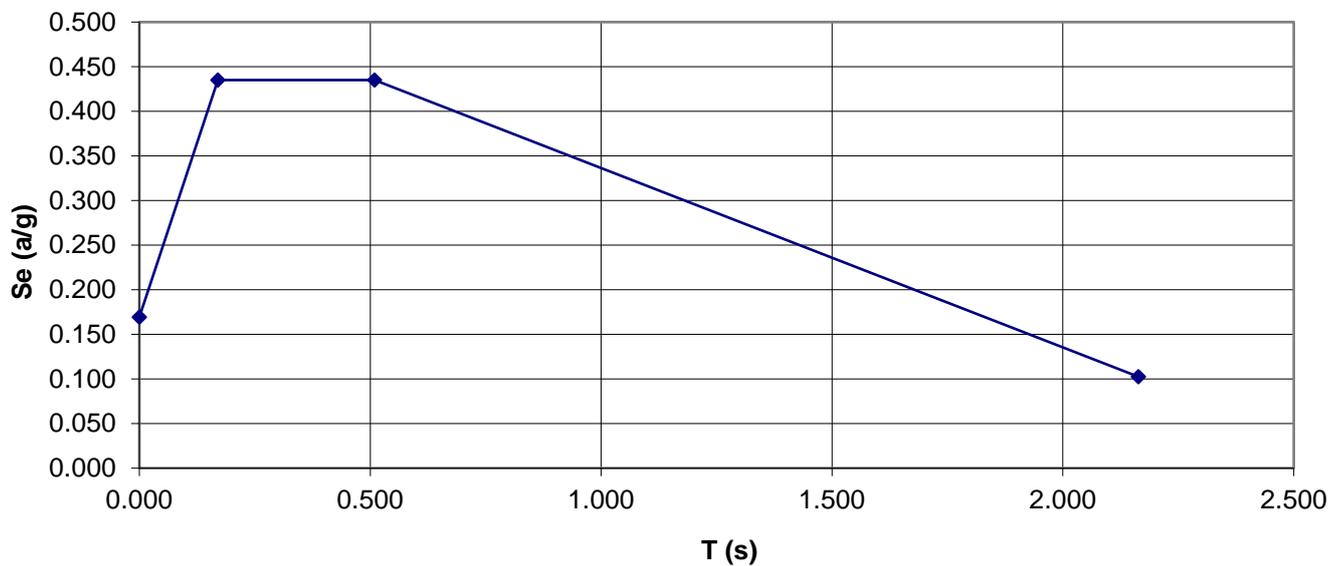
$$T_b = T_c / 3$$

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

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

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.169
0.170	0.435
0.509	0.435
2.164	0.102

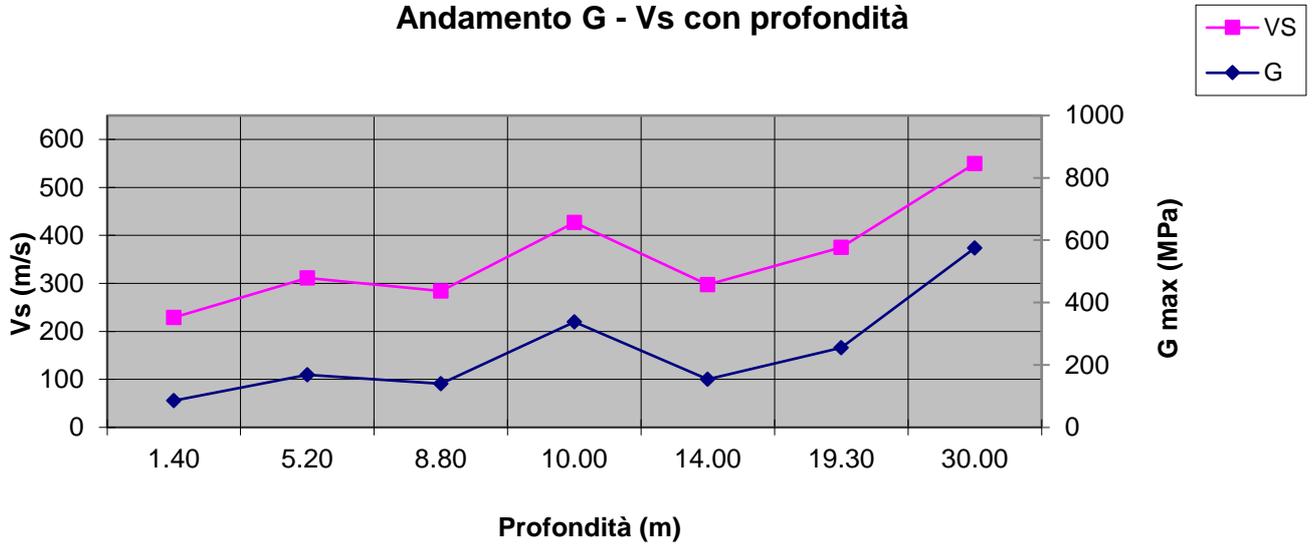
Spettro di risposta elastico NTC 2018



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1.40	1.63	229	86
5.20	1.74	311	169
8.80	1.73	284	139
10.00	1.85	427	338
14.00	1.74	297	154
19.30	1.82	375	255
30.00	1.90	550	575

$$V_{s,eq} = 370.95 \text{ m/s}$$

Andamento G - Vs con profondità



CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW2

Data: maggio 2020

Località Barletta (BT)

Coordinate LAT 41.309700 LONG 16.191216 (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 (come MASW1).

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

Categorie topografiche (come MASW 1).

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.

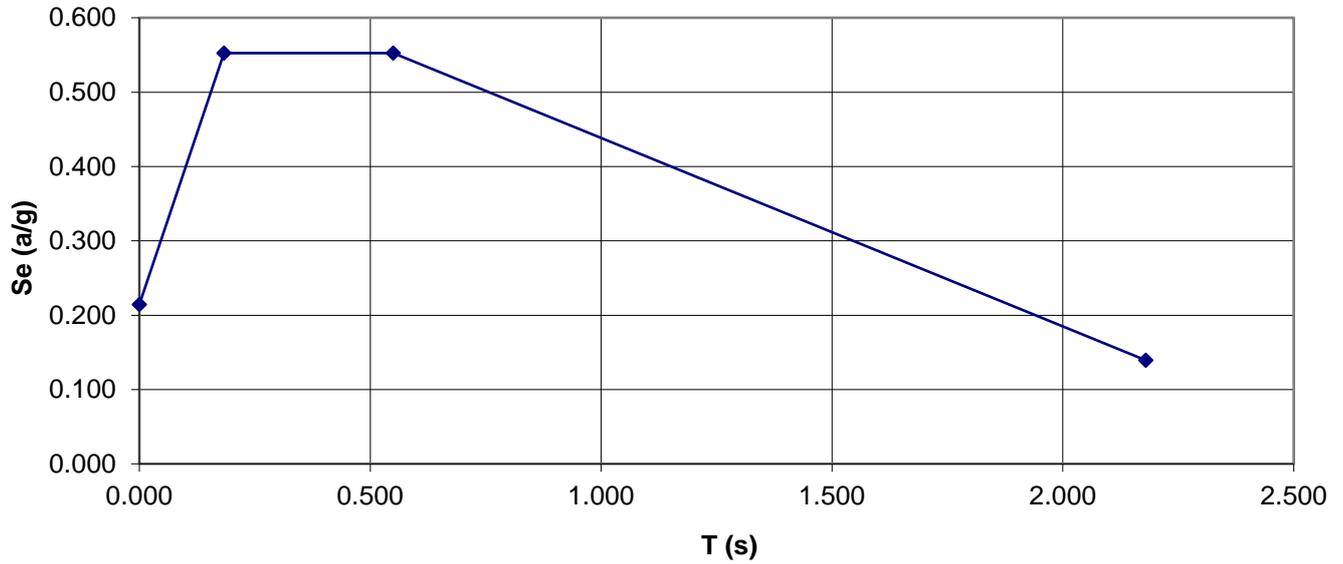
$$T_0 = a_g \cdot S$$

$$T_b = T_c / 3$$

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

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

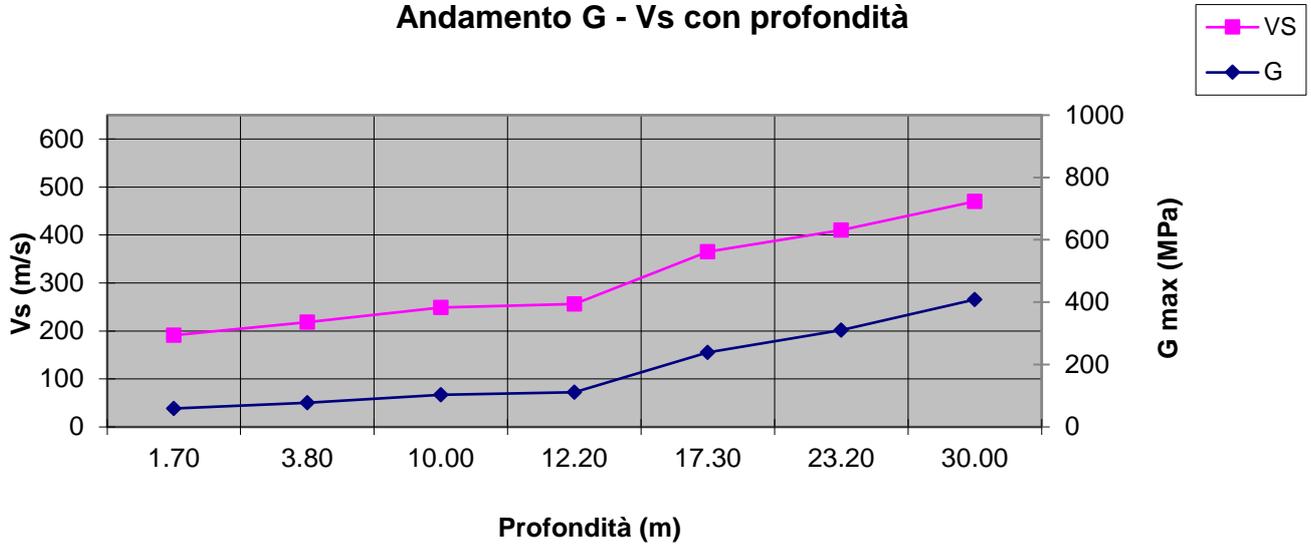
Spettro di risposta elastico NTC 2018



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1.70	1.60	191	58
3.80	1.63	218	78
10.00	1.66	249	103
12.20	1.69	256	111
17.30	1.79	365	238
23.20	1.84	410	310
30.00	1.85	470	408

$V_{s,eq} = 316.26 \text{ m/s}$

Andamento G - Vs con profondità



CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW3

Data: maggio 2020

Località Barletta (BT)

Coordinate LAT 41.294638 LONG 16.146701 (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 (come MASW1).

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

Categorie topografiche (come MASW1)

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

$$T_0 = a_g \cdot S$$

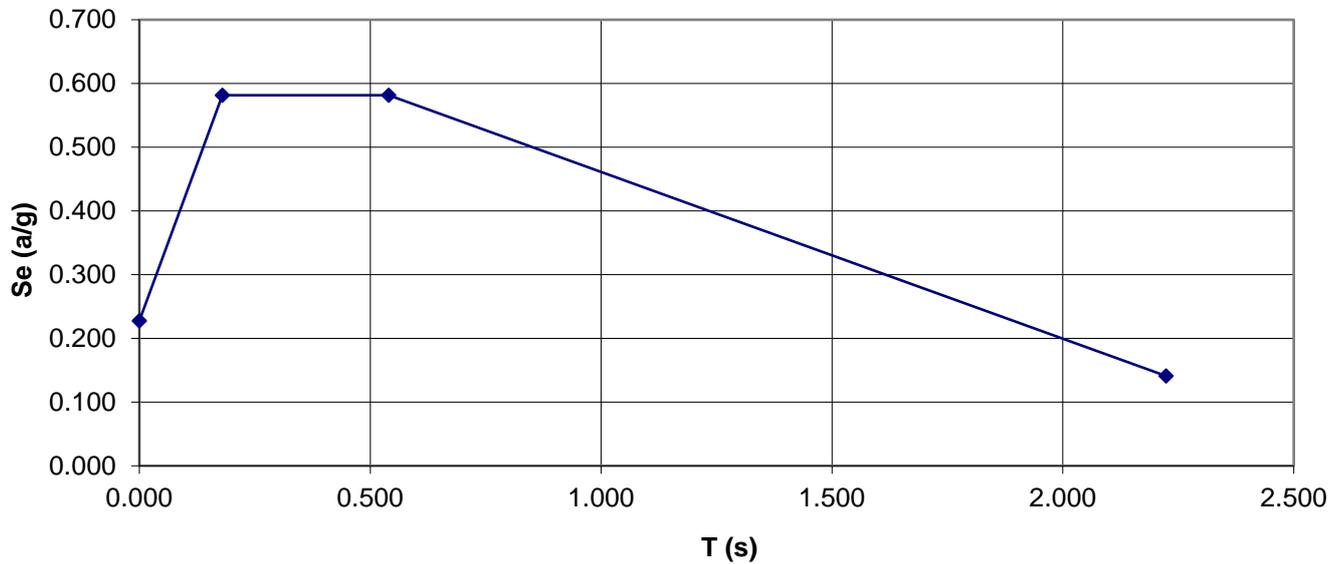
$$T_b = T_c / 3$$

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

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

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.228
0.180	0.582
0.540	0.582
2.224	0.141

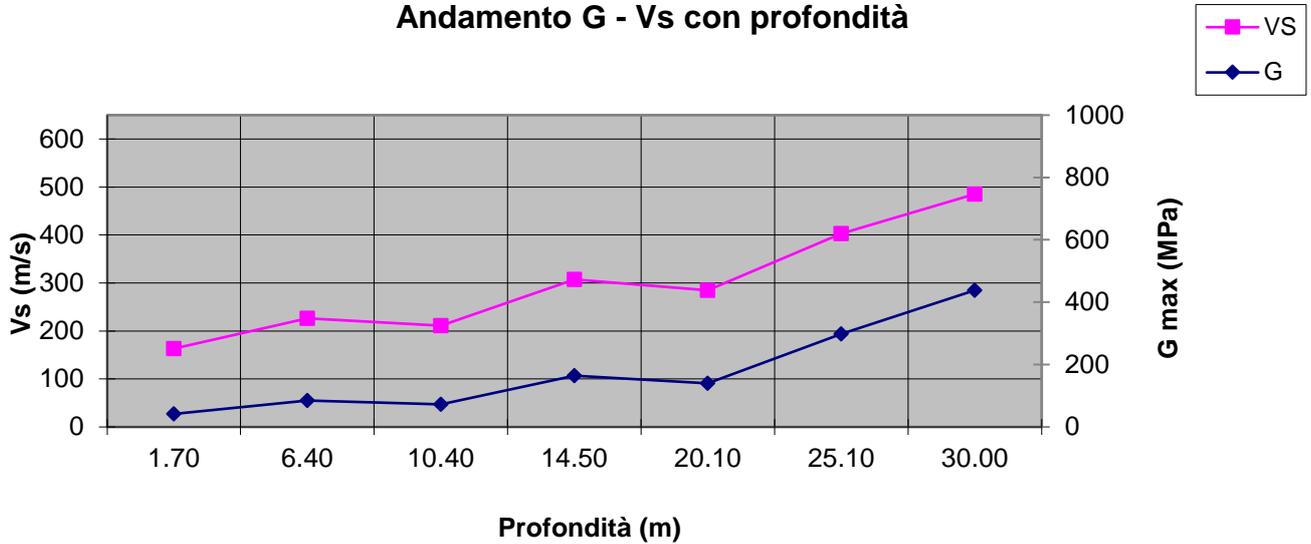
Spettro di risposta elastico NTC 2018



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1.70	1.56	163	41
6.40	1.65	226	84
10.40	1.63	211	72
14.50	1.74	307	164
20.10	1.72	285	140
25.10	1.84	403	299
30.00	1.86	485	438

$V_{s,eq} = 283.83 \text{ m/s}$

Andamento G - Vs con profondità



CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW4

Data: maggio 2020

Località Barletta (BT)

Coordinate LAT 41.282455 LONG 16.112331 (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 (come MASW1).

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

Categorie topografiche

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

$$T_0 = a_g \cdot S$$

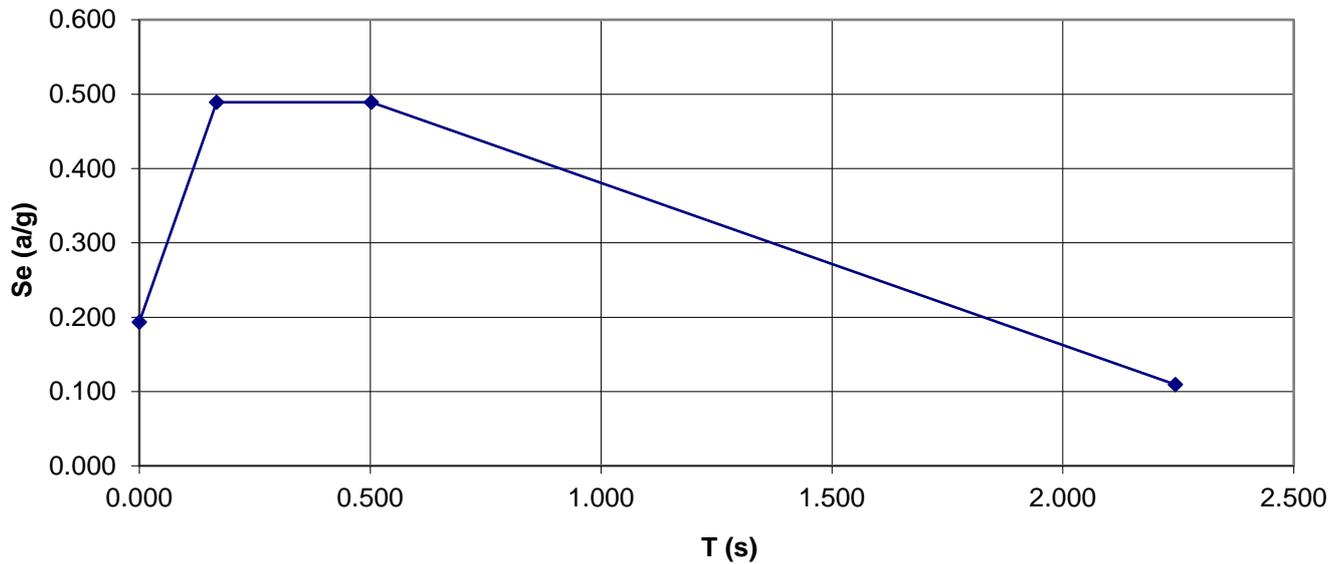
$$T_b = T_c / 3$$

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

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

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.193
0.168	0.489
0.503	0.489
2.244	0.110

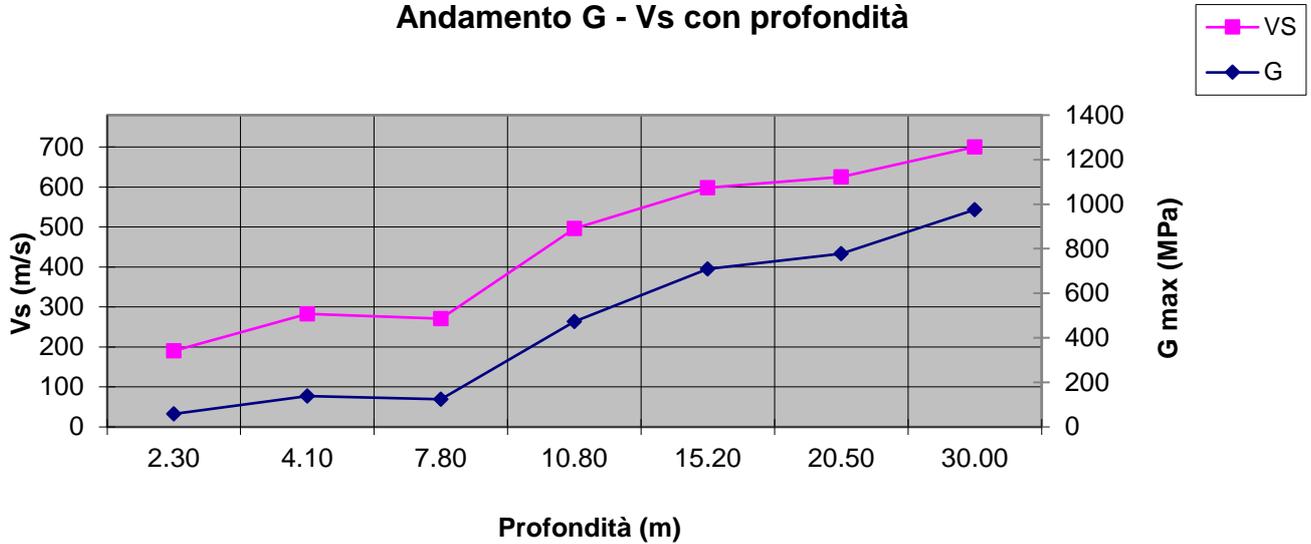
Spettro di risposta elastico NTC 2018



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
2.30	1.61	190	58
4.10	1.72	283	138
7.80	1.69	271	124
10.80	1.92	496	473
15.20	1.98	598	709
20.50	1.99	625	778
30.00	1.99	700	975

$V_{s,eq} = 443.94 \text{ m/s}$

Andamento G - Vs con profondità



CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW5

Data: maggio 2020

Località Canosa di Puglia (BT)

Coordinate LAT 41.242125 LONG 16.059872 (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 (come MASW1).

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

Categorie topografiche (come MASW1)

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

$$T_0 = a_g \cdot S$$

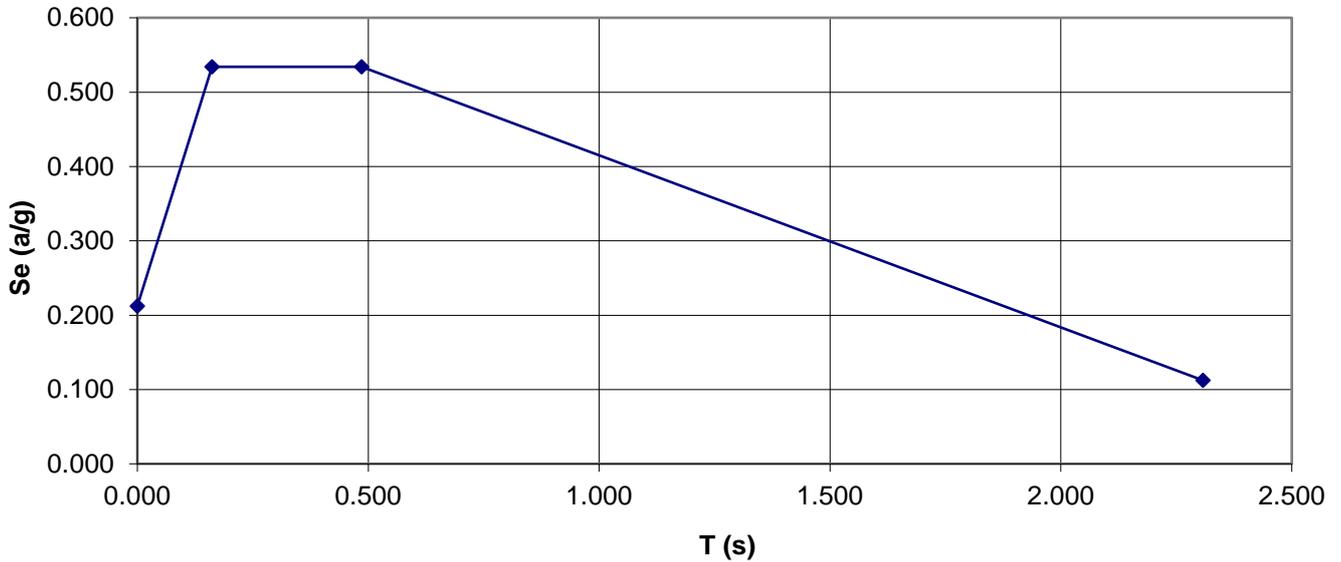
$$T_b = T_c / 3$$

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

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

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.212
0.162	0.534
0.486	0.534
2.308	0.112

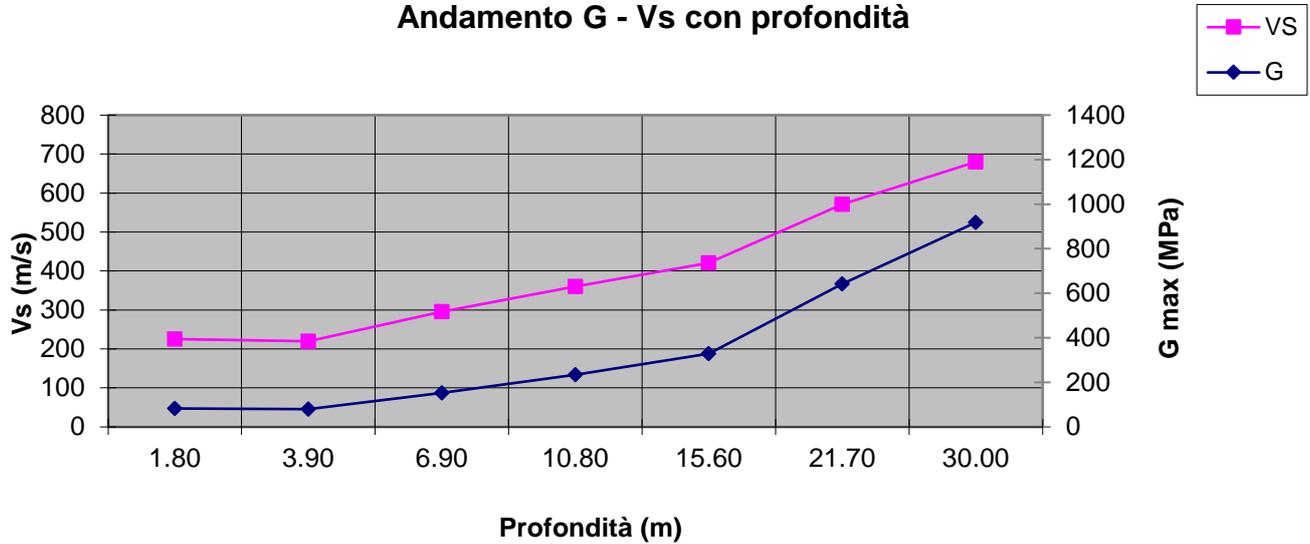
Spettro di risposta elastico NTC 2018



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1.80	1.63	225	82
3.90	1.64	220	79
6.90	1.75	296	153
10.80	1.80	360	234
15.60	1.85	421	328
21.70	1.97	571	641
30.00	1.99	680	919

$V_{s,eq} = 412.06 \text{ m/s}$

Andamento G - Vs con profondità



CLASSIFICAZIONE DEL SITO NTC 2018 MASW6

Data: maggio 2020

Località Canosa di Puglia (BT)

Coordinate LAT 41.220813 LONG 16.054501 (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 (come MASW1).

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

Categorie topografiche

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.

$$T_0 = a_g \cdot S$$

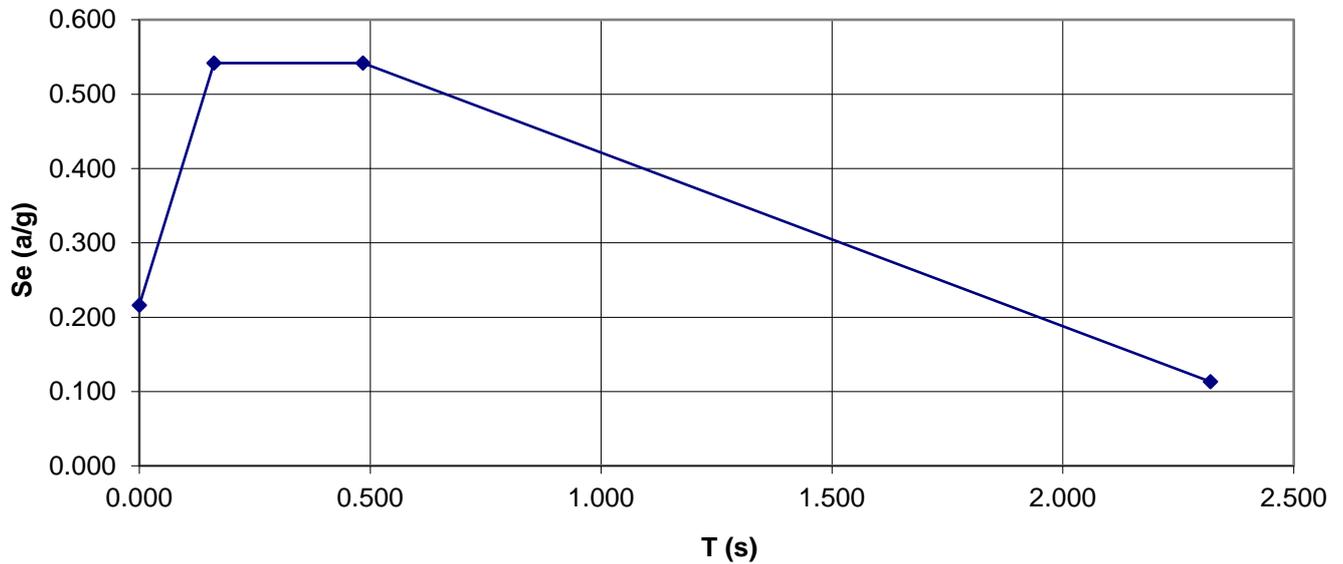
$$T_b = T_c / 3$$

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

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

Ascisse (s)	Ordinate (g)
0.000	0.216
0.162	0.542
0.485	0.542
2.320	0.113

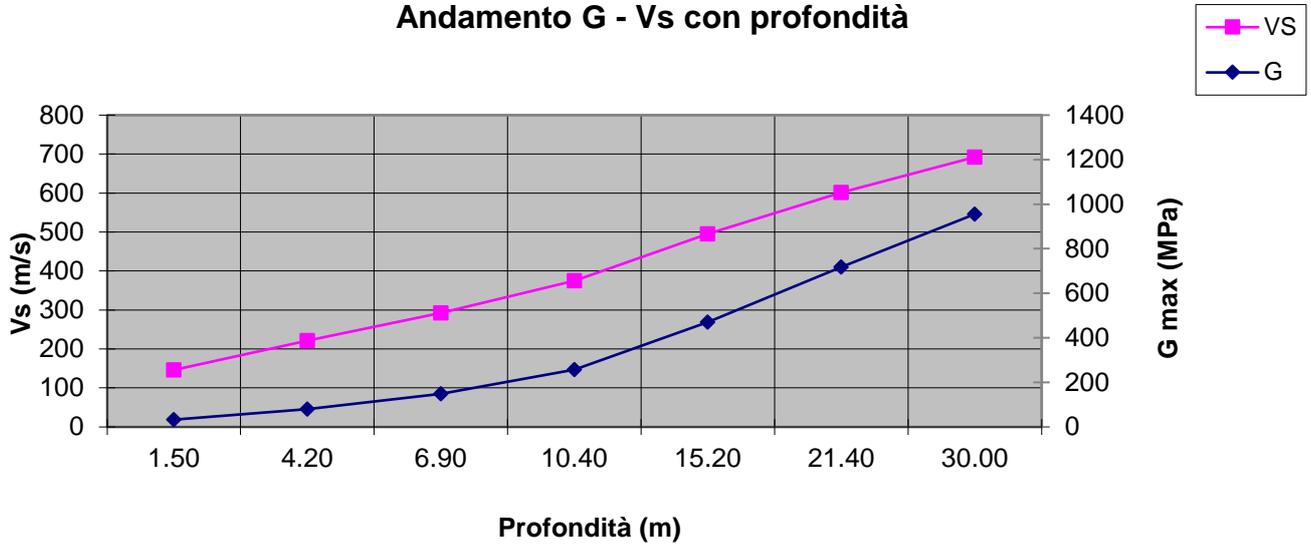
Spettro di risposta elastico NTC 2018



Depth (m)	Density (t/mc)	S-velocity (m/s)	Gmax (Mpa)
1.50	1.51	146	32
4.20	1.64	221	80
6.90	1.73	292	148
10.40	1.83	375	257
15.20	1.92	495	470
21.40	1.99	601	717
30.00	1.99	692	954

$V_{s,eq} = 408.10 \text{ m/s}$

Andamento G - Vs con profondità



7. 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)
- ω = frequenza misurata (rad)
- H = profondità del sismostrato (m)
- V_s = velocità delle onde di taglio (m/s)

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

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

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

CONDIZIONI DI CONGRUITA'

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

- 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.

8. RISULTATI INDAGINE SISMICA PASSIVA (HVSRI)

HVSRI

Strumento: TRZ-0153/01-11 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 13/05/20 15:51:12 Fine registrazione: 13/05/20 16:11:12

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN Dato GPS non disponibile

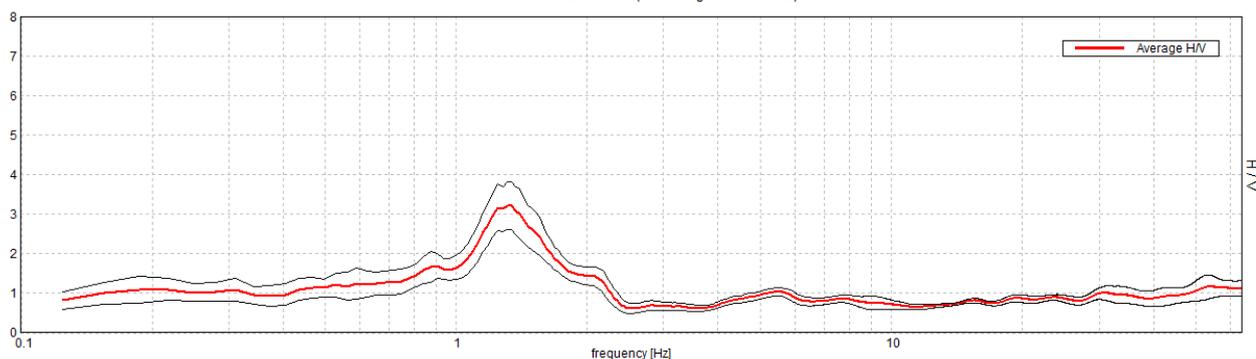
Durata registrazione: 0h20'00" Analizzato 35% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

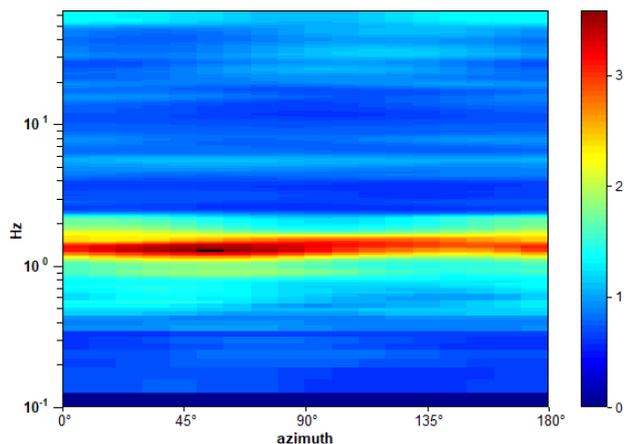
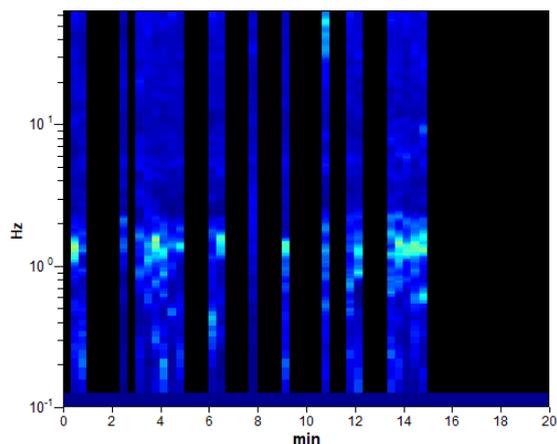
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at 1.34 ± 0.03 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

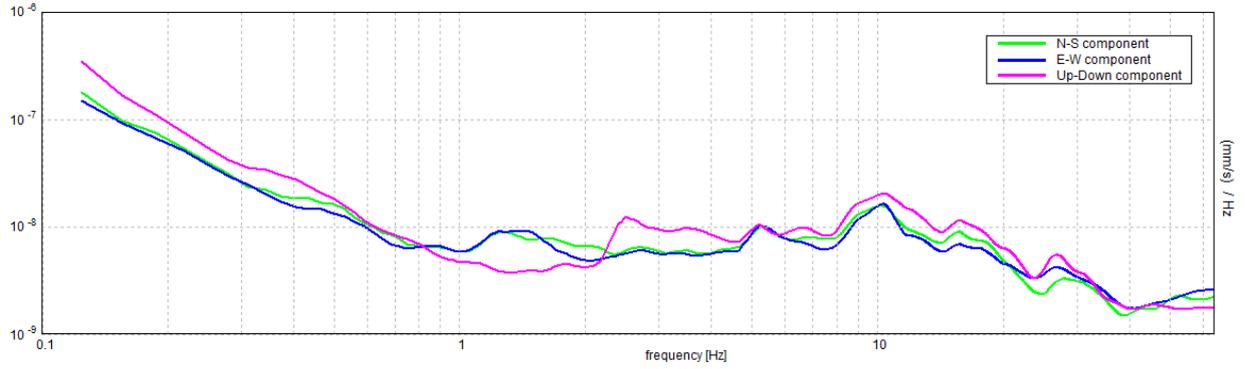


SERIE TEMPORALE H/V

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 1.34 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.34 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$564.4 > 200$	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 66	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.969 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.21 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02212 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02972 < 0.13438$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6075 < 1.78$	OK	

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

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

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



Figura 38: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR1.



Figura 39: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR1.

HVSR2

Strumento: TRZ-0153/01-11 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 13/05/20 14:54:30 Fine registrazione: 13/05/20 15:14:31

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile

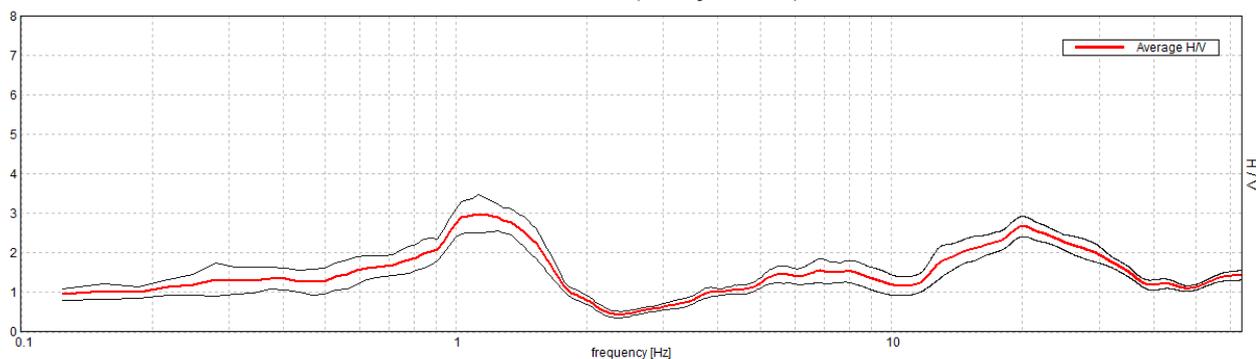
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 50% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

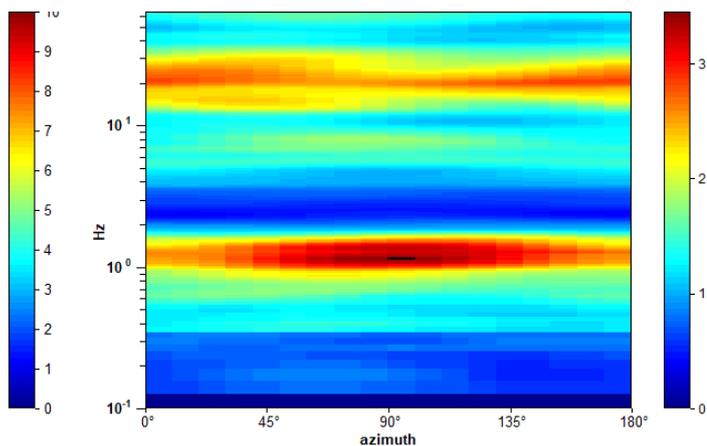
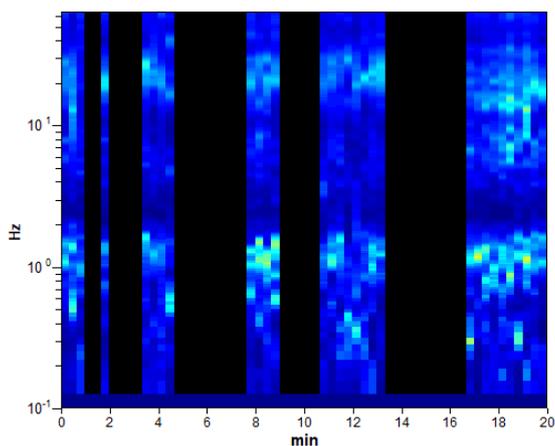
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

Max. H/V at 1.13 ± 0.14 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).

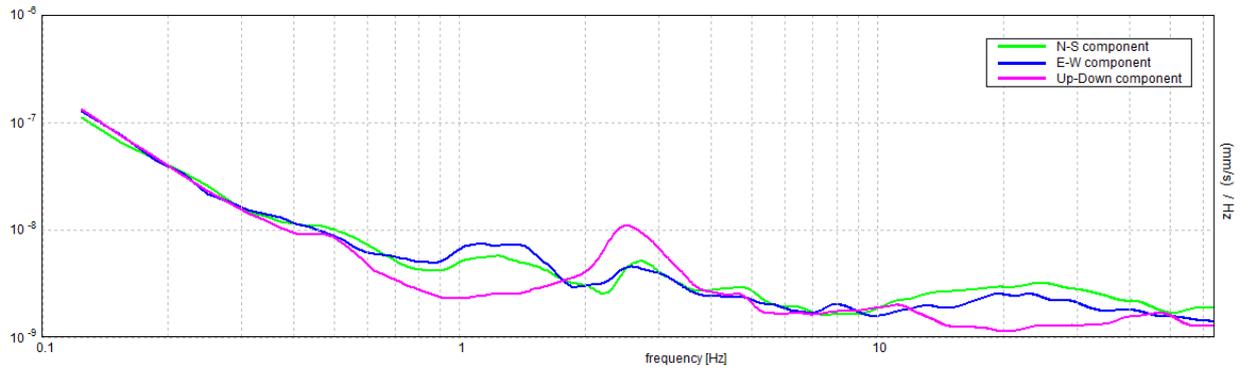


SERIE TEMPORALE H/V

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 1.13 ± 0.14 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).
Altro Picco H/V a 11.03 ± 0.15 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.13 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$675.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 55	OK	

Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.563 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.719 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.99 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.12464 < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.14022 < 0.1125$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4754 < 1.78$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilit� $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
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 $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ � 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 stabilit� $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

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

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

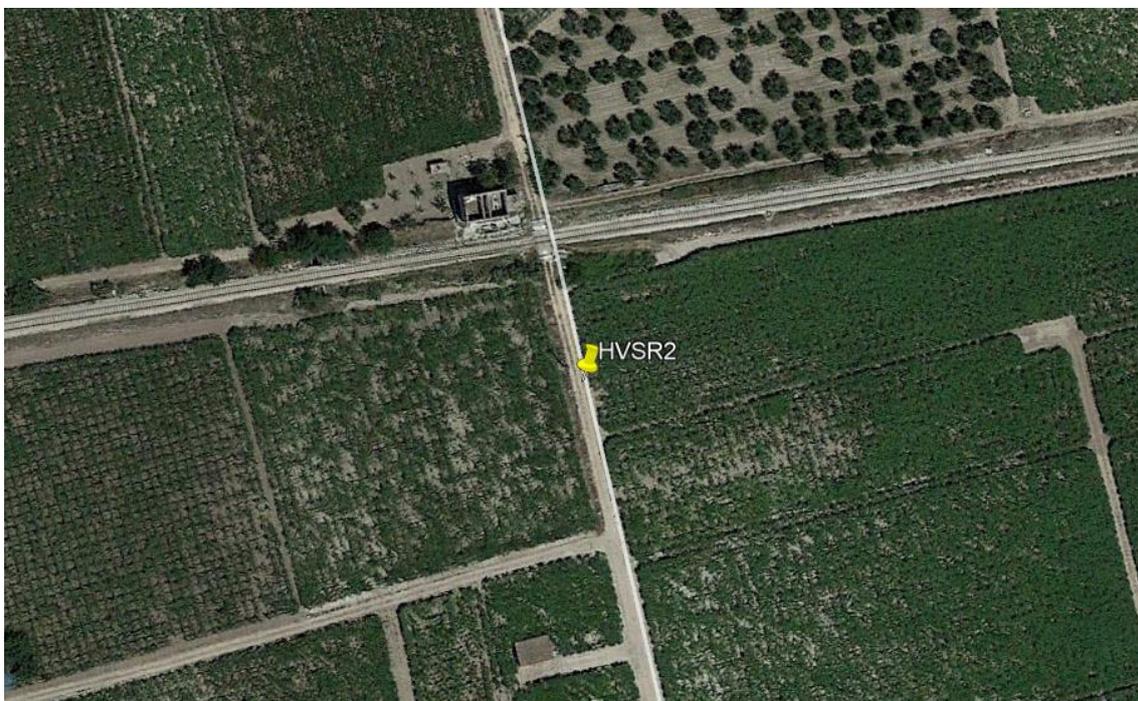


Figura 40: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVS2.



Figura 41: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR2.

HVSR3

Strumento: TRZ-0153/01-11 Formato dati: 16 byte Fondo scala

[mV]: 51

Inizio registrazione: 13/05/20 13:52:09 Fine registrazione: 13/05/20 14:12:09 Nomi

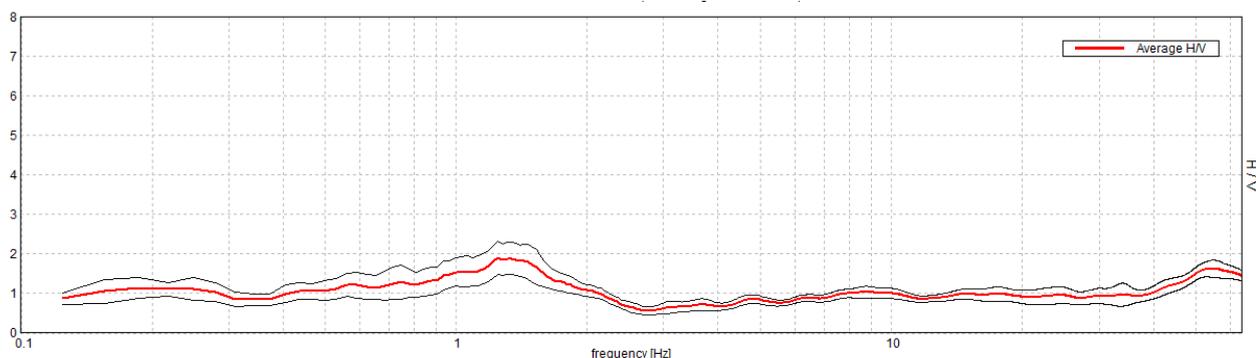
canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 42% tracciato (selezione manuale)

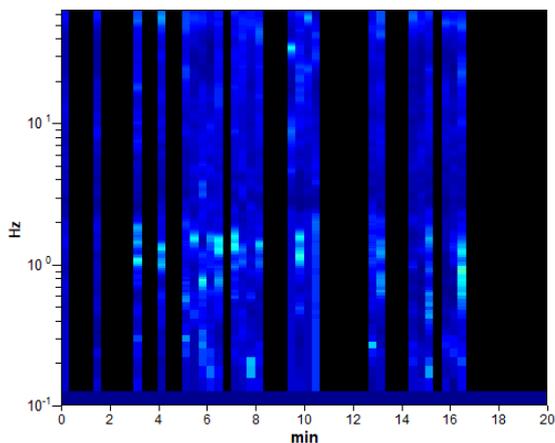
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

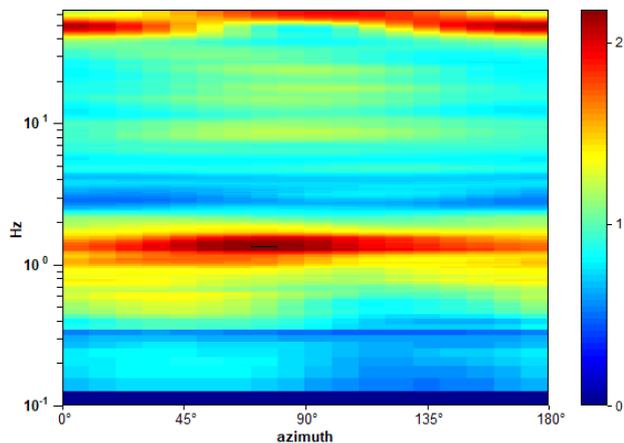
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



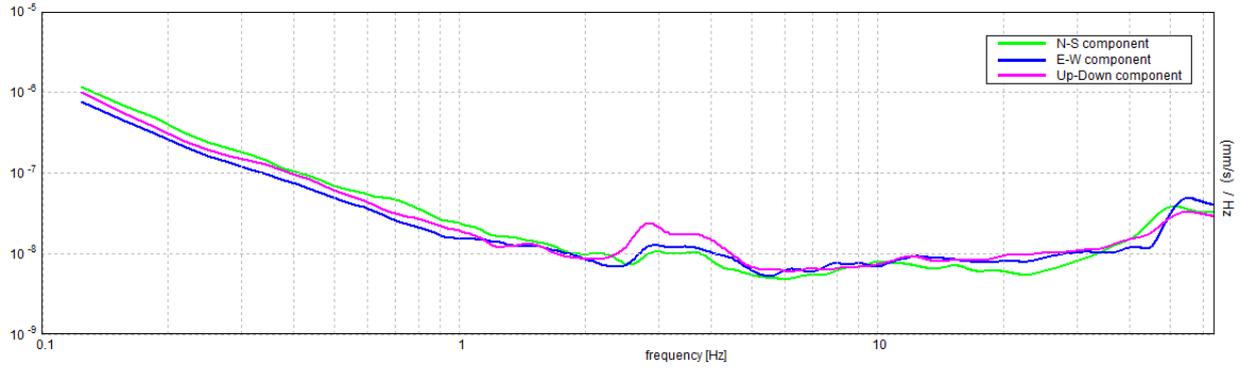
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[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 1.25 ± 0.18 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.25 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$625.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 61	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.375 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.219 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.90 > 2$		
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 17.74244 < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$22.17805 < 0.125$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4263 < 1.78$	OK	

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

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

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

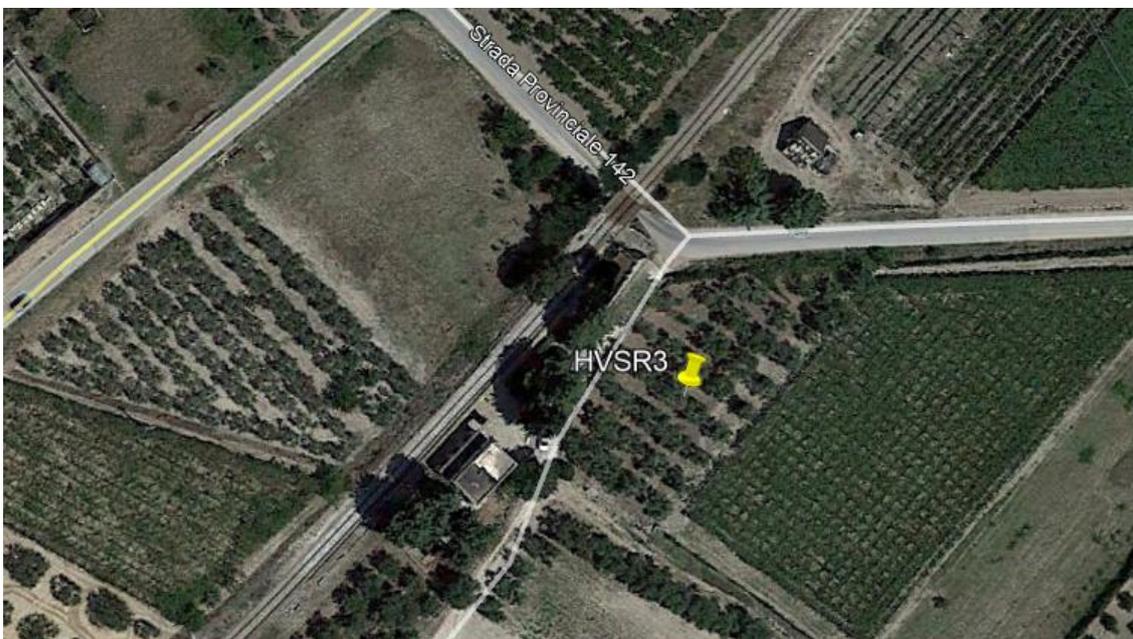


Figura 42: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR3.



Figura 43: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR3.

HVSR4

Strumento: TRZ-0153/01-11 Formato dati: 16 byte Fondo scala
[mV]: 51

Inizio registrazione: 13/05/20 12:39:42 Fine registrazione: 13/05/20 12:59:42

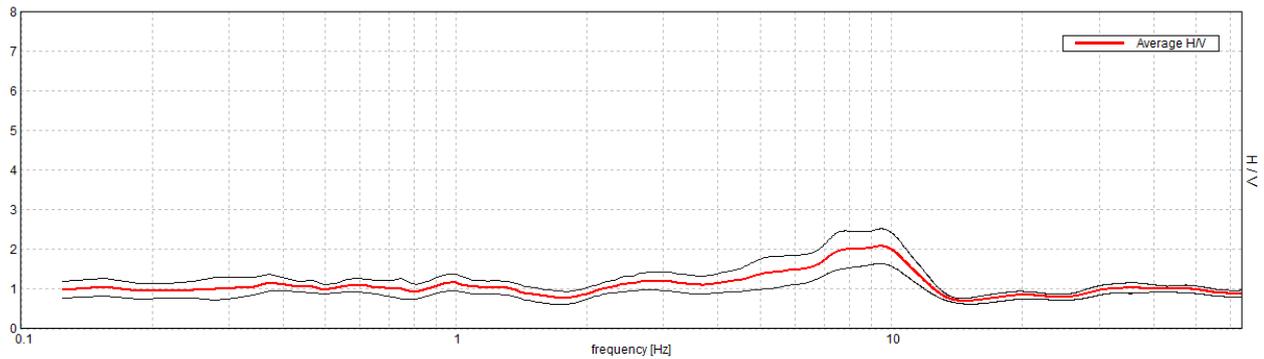
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non
disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 42% tracciato (selezione manuale)

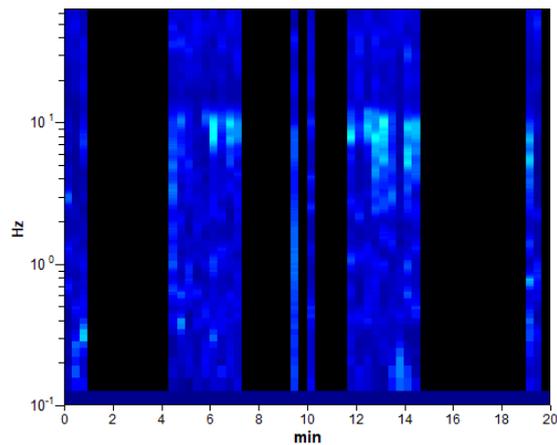
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 15%

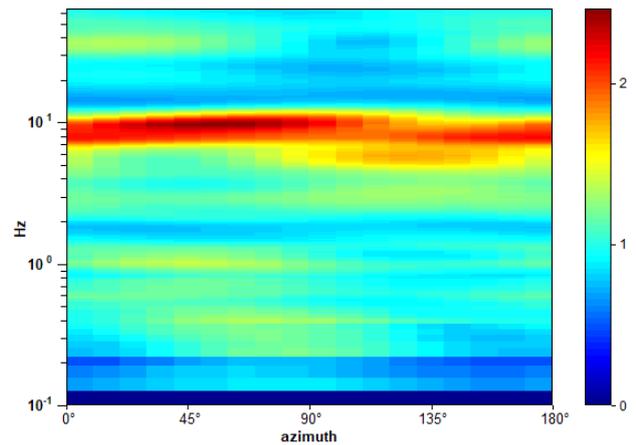
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



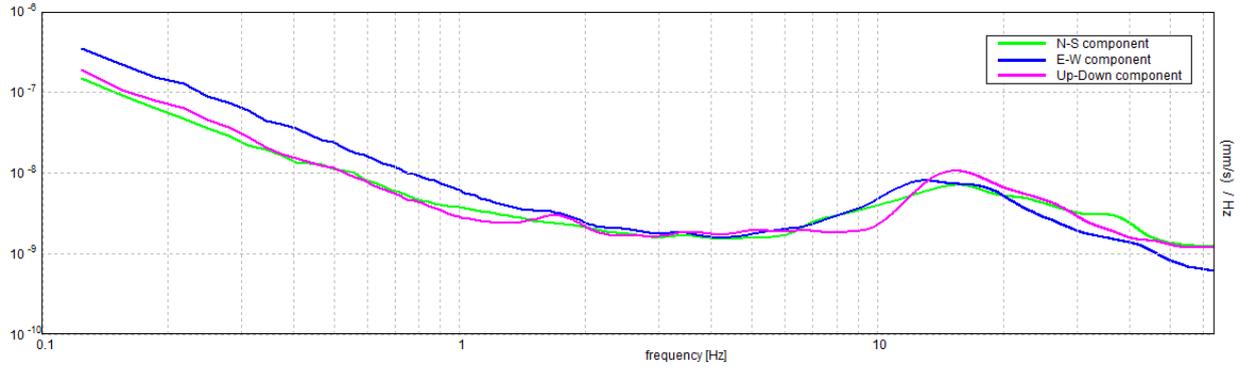
SERIE TEMPORALE H/V



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 9.47 ± 0.67 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$9.47 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4734.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 456	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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	12.438 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.08 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.49297 < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$4.66783 < 0.47344$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4415 < 1.58$	OK	

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

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

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

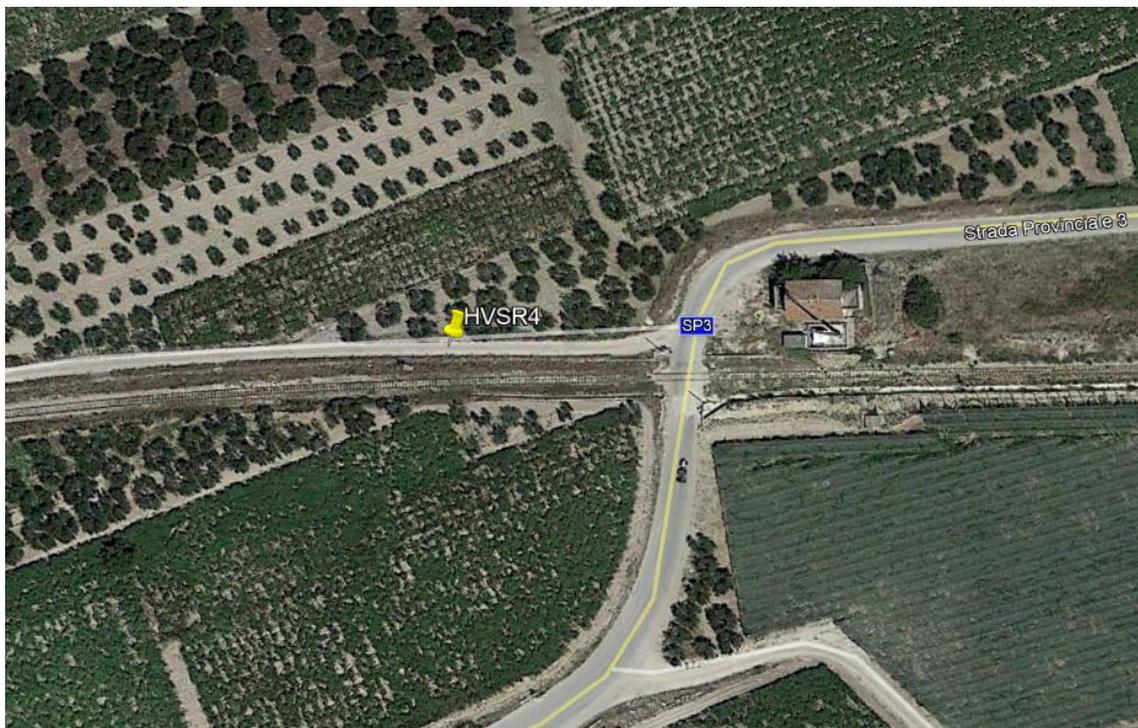


Figura 44: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR4.



Figura 45: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR4.

HVSR5

Strumento: TRZ-0153/01-11 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 13/05/20 11:49:49 Fine registrazione: 13/05/20 12:09:49

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile

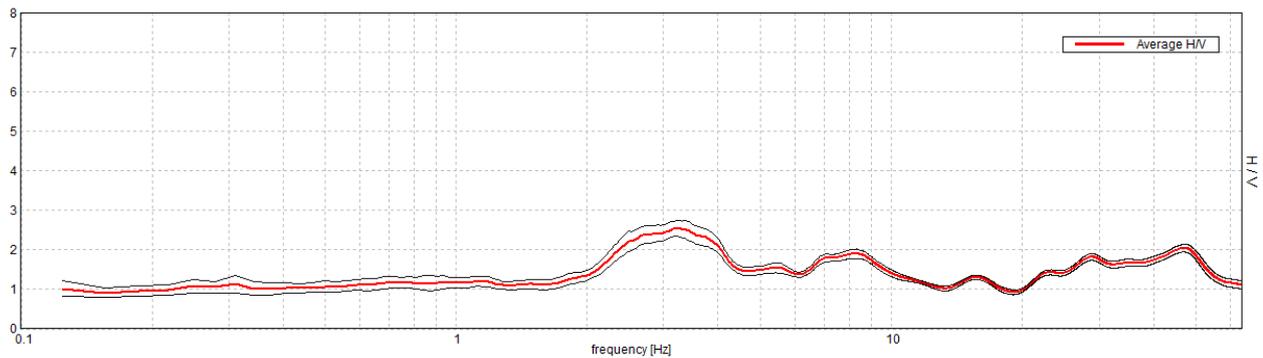
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

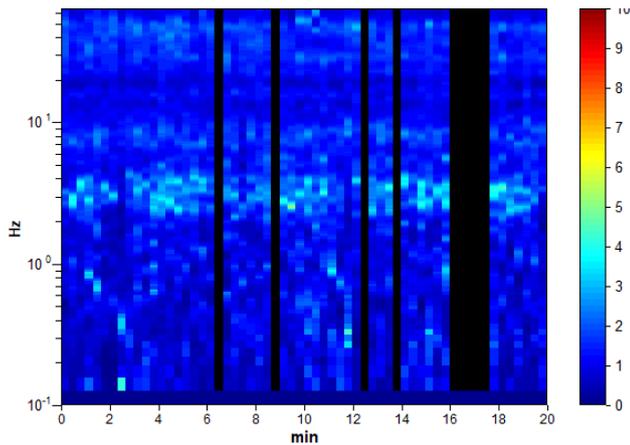
Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

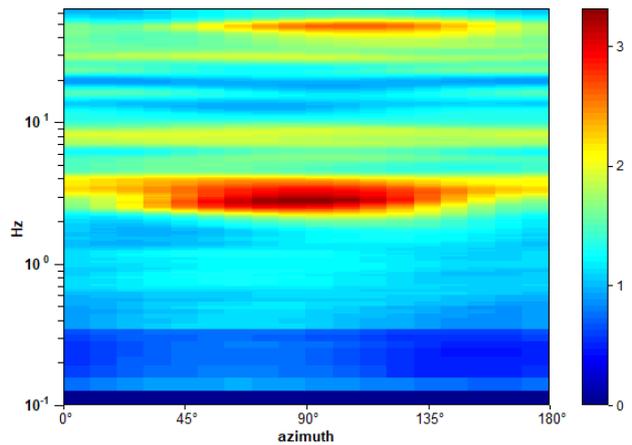
Max. H/V at 3.22 ± 0.24 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



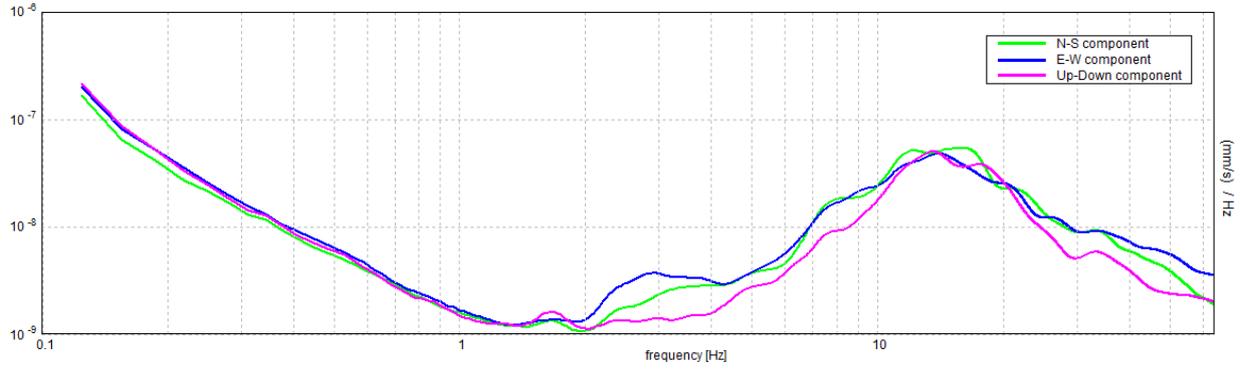
SERIE TEMPORALE H/V



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 3.22 ± 0.24 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.22 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3283.1 > 200$	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 156	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.813 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	10.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.53 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07355 < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.23674 < 0.16094$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1962 < 1.58$	OK	

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

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

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

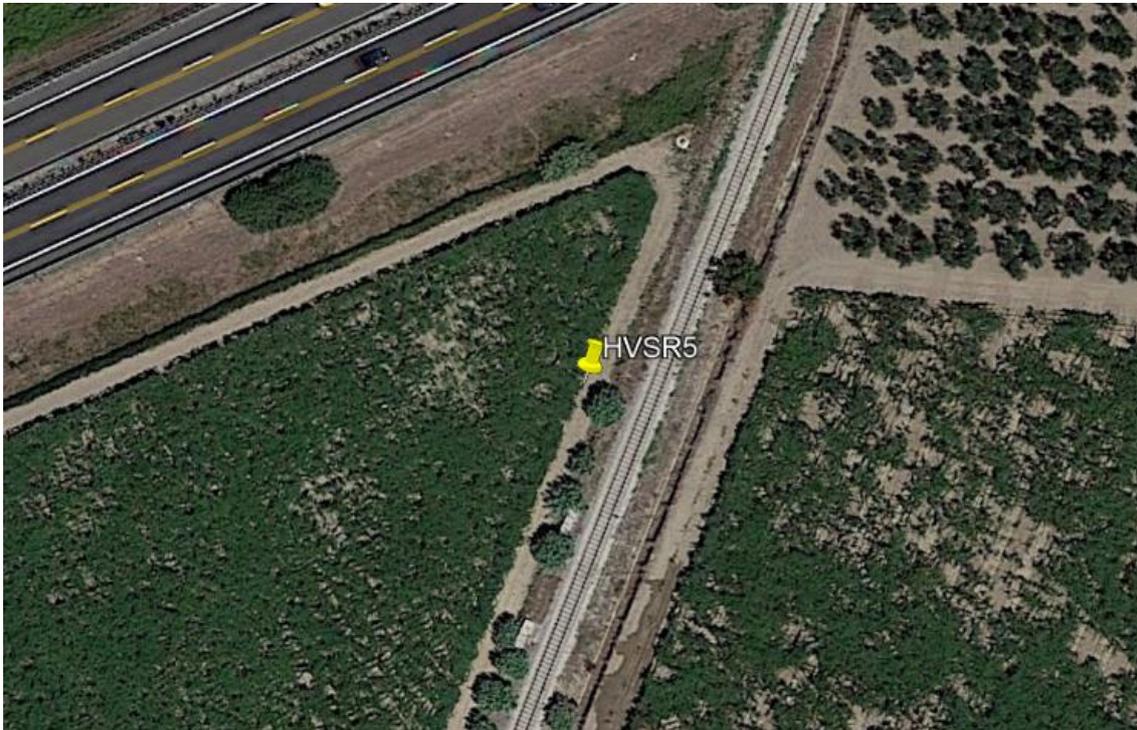


Figura 46: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR5.



Figura 47: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSr5.

HVSR6

Strumento: TRZ-0153/01-11 Formato dati: 16 byte Fondo scala [mV]: 51

Inizio registrazione: 13/05/20 11:05:12 Fine registrazione: 13/05/20 11:25:12

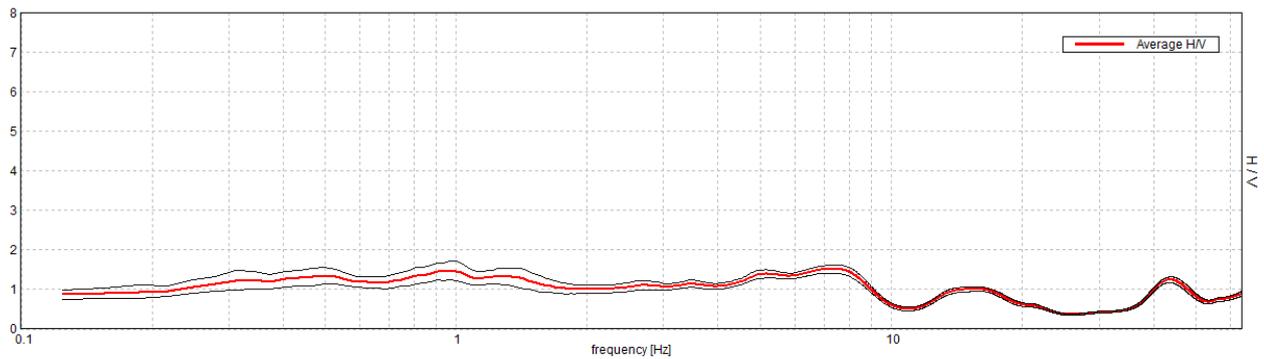
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 83% tracciato (selezione manuale)

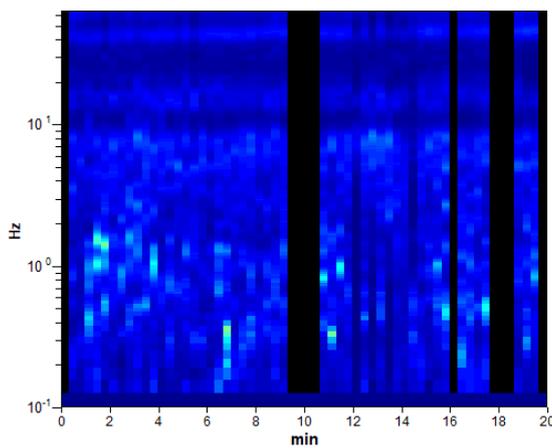
Freq. campionamento: 128 Hz Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window Lisciamento: 15%

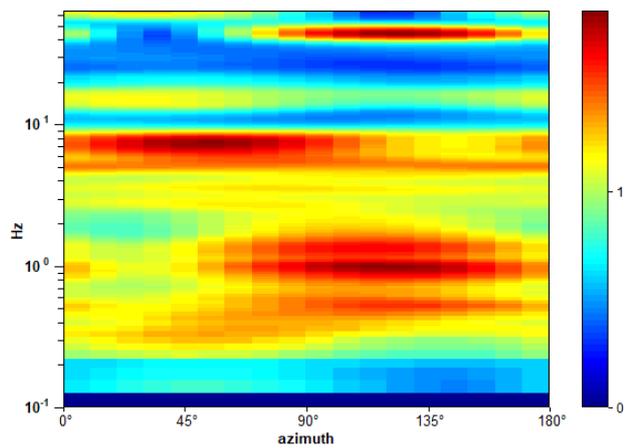
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



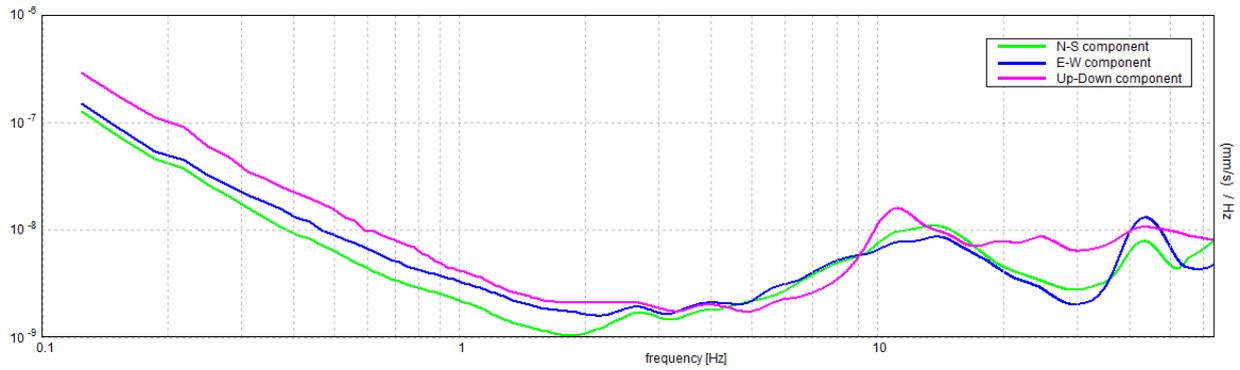
SERIE TEMPORALE H/V



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 7.44 ± 0.13 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$7.44 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$7437.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ 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 358	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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.531 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.51 > 2$		
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.68973 < 0.05$		
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$5.12987 < 0.37188$		
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.101 < 1.58$	OK	

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

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

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



Figura 48: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova HVSR6.



Figura 49: Foto relativa all'esecuzione della prova HVSR6.

9. INDAGINE SISMICA CON METODO MASW 2D

Dal punto di vista sperimentale l'acquisizione Masw 2D viene eseguita con una metodologia simile alla tecnica Masw1D, implementata dalla tecnologia "streamer", data dalla configurazione geometrica dei ricevitori.

L'indagine sismica *streamer* consiste nel produrre sulla superficie del terreno, in prossimità del sito da investigare, sollecitazioni dinamiche verticali per la generazione delle onde P e/o S e di Rayleigh e nel registrare le vibrazioni prodotte, sempre in corrispondenza della superficie, a distanze note e prefissate mediante sensori a componente verticale/orizzontale. I geofoni sono posti su una piastra tonda in acciaio alla cui base sono posti tre piedini, per conferire alla piastra stabilità e impedire il rovesciamento; le piastre sono collegate da un lungo nastro di traino in nylon che si muove in solido con il cavo geofonico.

Questo metodo consente di disporre di una "copertura multipla" per cui le onde sismiche provenienti dallo stesso punto in profondità hanno seguito diversi percorsi caratterizzati da angoli di incidenza diversi. La possibilità di verificare "in continuo" l'andamento degli spessori di vari strati permette un'ottimale caratterizzazione del sito, consentendo la definizione puntuale delle caratteristiche sismiche, fattore che non sarebbe potuto avvenire realizzando singoli stendimenti. Ulteriori vantaggi stanno nel fatto che i geofoni non devono essere piantati risparmiando tempo e personale.

Interpretazione Masw 2D

Il primo passo nell'elaborazione prevede la definizione della curva di dispersione la quale gode di una certa "variabilità" giustificata nell'influenza sulle misure dalla distanza dei ricevitori, posizione della sorgente e il volume di terreno campionato.

Il secondo passo consiste nell'inversione della curva di dispersione, al fine di individuare quale sia il profilo di rigidità che riproduce la curva sperimentale.

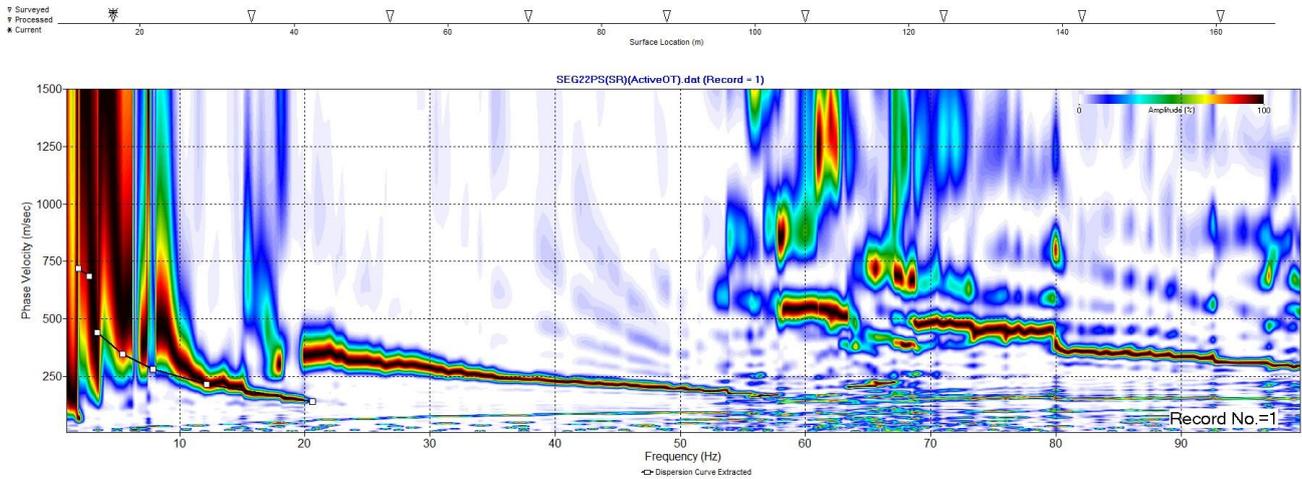


Figura 50: Esempio di picking relativo a "shoot 1"

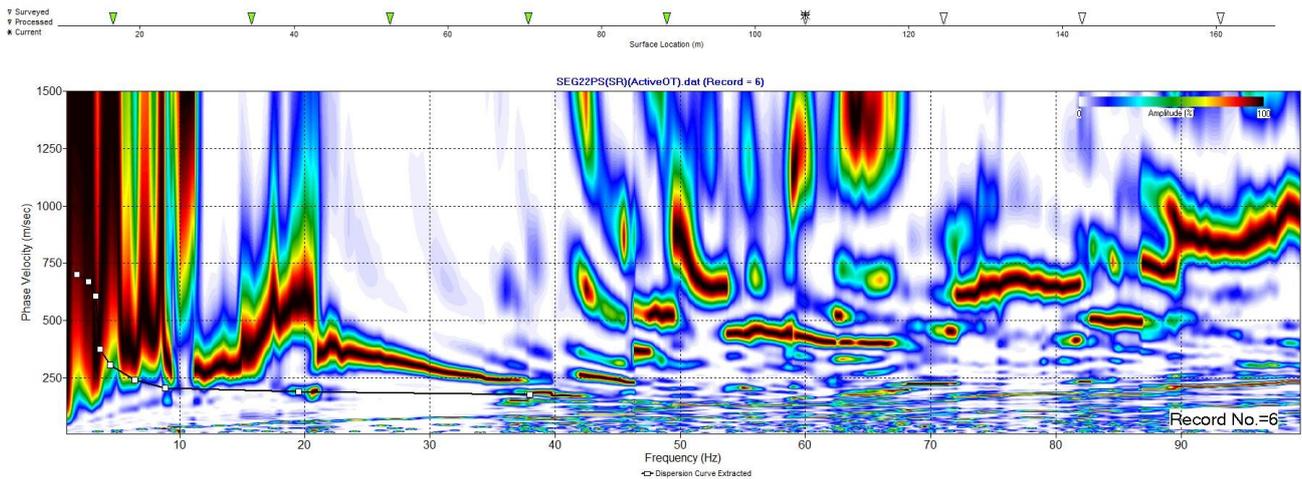


Figura 51 Esempio di picking relativo a "shoot 6"

I modelli di analisi adoperati sono molteplici, mentre il metodo utilizzato per ottenere lo spettro delle velocità e l'inversione della curva di dispersione nel presente lavoro si basa sul metodo *phase shift* utilizzando la tecnica di calcolo degli algoritmi genetici.

In riferimento all'acquisizione di onde Rayleigh con tecnica di sismica attiva (prova Masw 2D), sono state adottate le seguenti caratteristiche:

- 24 geofoni verticali (frequenza di 4,5 Hz); Spaziatura dei geofoni: 3m;
- sorgente: massa da 8 kg; Distanza energizzazioni: 1-2 volte la spaziatura;
- Spostamento "Streamer" 6 Geofoni
- Lunghezza registrazione del singolo evento: 2000 millisecondi;
- Campionamento del segnale: 1 millisecondi.

STRUMENTAZIONI UTILIZZATE

N°	Strumentazione per prove sismiche attive di superficie (MASW 2D)
1	Sismografo Echo 24-48 2010 prodotto dalla Ambrogeo s.r.l. di Piacenza (PC)
1	Toughbook Panasonic CF-19
24	geofoni verticali con frequenza 4,5 Hz (Geospace)
1	cavo di collegamento per geofoni 24 take-out/2,0-5,0 metri
1	massa battente del peso di 8 kg
1	linea trigger con dispositivo hammer-switch

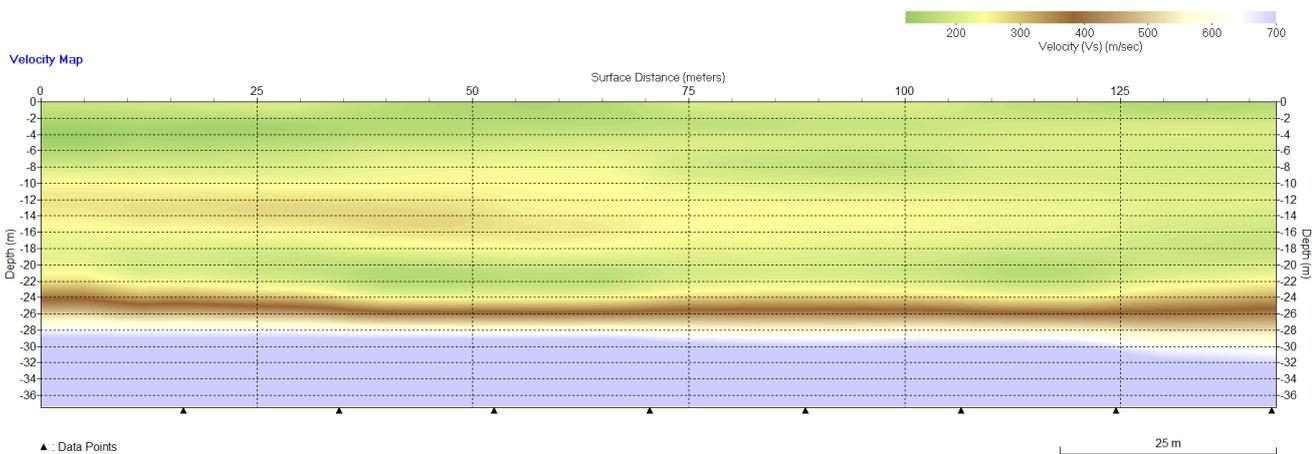
Masw 2D 1

Lunghezza profilo: 145 m

Shoot : n.9

ENE

OSO



Il profilo Masw 2D registra 3 intervalli sismici (VS):

- Il primo intervallo registra velocità variabili tra 100 m/s e 300 m/s con una profondità media di 22-23 m p.c.
- Il secondo intervallo registra velocità comprese tra a 300 e 600 m/s ad una profondità compresa tra circa 22/23 e 26/28 m p.c.
- Il terzo intervallo registra una velocità superiore a 600 m/s fino a circa 36.0 m p.c.

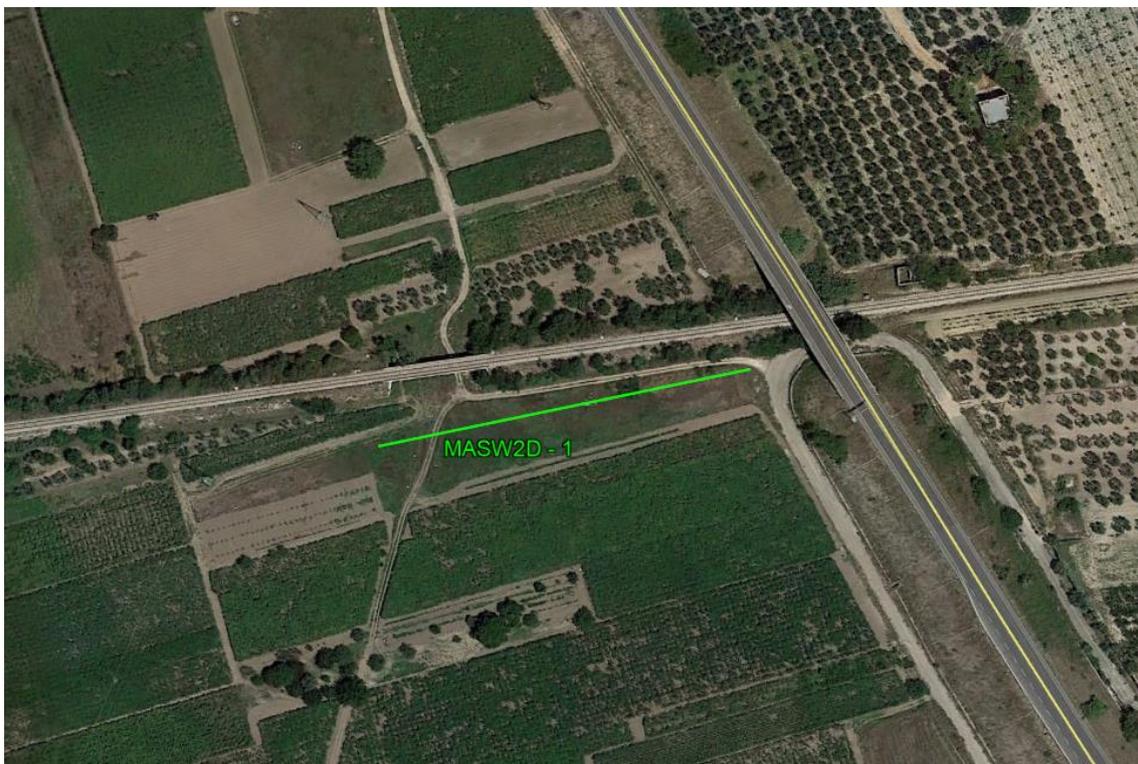


Figura 52: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW2D.



Figura 53: Foto relativa all'esecuzione della prova MASW2D.

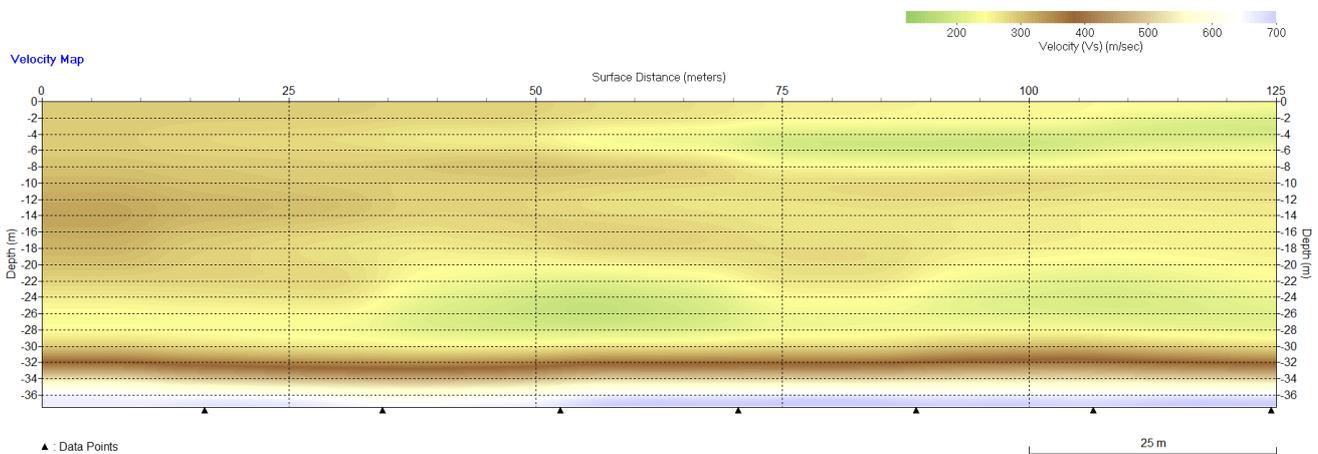
Masw 2D 2

Lunghezza profilo: 125 m

Shoot : n.8

SO

NE



Il profilo Masw 2D registra 3 intervalli sismici (VS):

- Il primo intervallo registra velocità variabili tra 100 m/s e 500 m/s con una profondità media di 30 m p.c.. Nella parte centro-NE si riscontrano delle lenti di materiale che presentano una velocità compresa tra i 180 e i 220 m/s.
- Il secondo intervallo registra velocità comprese tra 300 a 600 m/s fino ad una profondità pari a circa 34 m p.c..
- Il terzo intervallo registra una velocità superiore a 600 m/s fino a 37 m da p.c..

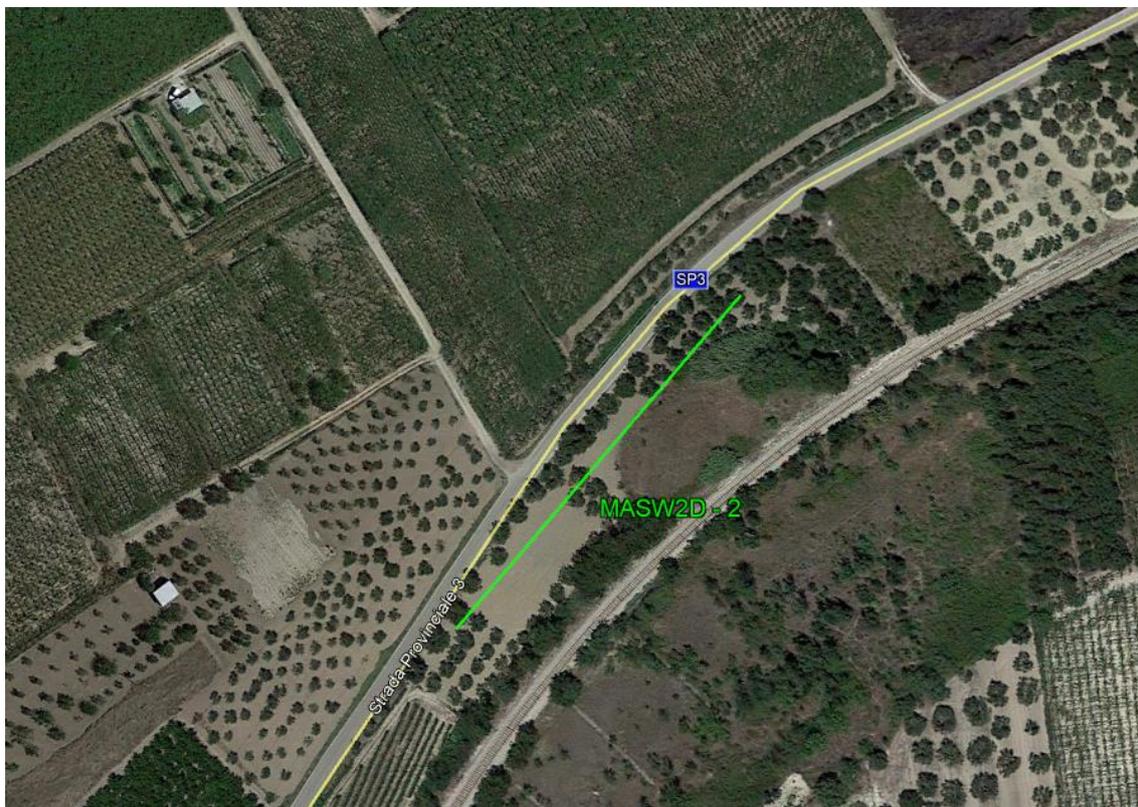


Figura 54: Ortofoto relativa all'ubicazione della prova MASW2D.



Figura 55: Foto relativa all'esecuzione della prova MASW2D.

ALLEGATO

Ubicazione prove geofisiche

Tecnica Geofisica utilizzata	Codice Sito	Luogo	Coord. inizio (WGS84 gradi decimali)		Coord. fine (WGS84 gradi decimali)		Coord. inizio (UTM-WGS84, fuso 33N)		Coord. fine (UTM-WGS84, fuso 33N)	
			Latitudine	Longitudine	Latitudine	Longitudine	X (est)	Y (nord)	X (est)	Y (nord)
MASW2D	MASW2D - 1	Barletta (BAT)	41.314617	16.231872	41.314903	16.233528	603109.15	4574415.33	603247.31	4574449.05
MASW2D	MASW2D - 2	Canne della Battaglia (BAT)	41.303427	596630.34	41.302563	16.153305	16.154272	4573083.73	596550.66	4572986.73
Geoelettrica	ERT 1	San Samuele di Cafiero (BAT)	590095.5	4569376.92	590234.12	4569426.61	41.270799	16.075677	41.271231	16.077339

Tecnica Geofisica utilizzata	Codice Sito	Luogo	Coordinate (WGS84 gradi decimali)		Coordinate (UTM-WGS84, fuso 33N)	
			Latitudine	Longitudine	X (est)	Y (nord)
MASW	MASW1	Barletta (BAT)	41.317283	16.253458	604911.65	4574737.16
MASW	MASW2	Stazione Monte Altino (BAT)	41.3097	16.191216	599713.65	4573821.95
MASW	MASW3	Stazione Canne della Battaglia (BAT)	41.294638	16.146701	596009.45	4572099.62
MASW	MASW4	Casalonga (BAT)	41.282455	16.112331	593148.98	4570709.67
MASW	MASW5	Canosa di Puglia (BAT)	41.242125	16.059872	588810.58	4566177.4
MASW	MASW6	Canosa di Puglia (BAT)	41.220813	16.054501	588389.16	4563805.85
HVSR	HVSR1	Barletta (BAT)	41.317283	16.253458	604911.65	4574737.16
HVSR	HVSR2	Stazione Monte Altino (BAT)	41.3097	16.191216	599713.65	4573821.95
HVSR	HVSR3	Stazione Canne della Battaglia (BAT)	41.294638	16.146701	596009.45	4572099.62
HVSR	HVSR4	Casalonga (BAT)	41.282455	16.112331	593148.98	4570709.67
HVSR	HVSR5	Canosa di Puglia (BAT)	41.242125	16.059872	588810.58	4566177.4
HVSR	HVSR6	Canosa di Puglia (BAT)	41.220813	16.054501	588389.16	4563805.85