

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. - CATANZARO – DORSALE JONICA  
ELETTRIFICAZIONE TRATTA LAMEZIA T. – CATANZARO L.  
LOTTO 01**

**INDAGINI GEOFISICHE (seconda fase)**

ITALFERR S.p.A.  
Ordine degli Ingegneri della  
Provincia di La Spezia  
Dott. Ing. Andrea Nardinocchi  
iscritto all'Albo Professionale  
COD. N. A1263

PFTE da sottoporre all'esame del CSLP ai sensi del DL 16 luglio 2020, n. 76 convertito con legge n. 120/2020 «Misure urgenti per la semplificazione e l'innovazione digitale.»

SCALA:

-

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

R C 0 W 0 1 D 6 9 I G G E 0 0 0 5 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Esecutiva	S.Costabile	Giugno 2020	F. M. Carli	Giugno 2020	S. Vanfiori	Giugno 2020	M. Comedini Giugno 2020



File: RC0W01D69IGGE0005001A.doc

n. Elab.: 155

## Sommario

1	METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE .....	5
1.1	INDAGINE SISMICA MASW .....	5
1.1.1	<i>Cenni teorici</i> .....	5
1.1.2	<i>1.1.2 Strumentazione utilizzata e tecniche operative</i> .....	6
1.1.3	<i>1.1.3 Elaborazione dei dati</i> .....	7
1.2	RILIEVO SISMICO HVSR .....	8
1.2.1	<i>Cenni teorici</i> .....	8
1.2.2	<i>Strumentazione utilizzata ed elaborazione dei dati</i> .....	8
1.3	RILIEVO SISMICO DOWN-HOLE .....	10
1.3.1	<i>Cenni teorici</i> .....	10
1.3.2	<i>Strumentazione utilizzata ed elaborazione dei dati</i> .....	11
2	INDAGINI GEOFISICHE .....	13
2.1	MASW 1 .....	15
2.1.1	<i>Acquisizione dei dati</i> .....	15
2.1.2	<i>Elaborazione dei dati e risultati</i> .....	16
2.2	HVSR 1 .....	21
2.2.1	<i>Acquisizione dei dati</i> .....	21
2.2.2	<i>Elaborazione dei dati e risultati</i> .....	22
2.3	MASW 2 .....	26
2.3.1	<i>Acquisizione dei dati</i> .....	26
2.3.2	<i>Elaborazione dei dati e risultati</i> .....	27
2.4	HVSR 2 .....	32
2.4.1	<i>Acquisizione dei dati</i> .....	32
2.4.2	<i>Elaborazione dei dati e risultati</i> .....	33
2.5	MASW 3 .....	37
2.5.1	<i>Acquisizione dei dati</i> .....	37
2.5.2	<i>Elaborazione dei dati e risultati</i> .....	38
2.6	HVSR 3 .....	43
2.6.1	<i>Acquisizione dei dati</i> .....	43
2.6.2	<i>Elaborazione dei dati e risultati</i> .....	44
2.7	MASW 4 .....	48
2.7.1	<i>Acquisizione dei dati</i> .....	48
2.7.2	<i>Elaborazione dei dati e risultati</i> .....	49

2.8	HVSR 4 .....	54
2.8.1	<i>Acquisizione dei dati</i> .....	54
2.8.2	<i>Elaborazione dei dati e risultati</i> .....	55
2.9	DOWN-HOLE 1 .....	59
2.9.1	<i>Acquisizione dei dati</i> .....	59
2.9.2	<i>Elaborazione dei dati e risultati</i> .....	60
2.10	HVSR 5 .....	68
2.10.1	<i>Acquisizione dei dati</i> .....	68
2.10.2	<i>Elaborazione dei dati e risultati</i> .....	69
3	CONCLUSIONE.....	74

## PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto da Italferr S.p.A. in merito all'accordo quadro N. 200001348, la GIA Consulting s.r.l. ha eseguito una campagna d'indagini geofisiche, per il progetto definitivo dell'elettrificazione della linea jonica Lotto 1 Catanzaro Lido - Lamezia Terme

Il piano d'indagine in oggetto ha previsto:

- ✓ esecuzione di n° 4 indagini sismiche di tipo arrivo MASW
- ✓ esecuzione di n° 1 indagine sismica del tipo Down Hole
- ✓ esecuzione di n° 5 indagini sismiche di tipo passivo HVSR.

Le indagini si sono svolte presso i Comuni di Lamezia Terme, Pianopoli e Marcellinara, nelle aree indicate dalla planimetria dell'ubicazione delle indagini. Queste hanno consentito di ottenere una ricostruzione sismostratigrafica dei siti investigati e la classificazione del sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018.

Sono state inoltre ricavate le frequenze fondamentali di vibrazione del sottosuolo mediante la tecnica di indagine sismica passiva HVSR.

## 1 METODOLOGIE GEOFISICHE UTILIZZATE

### 1.1 Indagine sismica MASW

#### 1.1.1 Cenni teorici

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame sono state effettuate una serie di acquisizioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della  $V_s$  (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 17 gennaio 2018.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

$h_i$  spessore dell' $i$ -esimo strato;

$V_{s,i}$  velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$  numero di strati;

$H$  profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_s$  non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30.0 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30.0$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Il rilievo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di

Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi.

Il metodo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 30.0m-50.0m, in funzione della rigidità del suolo.

### *1.1.2 1.1.2 Strumentazione utilizzata e tecniche operative*

La strumentazione utilizzata è costituita da tre componenti principali: la sorgente, i ricevitori e l'acquisitore digitale (sismografo). Per l'acquisizione e la registrazione dei dati è stata impiegata la seguente attrezzatura:

- sismografo digitale MAE X820S (Figura 1)



**Figura 1 - Sismografo utilizzato per effettuare le indagini sismiche di tipo MASW**

- Cavo con 24 collegamenti per geofoni;
- 24 geofoni a componente verticale con frequenza di 4.5 Hz

Una volta ultimato lo stendimento vengono effettuate delle energizzazioni attraverso una mazza battente di 8 Kg.

I profili sismici eseguiti hanno una lunghezza di 58 metri costituiti da 24 geofoni distanziati di 2.5 m.

Per ogni stendimento sono state effettuate molteplici registrazioni. In particolare, sono stati effettuati shots a 3, 4, 5 volte la spaziatura geofonica per ogni estremo dello stendimento ottenendo 6 registrazioni di onde superficiali. Gli shots sono stati quindi eseguiti alle seguenti distanze a partire dai geofoni posti alle estremità degli stendimenti:

- 7.5 m
- 10 m
- 12.5 m

### ***1.1.3 1.1.3 Elaborazione dei dati***

Dopo l'acquisizione dei dati, l'elaborazione con il metodo MASW prevede tre fasi di lavoro:

- la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica,
- la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.

Questi passaggi consentono in di risalire alla stratigrafia sismica in termini di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) e di conseguenza alla categoria di suolo.

I dati delle prove MASW sono stati elaborati con il software WinMASW 2018 Lite ([www.eliosoft.it](http://www.eliosoft.it)).

## 1.2 RILIEVO SISMICO HVSR

### 1.2.1 Cenni teorici

Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) utilizza segnali sismici ottenuti da stazione sismica singola (tromografo digitale TROMINO) che misura il tremore sismico. Attraverso i rapporti spettrali di tali segnali, si ha la possibilità di effettuare la misura immediata della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, parametro che può essere correlato con gli effetti di sito.

La prova sismica passiva a stazione singola mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica locale, in quanto il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione dei terreni costituenti il sub-strato. In particolare, un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze (per l'appunto di risonanza) non solo quando è eccitato da un terremoto, ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine.

Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque ed in modo semplice, anche in assenza di terremoti. Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla relazione:  $f=V_s/4h$  (formula semplificata) dove  $V_s$  è la velocità delle onde di taglio nello strato che risuona e  $h$  è lo spessore di detto strato. La prova, comunemente nota con il termine H/V o HVSR (rapporto tra le componenti spettrali orizzontali H e verticale V) fu applicata per la prima volta da Nogoshi e Igarashi(1970) e resa popolare da Nakamura (1989). Infatti è proprio dal grafico del rapporto tra le componenti spettrali orizzontale e verticale che viene evidenziata la frequenza (o più frequenze se si è in presenza di un profilo stratigrafico multistrato con contrasti di impedenza significativi) attraverso un "picco" della curva (in genere dovuto ad un minimo della componente verticale, riscontrabile negli spettri delle singole componenti).

### 1.2.2 Strumentazione utilizzata ed elaborazione dei dati

Per eseguire le indagini HVSR è stato utilizzato un tromografo digitale TROMINO (Figura 2). Lo strumento è dotato di tre sensori velocimetrici elettrodinamici ortogonali ad alta risoluzione, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore.





**Figura 2 - Tromino utilizzato per effettuare le indagini di sismica passiva di tipo HVSr.**

L'ancoraggio al suolo avviene tramite infissione di appositi piedini; l'orizzontalità è controllata per mezzo di una bolla sferica.

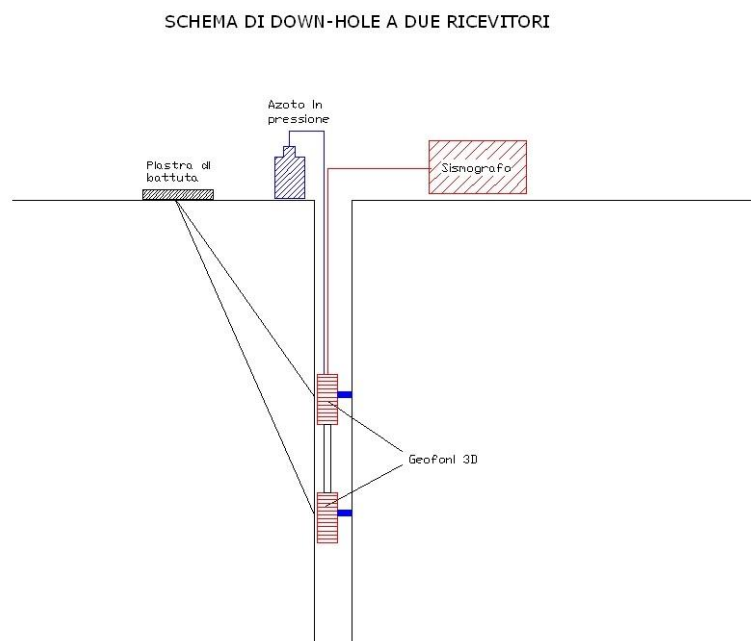
Il TROMINO viene posizionato con il suo asse maggiore allineato nella direzione N-S e messo in opera nel punto considerato più opportuno nel sito oggetto di indagine. Ottenuto il miglior accoppiamento dei sensori con il terreno viene messo in acquisizione per 20 min. con una frequenza di campionamento di 128 Hz. Su memoria interna vengono salvati in un unico file i dati rilevati in automatico; si tratta delle velocità misurate secondo le direzioni ortogonali est-ovest, nord-sud (dello strumento) e sulla verticale.

I dati registrati vengono poi elaborati mediante il software Grilla.

## 1.3 RILIEVO SISMICO DOWN-HOLE

### 1.3.1 Cenni teorici

Le prove sismiche Down-Hole (figura 3), sono eseguite con lo scopo di misurare la velocità delle onde sismiche dirette, che si propagano dalla superficie nel terreno in profondità, energizzando il terreno in direzione verticale oppure in direzione trasversale (parallelamente al suolo). Nel primo caso sono generate prevalentemente onde di compressione (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z). Nel secondo caso verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde S) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y).



**Figura 3 – schema tecnico delle indagini Down-hole.**

Il sistema di ricezione, costituito da un geofono tridimensionale da foro ad ancoraggio pneumatico, viene calato nel foro, sino alla profondità massima di investigazione e progressivamente sollevato dell'interdistanza propria di ciascuna indagine (nel caso in esame 1 m). Le onde di taglio hanno velocità inferiori rispetto a quelle di compressione e quindi raggiungeranno il geofono triassiale quando il primo fronte d'onda di compressione è già transitato. Questo passaggio purtroppo costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda trasversale o di taglio. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda di compressione e l'energia dell'onda trasversale (di taglio) a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione

orizzontale con verso opposto. La sottrazione delle forme d'onda relative a queste due acquisizioni, riduce sensibilmente la componente di compressione presente nel segnale. La misura dei tempi dei primi arrivi delle onde sismiche deve essere realizzata con precisione e con un dettaglio non superiore il decimo di millisecondo. Ogni ritardo fra il momento dell'energizzazione fornita al terreno e l'inizio della registrazione sul sismografo si traduce in un errore nei valori di velocità misurati. Per annullare ogni effetto di ritardo, viene posizionato un secondo geofono in prossimità del punto di battuta a testa foro. La forma d'onda restituita da questo geofono viene acquisita su un canale a parte del sismografo e viene analizzata separatamente, rispetto a quello che avanza in profondità, in modo da poter valutare ogni possibile anticipo o ritardo del treno d'onda. Il valore del tempo del primo fronte di arrivo a questo geofono è sempre lo stesso per tutte le

battute e il segnale è ricco di alte frequenze grazie alla prossimità con la sorgente e quindi è preciso il tempo misurato.

### **1.3.2 Strumentazione utilizzata ed elaborazione dei dati**

Per eseguire le indagini Down-Hole è stato utilizzato un sismografo digitale

*Geometrics Geode* (Figura 2).a 24 canali, con conversione analogico-digitale a 24 bit, ad elevata dinamica, avente le seguenti caratteristiche principali:

- *Range dinamico: 144 dB di sistema.*
- *Distorsione: 0.0005 % @ 2.0 ms.*
- *Banda di acquisizione: 1.75-20.000 Hz.*
- *Accuratezza trigger: 1/32 del passo di campionamento.*
- *Impedenza: 20 Kohm.*
- *Filtri in acquisizione: LowCut: 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz 24/48 dB/Octave, Butterworth. Notch: 50, 60, 180 Hz. HighCut: 32, 64, 125, 250, 500, 1000 Hz 24/48 dB/Octave.*
- *Intervallo di campionamento: 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 msec.*
- *Lunghezza di registrazione: 16.384 campioni.*
- *Pre-trigger: fino a tutta la lunghezza di registrazione.*
- *Delay: da 0 a 9999 ms in passi di una lunghezza di intervallo.*



**Figura 4 – Sismografo Geometrics utilizzato per effettuare le indagini di sismica Down-hole.**

Per il rilievo delle perturbazioni elastiche artificialmente prodotte (*Down-Hole*), sono stati utilizzati due sensori tridimensionali da foro intervallati di due m, entrambi costituiti da un geofono verticale e due orizzontali, tra loro disposti con asse di oscillazione ortogonale e frequenza propria di oscillazione di 14 Hz. Il sistema di ancoraggio dei sensori alle pareti del foro è avvenuto tramite due camere d'aria gonfiabili, con doppia rivestitura, comandate dall'alto mediante una pompa ad aria e manometro manuale.

## 2 INDAGINI GEOFISICHE

Nel piano d'indagini in oggetto, come richiesto, sono state eseguite sia analisi sismiche di tipo MASW, DOWN-HOLE che indagini sismiche di tipo passivo HVSR per la caratterizzazione sismica del sottosuolo. Le fasi di esecuzione delle indagini sono state condotte in conformità a quanto previsto dalle norme:

ASTM D6429 – 99 (2011) e1 Standard Guide for Selecting Surface Geophysical Methods

Progetto SESAME (Site EffectS Assessment using AMbient Excitations, 2004); European Commission, n. EVG1-CT-2000-00026

Nella seguente tabella vengono riportati il numero e le quantità principali delle prove eseguite

Indagine	Quantità	Geofoni	Interdistanza geofonica	Frequenza geofoni	Numero energizzazioni
MASW	4	24	2.5 m	4.5 Hz	6

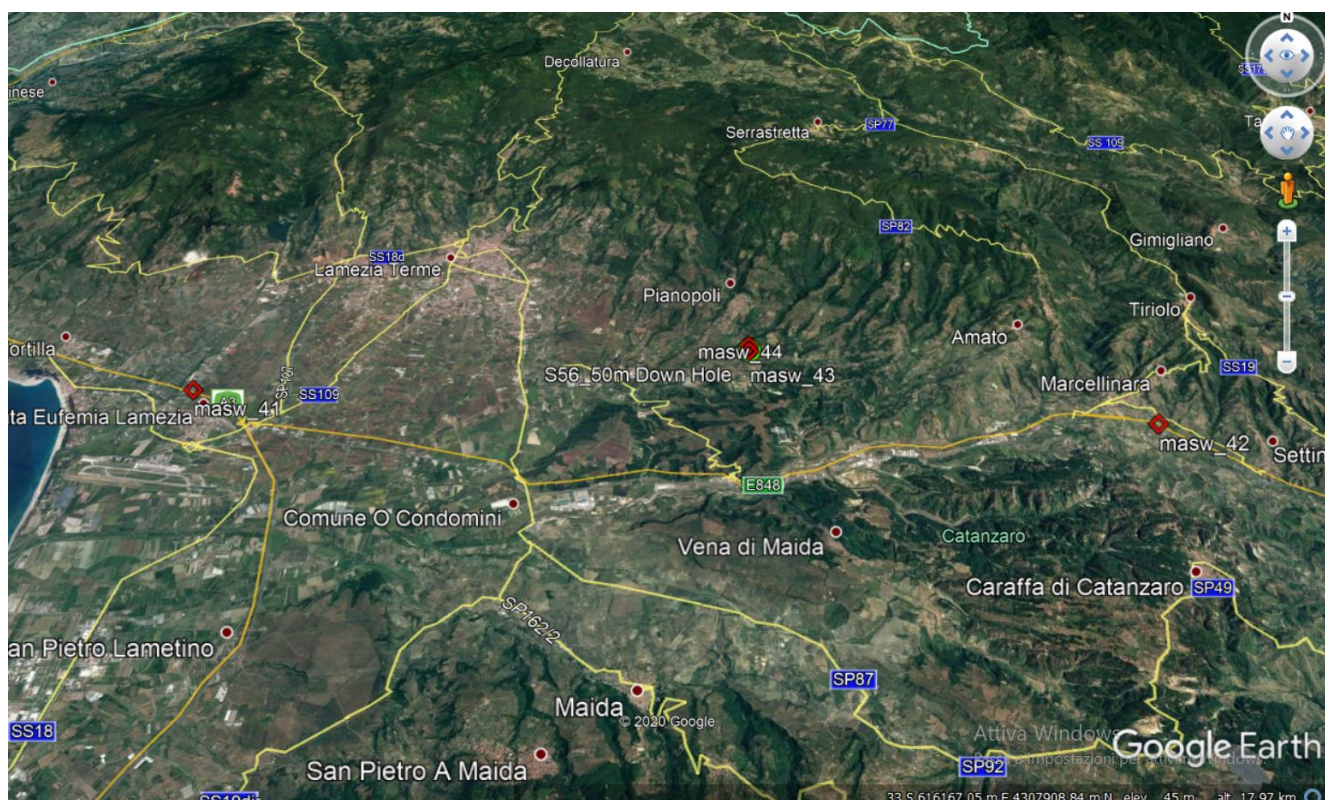
Indagine	Quantità	Geofoni	Interdistanza geofonica	Frequenza geofoni	Numero energizzazioni
DOWN-HOLE	1	2	2.0 m	14.0 Hz	50

Indagine	Quantità	Durata (min)	Frequenza Campionamento
HVSR	5	20	512 Hz

In particolare, l'attività si è articolata mediante l'acquisizione di differenti metodologie strutturate in:

- n. 4 rilievi sismici per onde superficiali di tipo attivo MASW, ubicati in corrispondenza dei tratti indicati Figura 5. Tutti gli stendimenti, costituiti da n. 24 geofoni, sono finalizzati alla ricostruzione del profilo di velocità  $V_s$  per la determinazione del parametro  $V_{seq}$  e la definizione della categoria sismica dei suoli di fondazione ai sensi delle NTC 2018.

- n. 1 rilievi sismici per onde P e S, ubicati in corrispondenza dei tratti indicati Figura 5. si basa sulla determinazione dei tempi d'arrivo delle onde di volume, rilevate dai sensori all'interno del foro, generate in superficie in prossimità del boccaforo. I tempi di arrivo sono stati calcolati, per ogni intervallo di misura, come differenza dei tempi totali d'arrivo ai due sensori tra loro distanziati di due metri. Utili per la determinazione del parametro  $V_{Seq}$  per la definizione della categoria sismica dei suoli di fondazione ai sensi delle NTC 2018.
- n. 5 registrazioni di prove sismiche passive di tipo HVSR, ubicate al centro degli stendimenti di sismica attiva, per la definizione delle frequenze di risonanza di sito in funzione dei significativi contrasti di impedenza sismica.



**Figura 5 - Ubicazione delle indagini effettuate.**

## 2.1 MASW 1

### 2.1.1 *Acquisizione dei dati*

La MASW numero 1 è ubicata all'interno della stazione di Lamezia Terme Centrale, come indicato in Figura 4 dove è rappresentata anche la posizione dei 6 shots effettuati. Per eseguire l'indagine è stato utilizzato uno stendimento con lunghezza di 58 metri, composto da 24 geofoni distanziati di 2.5 metri. In totale sono state eseguite 6 registrazioni, energizzando a 3, 4, e 5 volte la spaziatura geofonica (Figura ).



**Figura 6 - Ubicazione della MASW n. 1**

In Figura è rappresentata l'esecuzione delle indagini presso il sito 1.



**Figura 7 - Esecuzione delle indagini MASW**

### **2.1.2 Elaborazione dei dati e risultati**

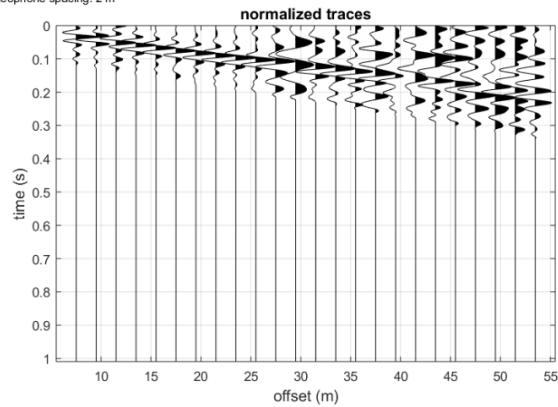
Al termine dell'indagine si sono ottenute così 6 set di tracce, con i relativi spettri di velocità calcolati. I segnali delle tracce sono stati debitamente filtrati e puliti attraverso il software WinMASW Lite.

Dopodichè sullo spettro di velocità medio, è stato effettuato il processo di picking dei massimi di ampiezza del modo fondamentale e degli eventuali modi superiori. Successivamente mediante il processo di inversione, si ottiene il profilo di velocità con la profondità che permette di definire il parametro  $V_{Seq}$ .

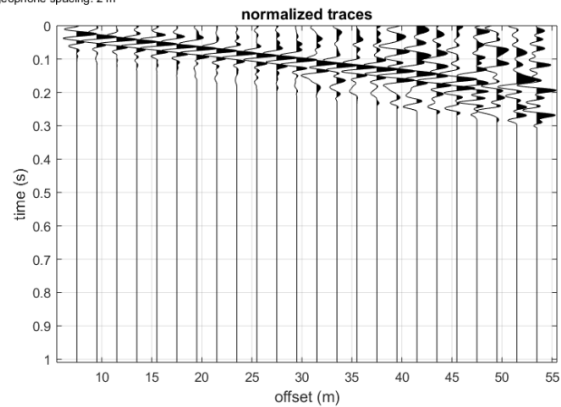


**Tracce acquisite:**

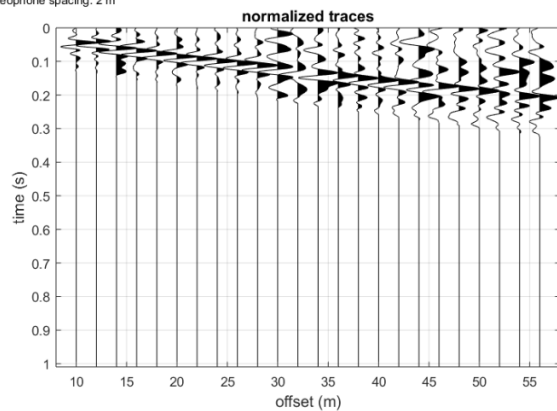
dataset: mw41-ch01-7,5.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 7.5 m  
geophone spacing: 2 m



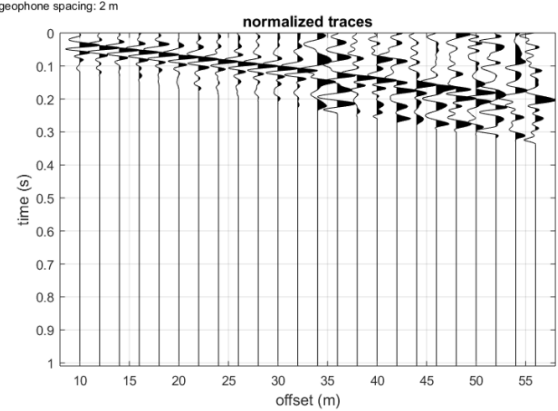
dataset: mw41-ch24-7,5.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 7.5 m  
geophone spacing: 2 m



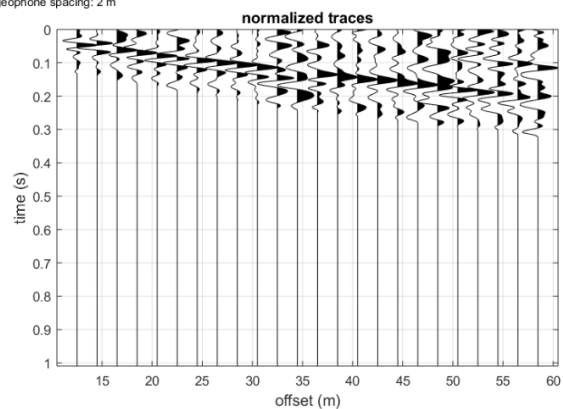
dataset: mw41-ch01-10.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 10 m  
geophone spacing: 2 m



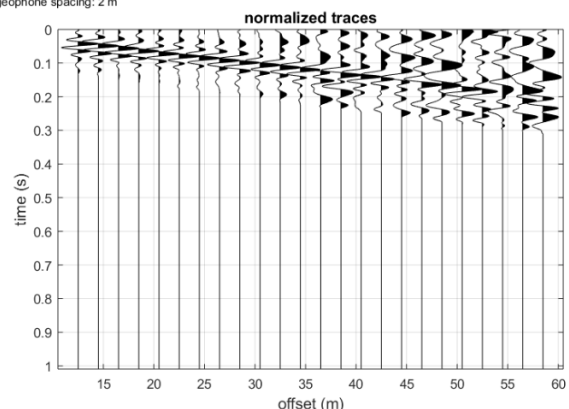
dataset: mw41-ch24-10.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 10 m  
geophone spacing: 2 m



dataset: mw41-ch01-12,5.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 12.5 m  
geophone spacing: 2 m

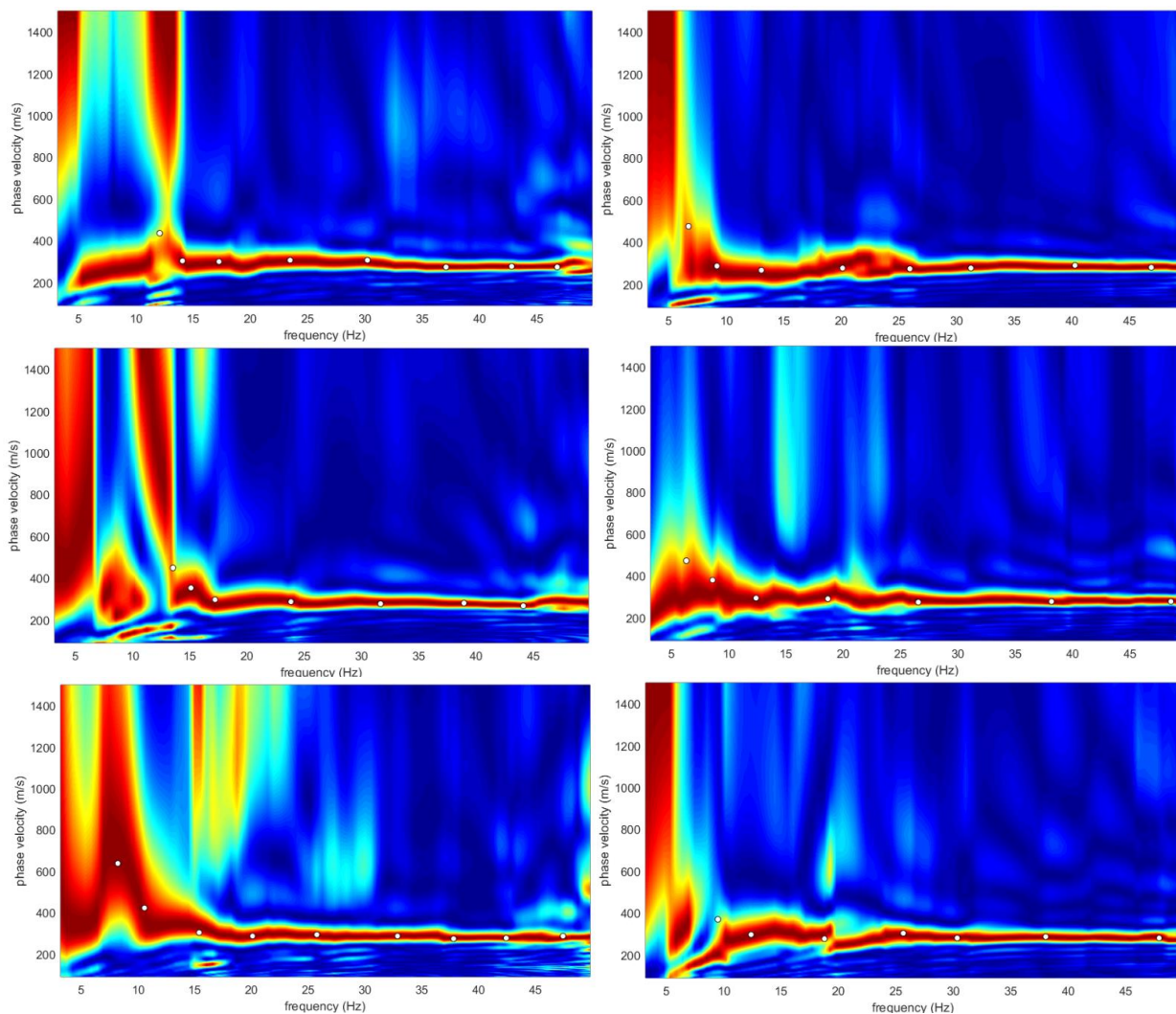


dataset: mw41-ch24-12,5.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 12.5 m  
geophone spacing: 2 m



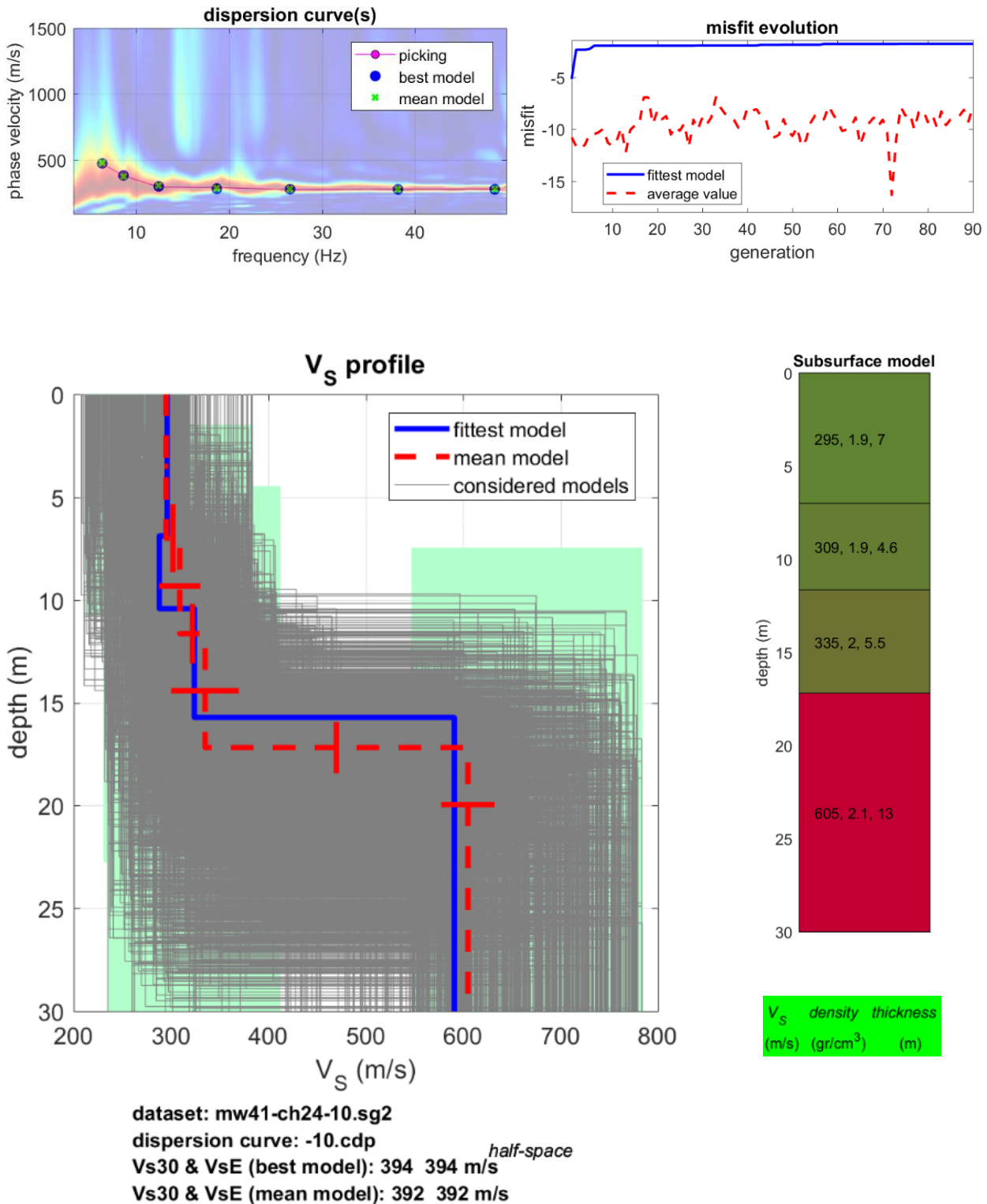
**Figura 8 – Dati degli shots effettuati rispettivamente a 7,5, 10 e 12,5 metri, da ogni lato dello stendimento**

*Spettri di velocità:*



**Figura 9 – Spettri di velocità delle tracce di tutti e sei gli shots effettuati.**

**Risultati dell'inversione e modello stratigrafico del sottosuolo**



**Figura 10 - Risultati dell'inversione e del modello stratigrafico del sottosuolo**

Le elaborazioni effettuate hanno consentito di determinare la velocità delle Vs e di determinare quindi la categoria di suolo nell'area investigata:

$V_{s30}$  e  $V_{seq} = 392 \text{ m/s}$

Categoria di suolo: **B**

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina 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.

## 2.2 HVSR 1

### 2.2.1 *Acquisizione dei dati*

Le indagini HVSR sono state svolte successivamente all'indagine sismica di tipo attivo, posizionando la strumentazione al centro dello stendimento utilizzato per eseguire l'indagine MASW, al fine di determinare le frequenze di risonanza caratteristiche di sito.



**Figura 11 - Esecuzione dell'indagine HVSR.**

Il TROMINO è stato posizionato ed è stato lasciato acquisire in modo automatico per un tempo di 20 minuti.

### 2.2.2 *Elaborazione dei dati e risultati*

I dati sono stati trasferiti al PC attraverso apposito collegamento USB ed elaborati con il software Grilla. I dati che sono stati puliti, per la presenza di tracce disturbate e filtrati in funzione della loro dispersione espressa in termini di deviazione standard. È stato inoltre imposto un lisciamento (smoothing) del 10% alle curve per smorzarne la spigolosità ed un intervallo di analisi di frequenza di 20 secondi. Grazie a queste operazioni viene successivamente rappresentata la curva sperimentale H/V dalla quale è possibile risalire al picco di frequenza massima di risonanza di sito.

## **Risultati**

Strumento: TEB-0504/01-19

Formato dati: 32 bit

Fondo scala [mV]: 89

Inizio registrazione: 21/07/20 07:19:17      Fine registrazione: 21/07/20 07:39:17

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Posizione GPS: 016°15.0990 E, 38°55.3712 N (39.0 m)

(tempo UTC sincronizzato al primo campione di registrazione): non disponibile in questo modo di acquisizione + 0 + 0 campioni

Num. satelliti: 6

Durata registrazione: 0h20'00".      Analizzato 47% tracciato (selezione manuale)

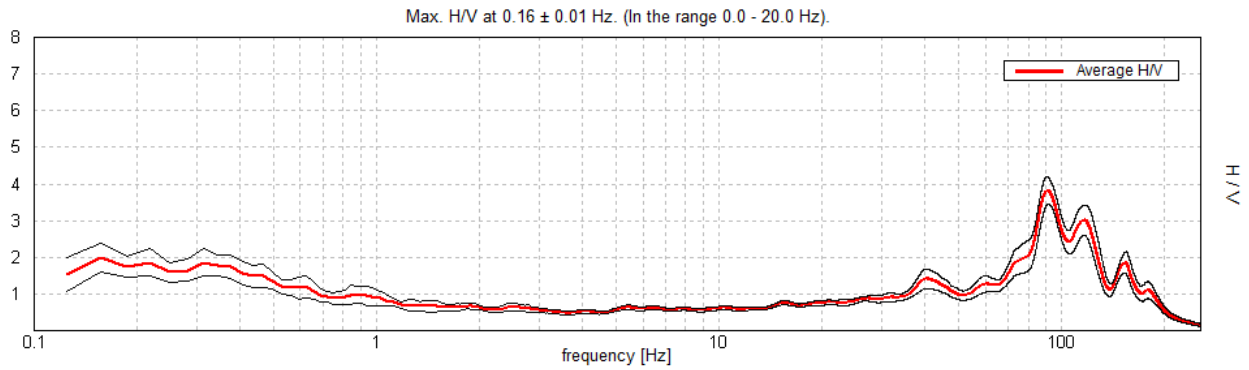
Freq. campionamento: 512 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

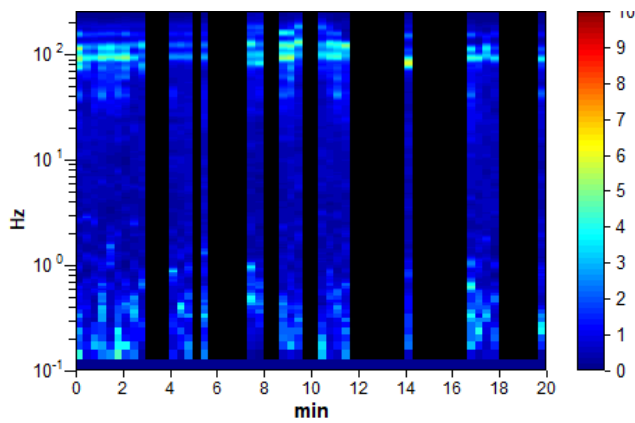
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

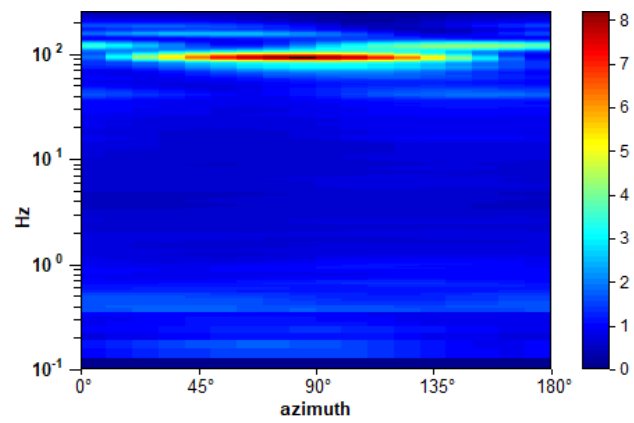
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



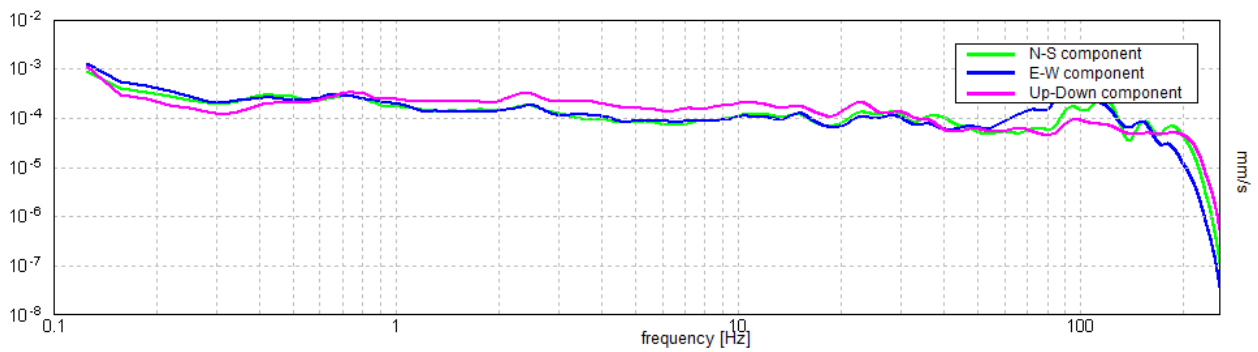
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



**Picco H/V a  $0.16 \pm 0.01$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).**

### Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.16 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$87.5 > 200$		<b>NO</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 8	<b>OK</b>	

### Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
$A_0 > 2$	$2.00 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.08452  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01321 < 0.03906$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3883 < 3.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale



$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

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

Dall'indagine è stato possibile identificare la frequenza del picco del rapporto H/V pari a  $0.16 \pm 0.01$  Hz.

## 2.3 MASW 2

### 2.3.1 *Acquisizione dei dati*

La MASW numero 2 è ubicata in prossimità della galleria Serra di Marcellinara della linea ferroviaria. Per eseguire l'indagine è stato utilizzato uno stendimento con lunghezza di 58 metri composto da 24 geofoni distanziati di 2.5 metri. In totale sono state eseguite 6 registrazioni, energizzando a 3, 4, e 5 volte la spaziatura geofonica (Figura 3).



**Figura 3 - Ubicazione della MASW n. 2**

In Figura è rappresentata l'esecuzione delle indagini presso il sito 2.



**Figura 13 - Esecuzione delle indagini MASW**

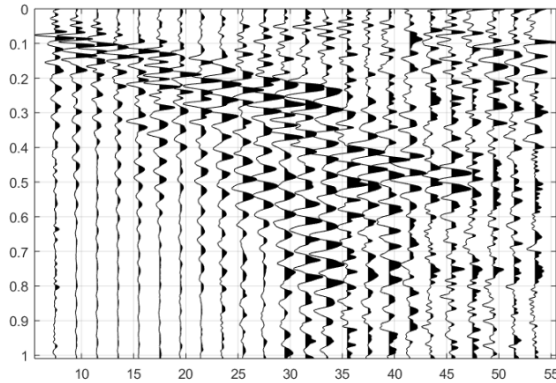
### **2.3.2 Elaborazione dei dati e risultati**

Al termine dell'indagine si sono ottenute così 6 set di dati, con i relativi spettri di velocità calcolati. I segnali delle tracce sono stati debitamente filtrati e puliti attraverso il software WinMASW Lite.

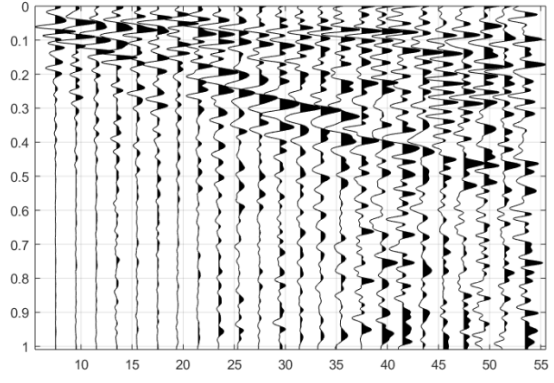
Dopodichè sullo spettro di velocità medio, è stato effettuato il processo di picking dei massimi di ampiezza del modo fondamentale e degli eventuali modi superiori. Mediante il processo di inversione, si ottiene il profilo di velocità con la profondità che permette di definire il parametro  $V_{seq}$ .

**Tracce acquisite:**

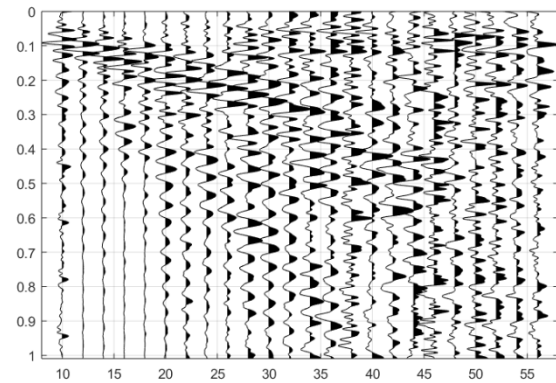
dataset: mw42-ch01-7.5.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 7.5 m  
geophone spacing: 2 m



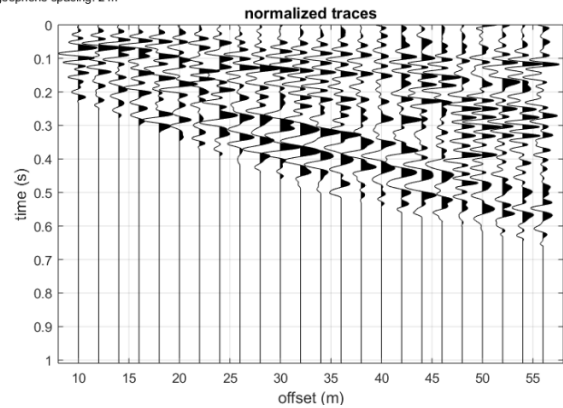
dataset: mw42-ch24-7.5.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 7.5 m  
geophone spacing: 2 m



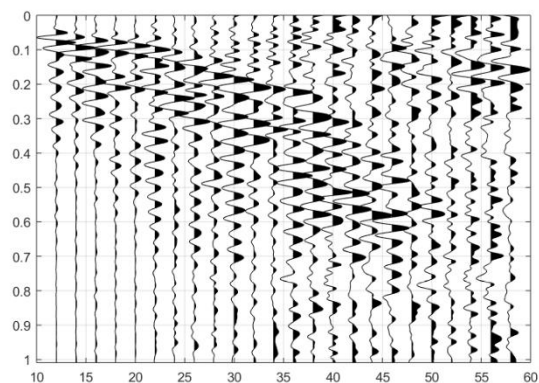
dataset: mw42-ch01-10.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 10 m  
geophone spacing: 2 m



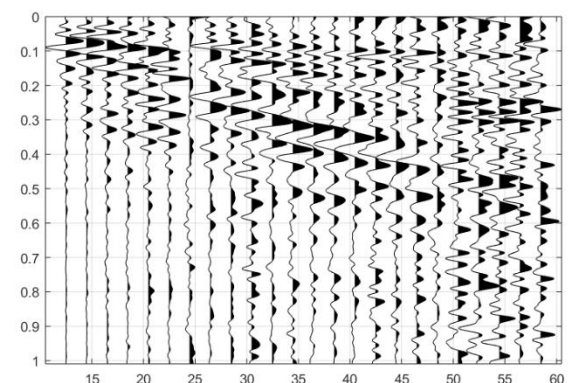
dataset: mw42-ch24-10.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 10 m  
geophone spacing: 2 m



dataset: mw42-ch01-12.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 12 m  
geophone spacing: 2 m

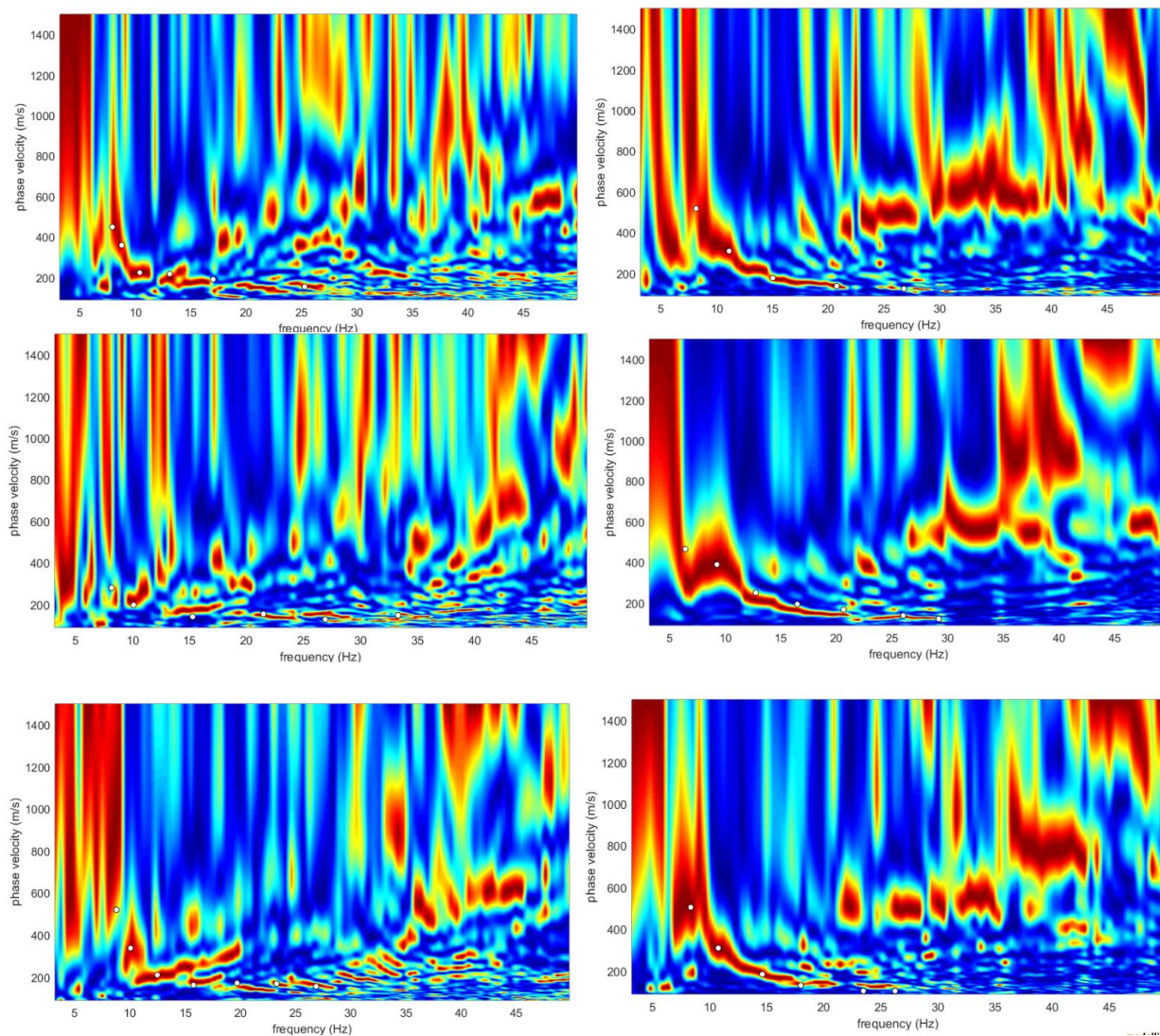


dataset: mw42-ch24-12.5.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 12.5 m  
geophone spacing: 2 m



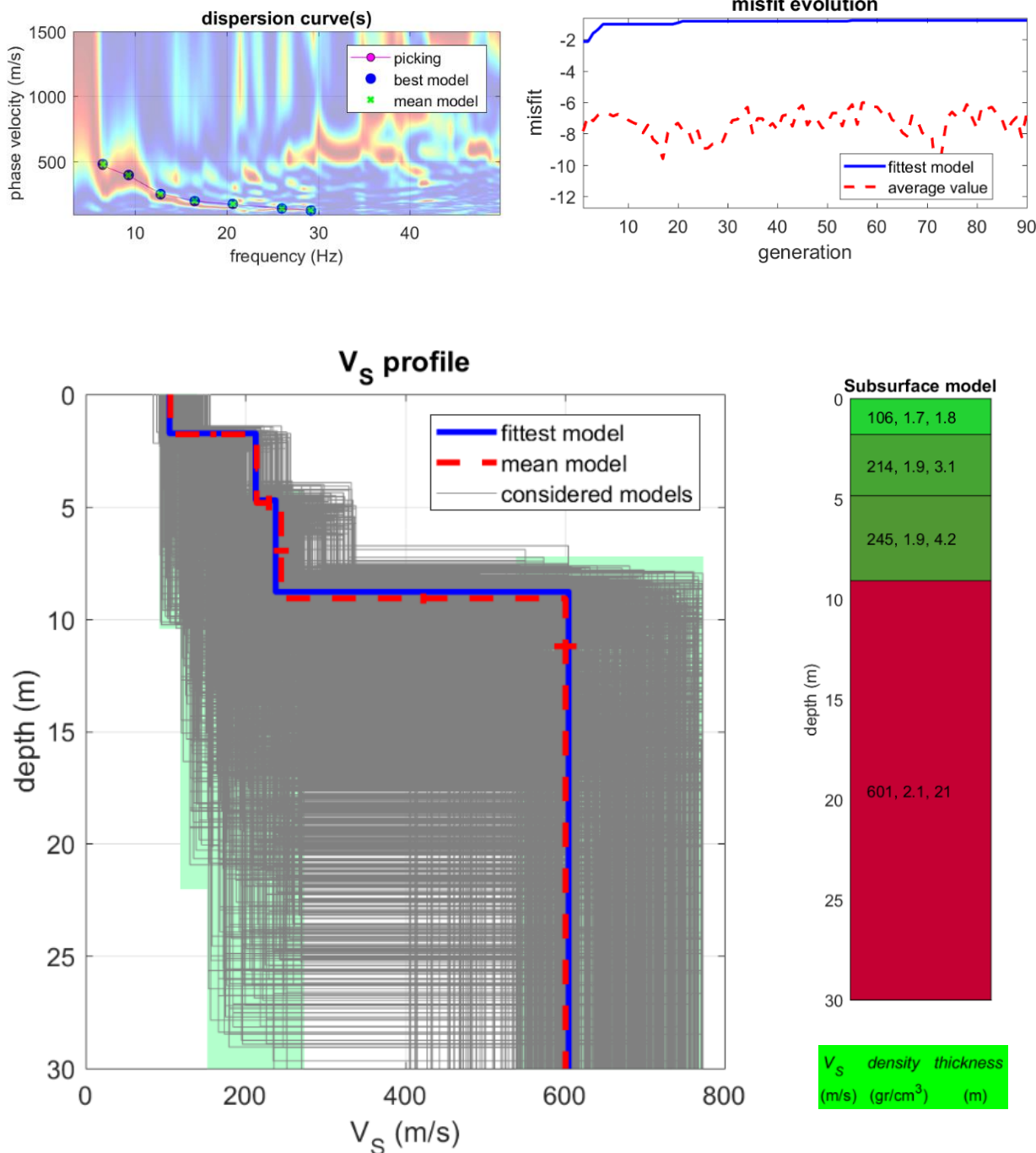
**Figura 14 - Tracce di tutti gli shots effettuati rispettivamente a 7.5, 10 e 12.5 metri, da ogni lato dello stendimento**

*Spettri di velocità:*



**Figura 15 - Spettri delle tracce di tutti e sei gli shots effettuati.**

**Risultati dell'inversione e modello stratigrafico del sottosuolo**



dataset: mw42-ch24-10.sg2  
 dispersion curve: -10.cdp half-space  
 Vs30 & VsE (best model): 363 363 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 360 360 m/s

**Figura 16 - Risultati dell'inversione e del modello stratigrafico del sottosuolo**

Le elaborazioni effettuate hanno consentito di calcolare la velocità delle Vs e di determinare quindi la categoria di suolo nell'area investigata:

Vs30 e Vseq = **360 m/s**

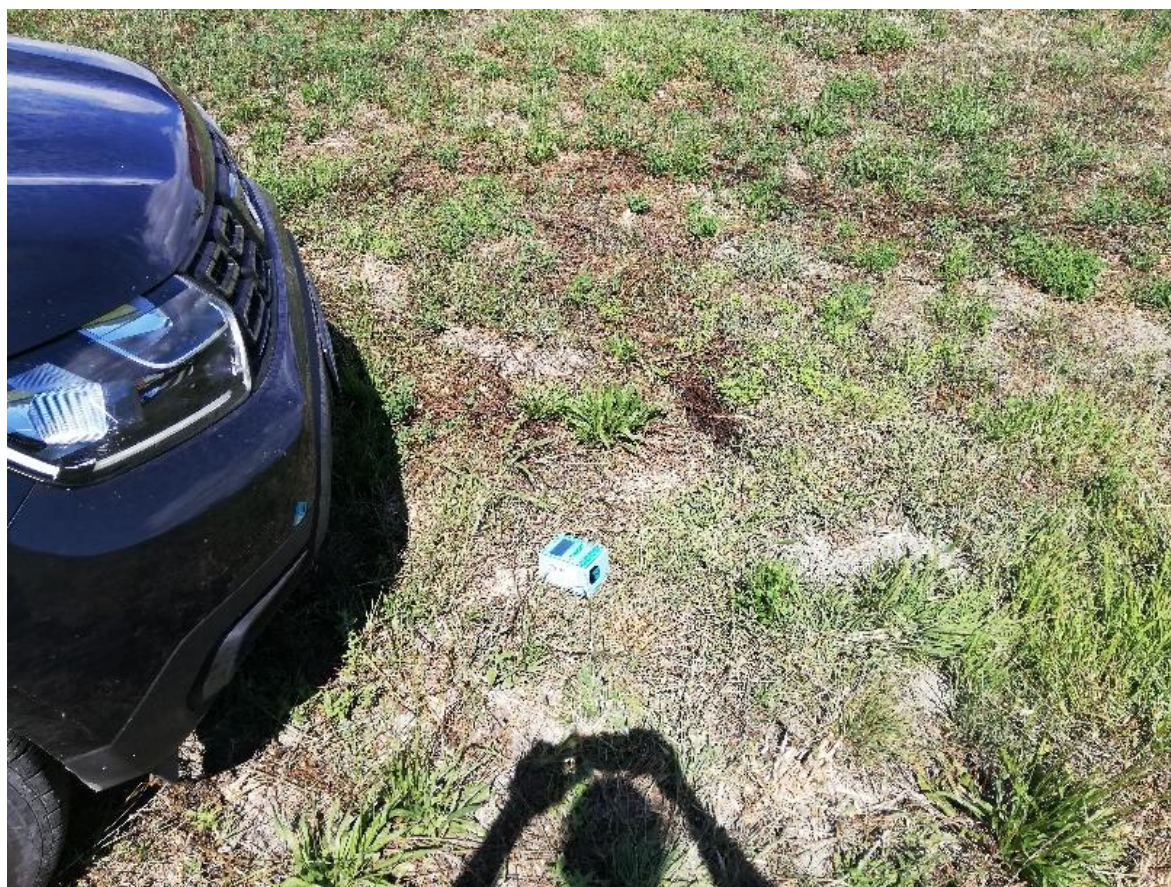
Categoria di suolo: **B**

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina 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.

## 2.4 HVSR 2

### 2.4.1 *Acquisizione dei dati*

Le indagini HVSR sono state svolte successivamente all'indagine sismica di tipo attivo, posizionando la strumentazione al centro dello stendimento utilizzato per eseguire l'indagine MASW, al fine di determinare le frequenze di risonanza caratteristiche di sito (Figura ).



**Figura 17 - Esecuzione dell'indagine HVSR.**

Il TROMINO è stato posizionato ed è stato lasciato acquisire in modo automatico per un tempo di 20 minuti.



#### *2.4.2 Elaborazione dei dati e risultati*

I dati sono stati trasferiti al PC attraverso apposito collegamento USB ed elaborati con il software Grilla. I dati che sono stati puliti, per la presenza di tracce disturbate e filtrati in funzione della loro dispersione espressa in termini di deviazione standard. È stato inoltre imposto un lisciamento (smoothing) del 10% alle curve per smorzarne la spigolosità ed un intervallo di analisi di frequenza di 20 secondi. Grazie a queste operazioni viene successivamente rappresentata la curva sperimentale H/V dalla quale è possibile risalire al picco di frequenza massima di risonanza di sito.

### **Risultati**

Strumento: TEB-0504/01-19

Formato dati: 32 bit

Fondo scala [mV]: 89

Inizio registrazione: 20/07/20 13:53:59      Fine registrazione: 20/07/20 14:13:59

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Posizione GPS: 016°29.3259 E, 38°54.7805 N (156.7 m)

(tempo UTC sincronizzato al primo campione di registrazione): non disponibile in questo modo di acquisizione + 0 + 0 campioni

Num. satelliti: 4

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

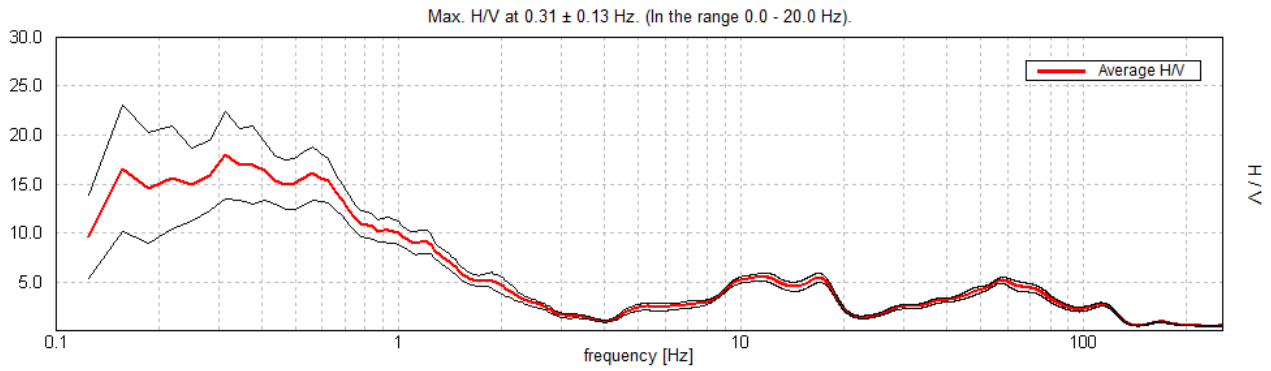
Freq. campionamento: 512 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

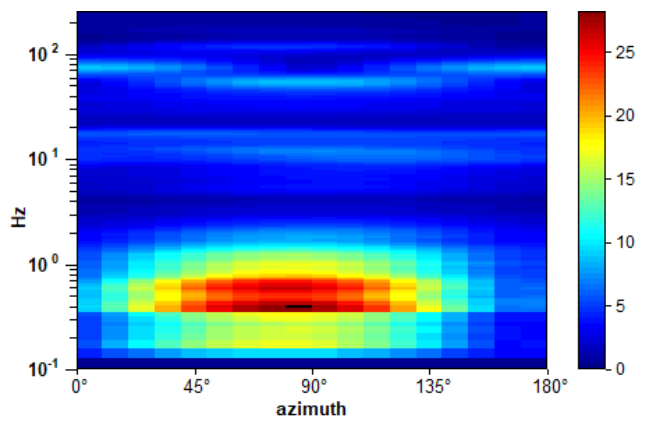
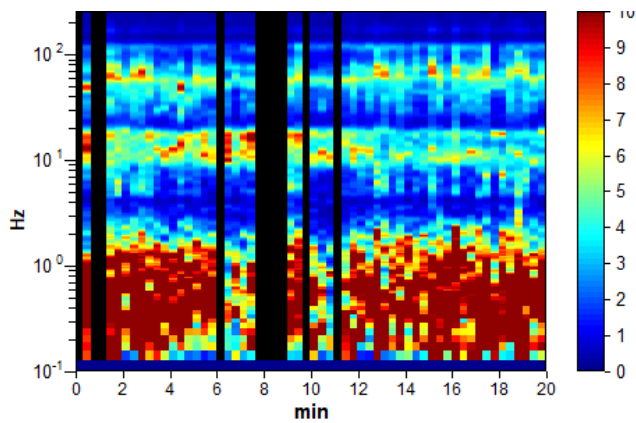
Lisciamento: 10%

**RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE**

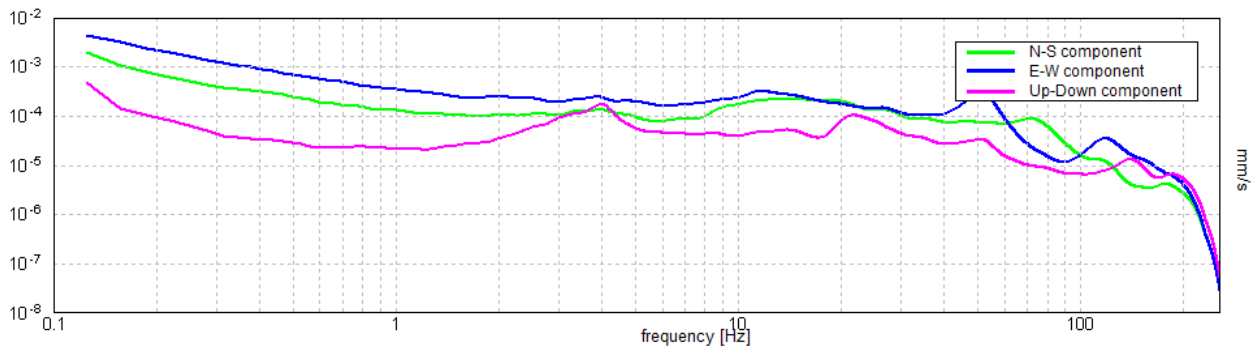


SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V



**SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



**Picco H/V a  $0.31 \pm 0.13$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.31 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$312.5 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 8 volte su 16		<b>NO</b>

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.125 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$17.98 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.42568  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.13302 < 0.0625$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$4.4489 < 2.5$		<b>NO</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

Dall'indagine è stato possibile identificare la frequenza del picco del rapporto H/V pari a  $0.31 \pm 0.13$  Hz.

## 2.5 MASW 3

### 2.5.1 *Acquisizione dei dati*

La MASW numero 3 è ubicata nei pressi della linea ferroviaria del comune di Pianopoli.

Per eseguire l'indagine è stato utilizzato uno stendimento con lunghezza di 58 metri, composto da 24 geofoni distanziati di 2.5 metri. In totale sono state eseguite 6 registrazioni, energizzando a 3, 4, e 5 volte la spaziatura geofonica (Figura 184).



**Figura 184 - Ubicazione della MASW n. 3**

In Figura è rappresentata l'esecuzione delle indagini presso il sito 3.



**Figura 19 - Esecuzione delle indagini MASW**

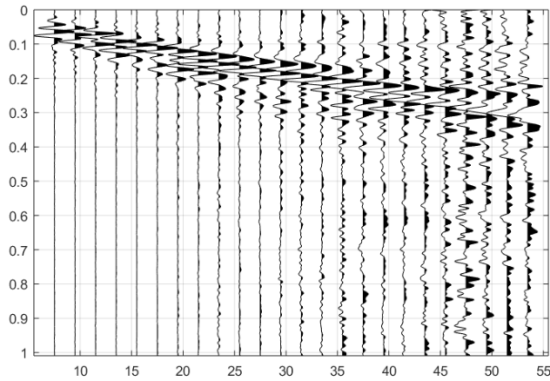
### **2.5.2 Elaborazione dei dati e risultati**

Al termine dell'indagine si sono ottenute così 6 tracce, con i relativi spettri di velocità calcolati. I segnali delle tracce sono stati debitamente filtrati e puliti attraverso il software WinMASW Lite.

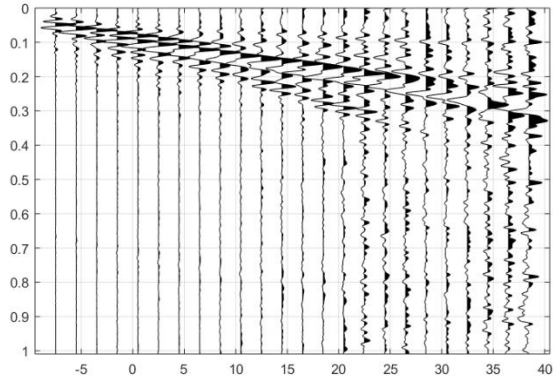
Dopodichè sullo spettro di velocità medio, è stato effettuato il processo di picking dei massimi di ampiezza del modo fondamentale e degli eventuali modi superiori. Mediante il processo di inversione, si ottiene il profilo di velocità con la profondità che permette di definire il parametro  $V_{seq}$ .

**Tracce acquisite:**

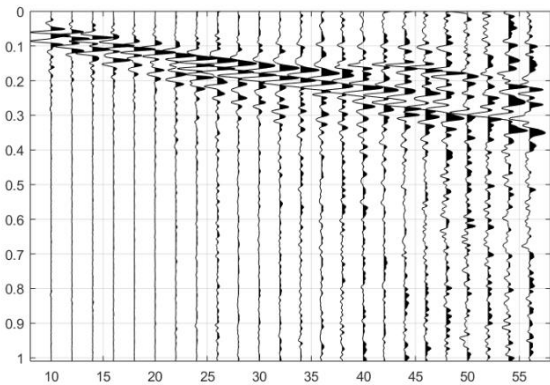
dataset: mw43-ch01-7.5.sg2  
 sampling: 0.228 ms  
 minimum offset: 7.5 m  
 geophone spacing: 2 m



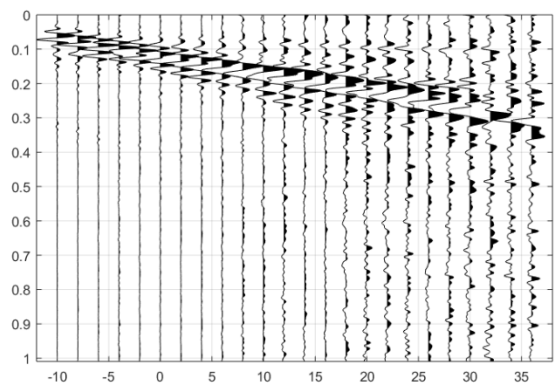
dataset: mw43-ch24-7.5.sg2  
 sampling: 0.228 ms  
 minimum offset: -7.5 m  
 geophone spacing: 2 m



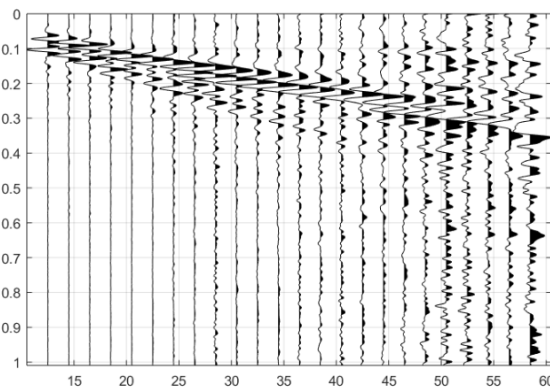
dataset: mw43-ch01-10.sg2  
 sampling: 0.228 ms  
 minimum offset: 10 m  
 geophone spacing: 2 m



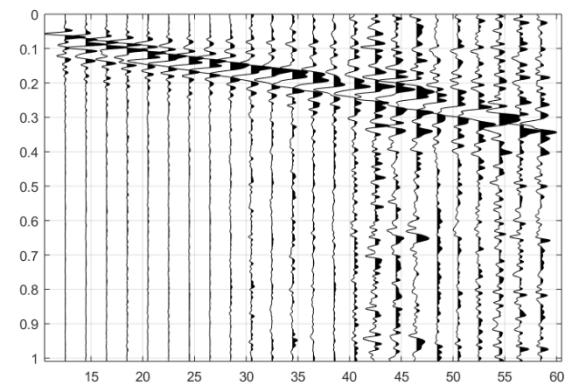
dataset: mw43-ch24-10.sg2  
 sampling: 0.228 ms  
 minimum offset: -10 m  
 geophone spacing: 2 m



dataset: mw43-ch01-12.5.sg2  
 sampling: 0.228 ms  
 minimum offset: 12.5 m  
 geophone spacing: 2 m

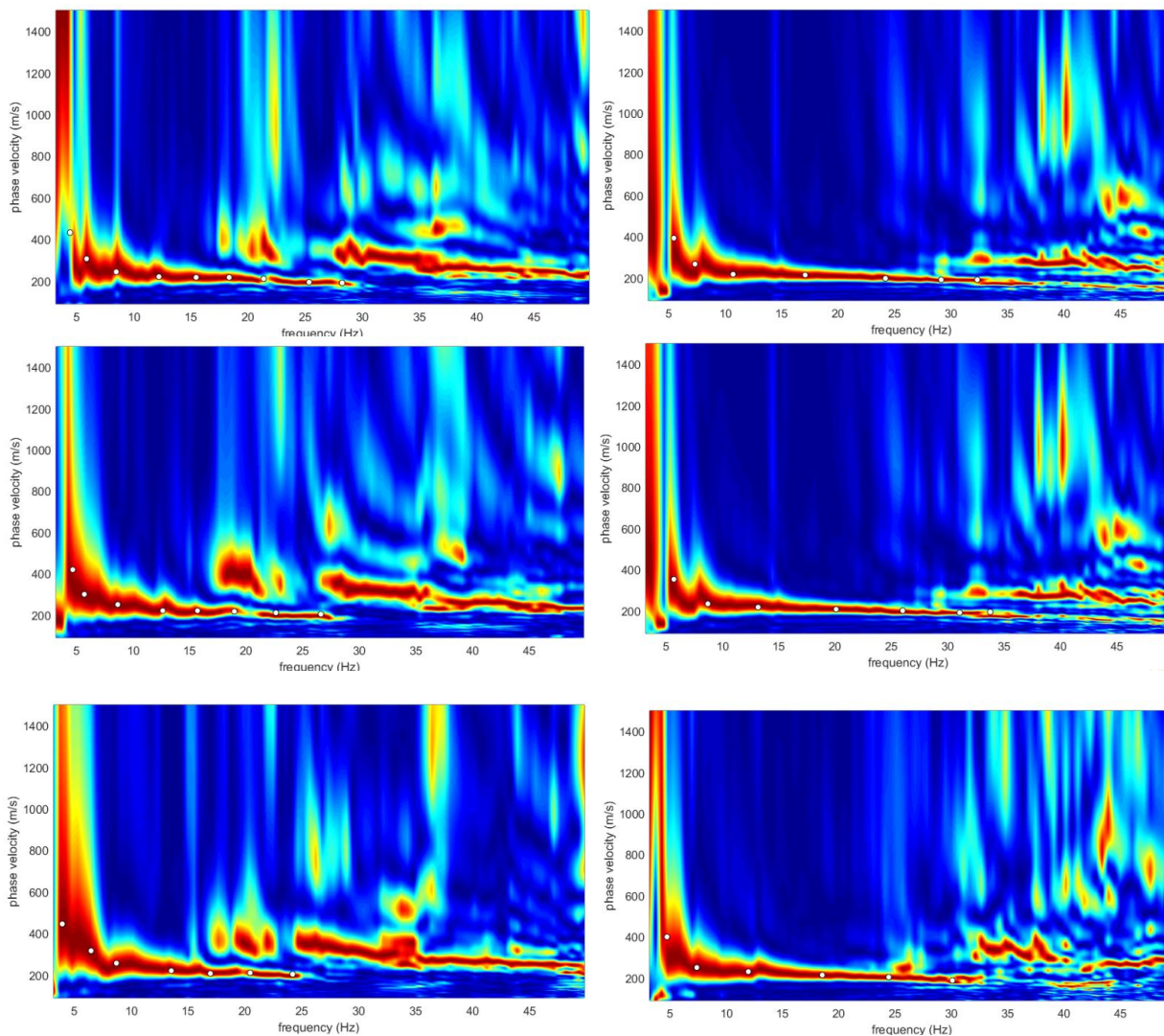


dataset: mw43-ch24-12.5.sg2  
 sampling: 0.228 ms  
 minimum offset: 12.5 m  
 geophone spacing: 2 m



**Figura 20 - Tracce di tutti gli shots effettuati rispettivamente a 7.5, 10 e 12.5 metri, da ogni lato dello stendimento**

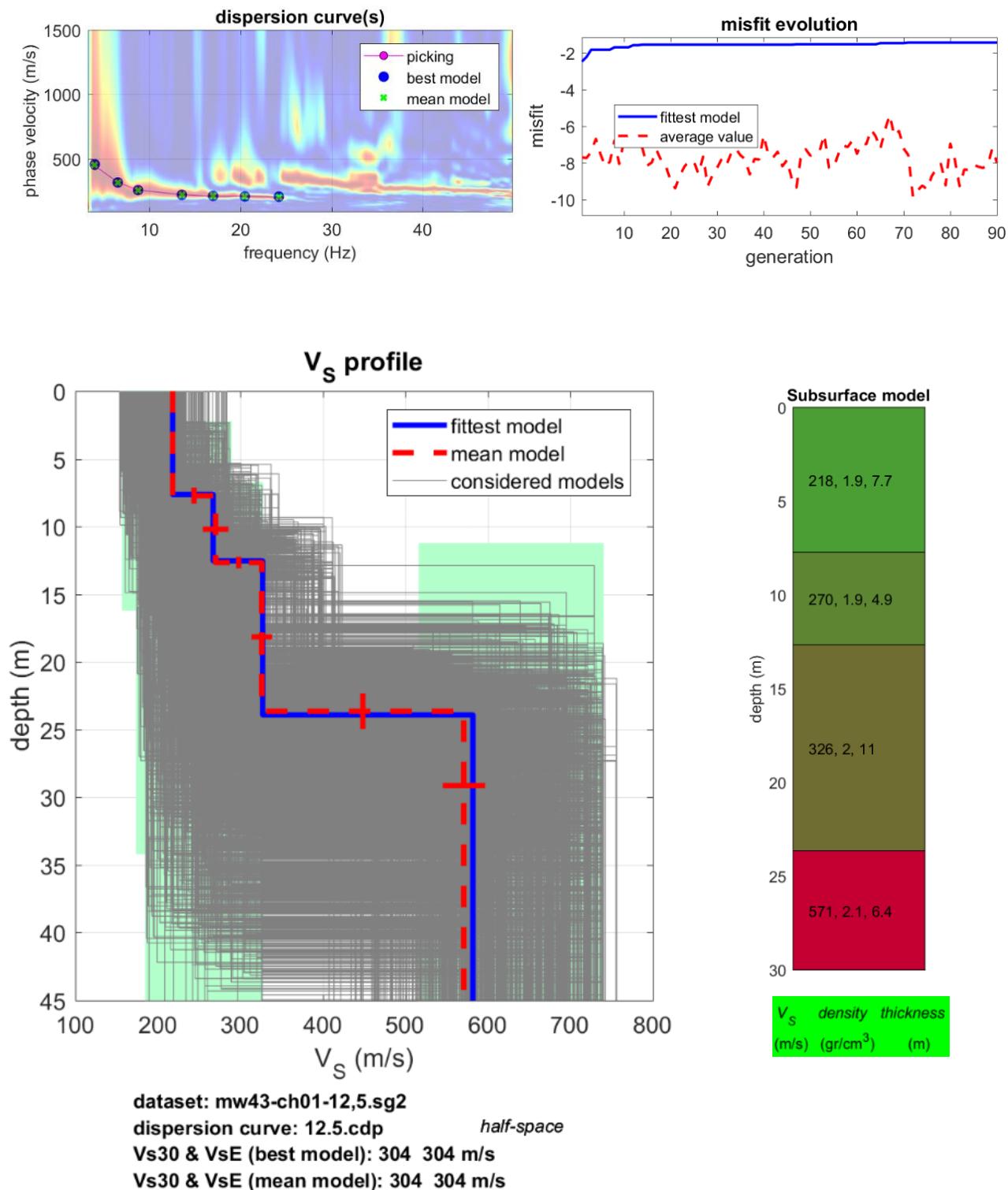
*Spettri di velocità:*



**Figura 21 - Spettri delle tracce di tutti e sei gli shots effettuati.**



**Risultati dell'inversione e modello stratigrafico del sottosuolo**



**Figura 22 - Risultati dell'inversione e del modello stratigrafico del sottosuolo**

Le elaborazioni effettuate hanno consentito di calcolare la velocità delle Vs e di determinare quindi la categoria di suolo nell'area investigata:

Vs30 e Vseq = **304 m/s**

Categoria di suolo: **C**

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina 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.

## 2.6 HVSR 3

### 2.6.1 *Acquisizione dei dati*

Le indagini HVSR sono state svolte successivamente all'indagine sismica di tipo attivo, posizionando la strumentazione al centro dello stendimento utilizzato per eseguire l'indagine MASW, al fine di determinare le frequenze di risonanza caratteristiche di sito.



**Figura 23 - Esecuzione dell'indagine HVSR.**

Il TROMINO è stato posizionato ed è stato lasciato acquisire in modo automatico per un tempo di 20 minuti.

### 2.6.2 *Elaborazione dei dati e risultati*

I dati sono stati trasferiti al PC attraverso apposito collegamento USB ed elaborati con il software Grilla. I dati che sono stati puliti, per la presenza di tracce disturbate e filtrati in funzione della loro dispersione espressa in termini di deviazione standard. È stato inoltre imposto un lisciamiento (smoothing) del 10% alle curve per smorzarne la spigolosità ed un intervallo di analisi di frequenza di 20 secondi. Grazie a queste operazioni viene successivamente rappresentata la curva sperimentale H/V dalla quale è possibile risalire al picco di frequenza massima di risonanza di sito.

### **Risultati**

Strumento: TEB-0504/01-19

Formato dati: 32 bit

Fondo scala [mV]: 89

Inizio registrazione: 20/07/20 10:42:47      Fine registrazione: 20/07/20 11:02:47

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Posizione GPS: 016°23.4452 E, 38°55.9643 N (110.7 m)

(tempo UTC sincronizzato al primo campione di registrazione): non disponibile in questo modo di acquisizione + 0 + 0 campioni

Num. satelliti: 8

Durata registrazione: 0h20'00".      Analizzato 77% tracciato (selezione automatica)

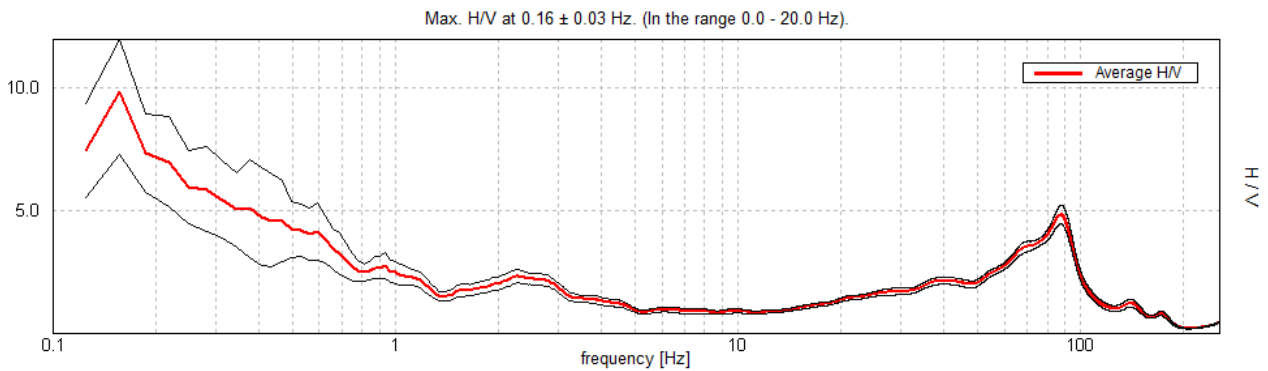
Freq. campionamento: 512 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

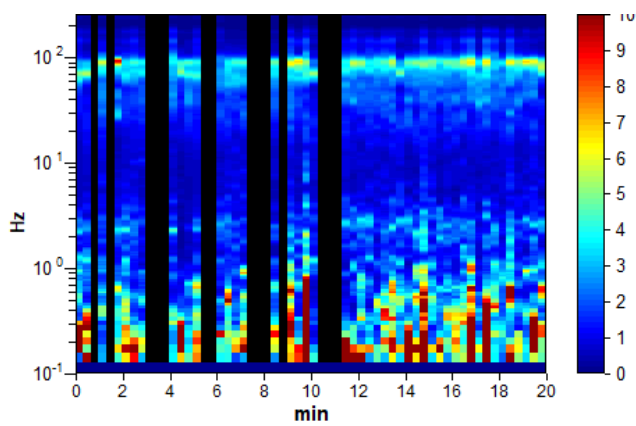
Tipo di lisciamiento: Triangular window

Lisciamiento: 10%

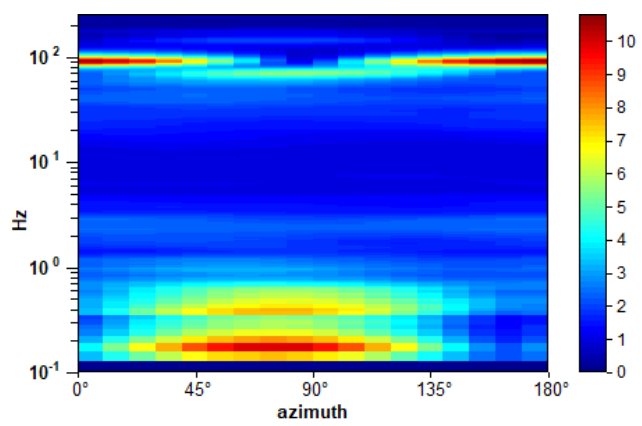
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



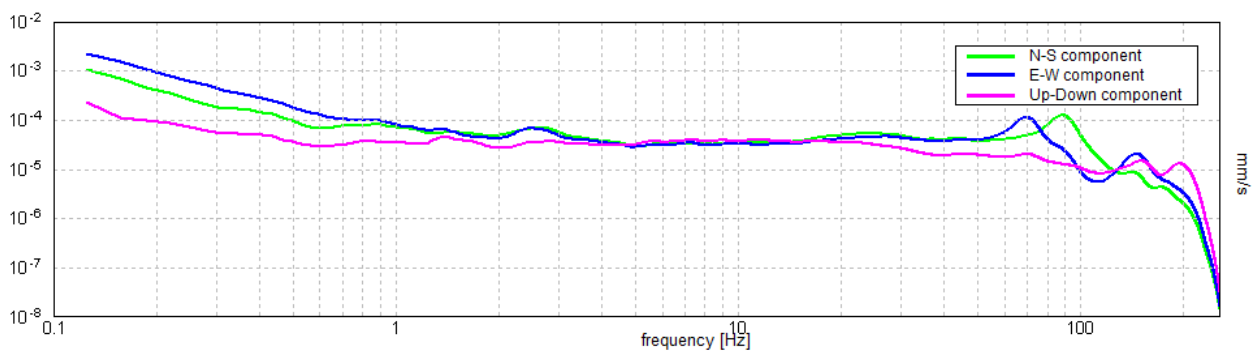
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



**Picco H/V a  $0.16 \pm 0.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).**

### Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.16 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$143.8 > 200$		<b>NO</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 8	<b>OK</b>	

### Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.406 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$9.87 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.17446  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02726 < 0.03906$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$2.5461 < 3.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale

$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

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

Dall'indagine è stato possibile identificare la frequenza del picco del rapporto H/V pari a  $0.16 \pm 0.03$  Hz.

## 2.7 MASW 4

### 2.7.1 *Acquisizione dei dati*

La MASW numero 4 è ubicata nei pressi della linea ferroviaria del comune di Pianopoli.

Per eseguire l'indagine è stato utilizzato uno stendimento con lunghezza di 58 metri, composto da 24 geofoni distanziati di 2.5 metri. In totale sono state eseguite 6 registrazioni, energizzando a 3, 4, e 5 volte la spaziatura geofonica (Figura ).



**Figura 24 - Ubicazione della MASW n. 4**



In Figura è rappresentata l'esecuzione delle indagini presso il sito 4.



**Figura 25 - Esecuzione delle indagini MASW**

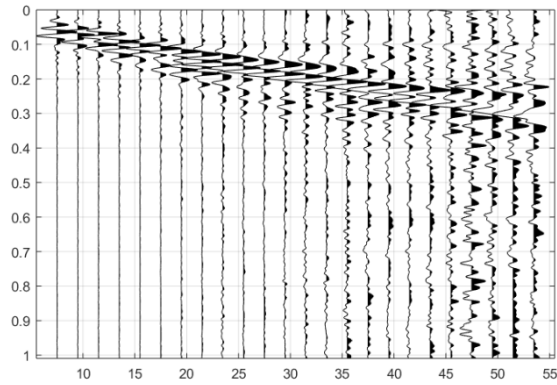
### **2.7.2 Elaborazione dei dati e risultati**

Al termine dell'indagine si sono ottenute così 6 tracce, con i relativi spettri di velocità calcolati. I segnali delle tracce sono stati debitamente filtrati e puliti attraverso il software WinMASW Lite.

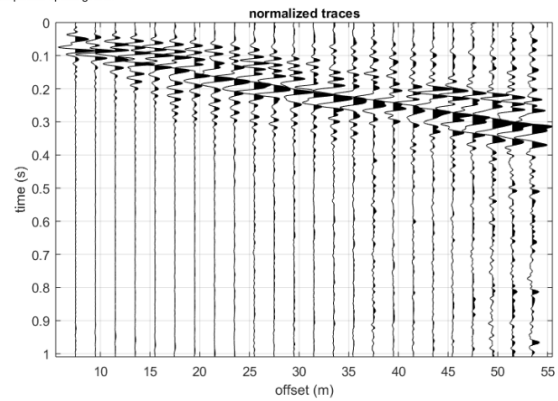
Dopodichè sullo spettro di velocità medio, è stato effettuato il processo di picking dei massimi di ampiezza del modo fondamentale e degli eventuali modi superiori. Mediante il processo di inversione, si ottiene il profilo di velocità con la profondità che permette di definire il parametro  $V_{seq}$ .

**Tracce acquisite:**

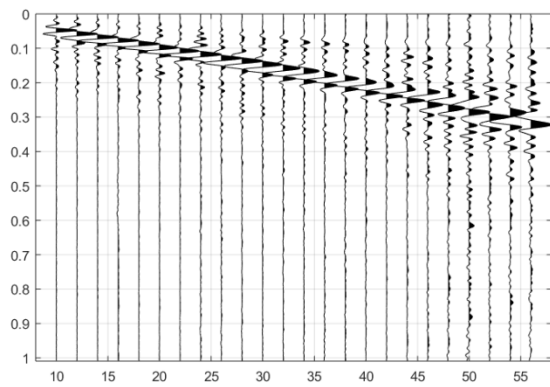
dataset: mw44-ch01-7.5.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 7.5 m  
geophone spacing: 2 m



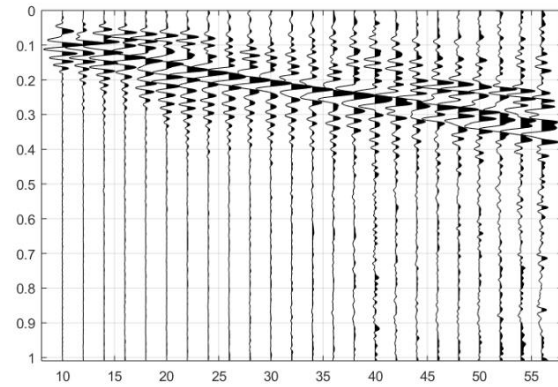
dataset: mw44-ch24-7.5.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 7.5 m  
geophone spacing: 2 m



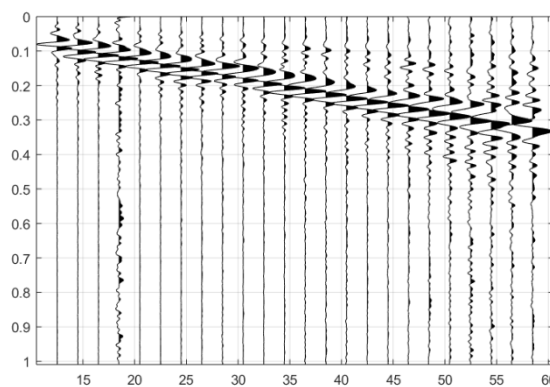
dataset: mw44-ch01-10.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 10 m  
geophone spacing: 2 m



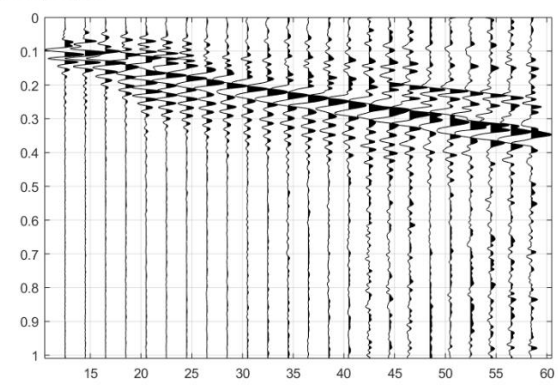
dataset: mw44-ch24-10.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 10 m  
geophone spacing: 2 m



dataset: mw44-ch01-12.5.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 12.5 m  
geophone spacing: 2 m

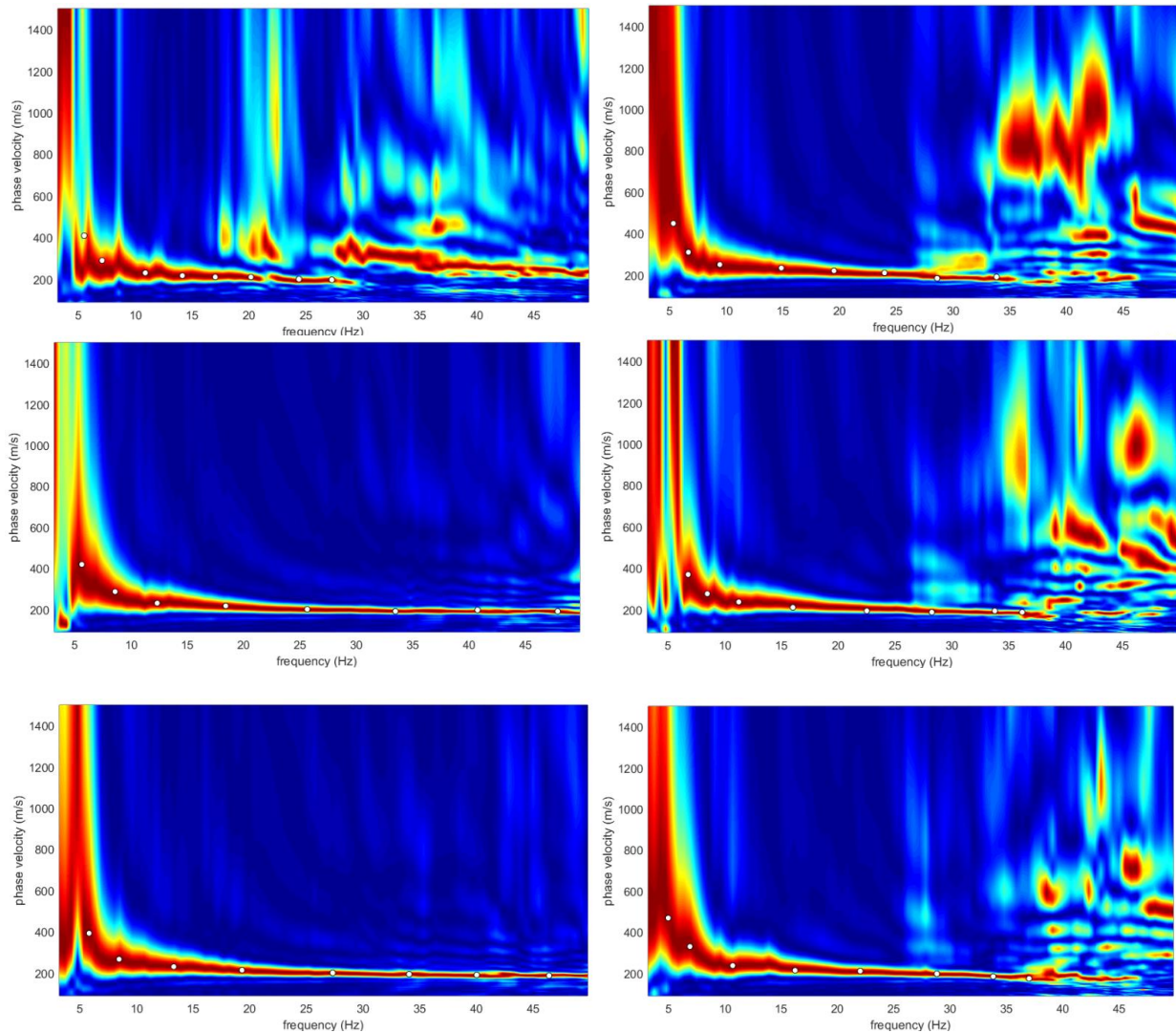


dataset: mw44-ch24-12.5.sg2  
sampling: 0.228 ms  
minimum offset: 12.5 m  
geophone spacing: 2 m



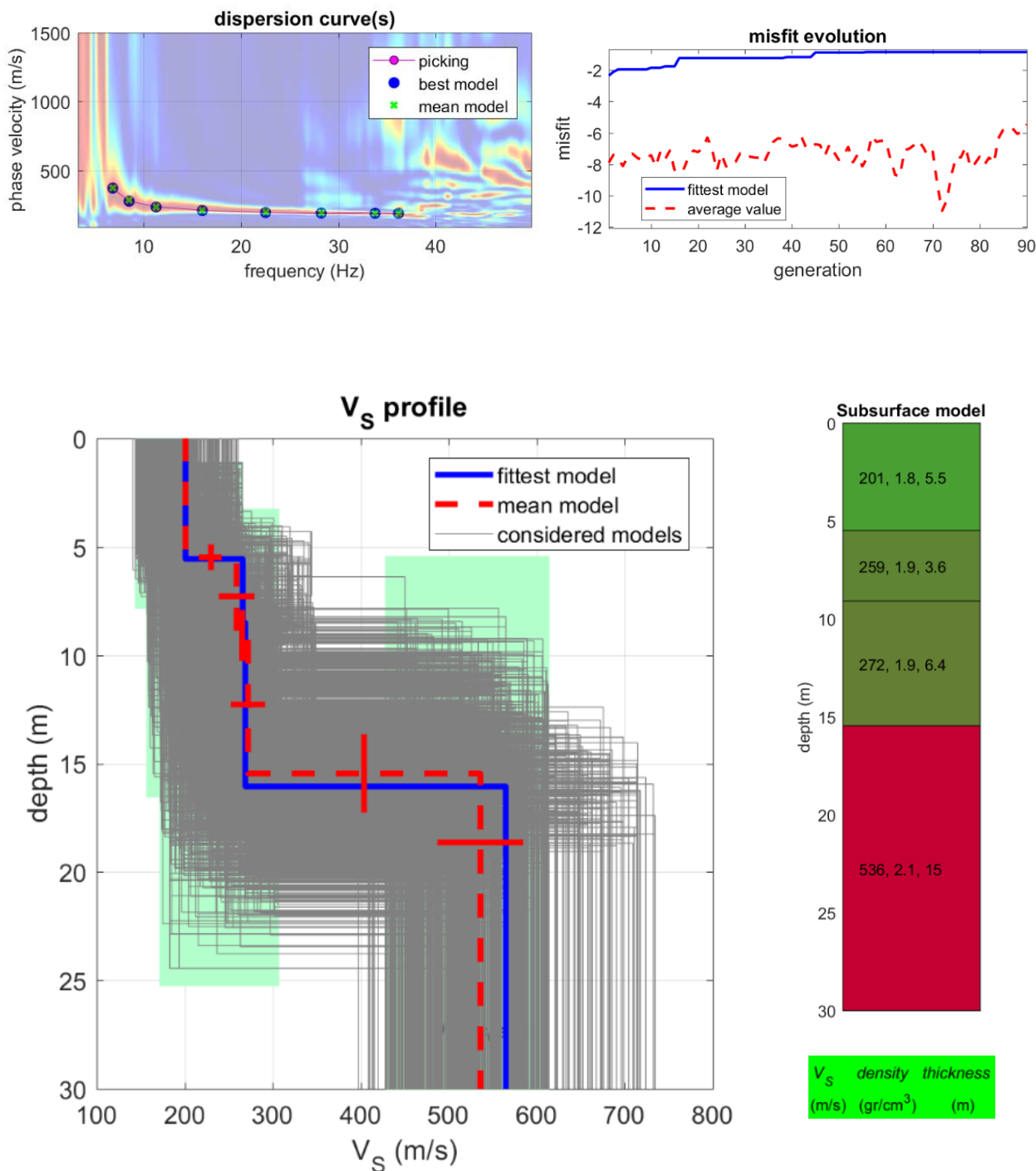
**Figura 26 - Tracce di tutti gli shots effettuati rispettivamente a 7.5, 10 e 12.5 metri, da ogni lato dello stendimento**

*Spettri di velocità:*



**Figura 27 - Spettri delle tracce di tutti e sei gli shots effettuati.**

**Risultati dell'inversione e modello stratigrafico del sottosuolo**



dataset: mw44-ch24-10.sg2  
 dispersion curve: -10.cdp  
 Vs30 & VsE (best model): 328 328 m/s  
 Vs30 & VsE (mean model): 327 327 m/s

**Figura 28 - Risultati dell'inversione e del modello stratigrafico del sottosuolo**

Le elaborazioni effettuate hanno consentito di calcolare la velocità delle Vs e di determinare quindi la categoria di suolo nell'area investigata:

Vs30 e Vseq = **327 m/s**

Categoria di suolo: **C**

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina 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.

## 2.8 HVSR 4

### 2.8.1 *Acquisizione dei dati*

Le indagini HVSR sono state svolte successivamente all'indagine sismica di tipo attivo, posizionando la strumentazione al centro dello stendimento utilizzato per eseguire l'indagine MASW, al fine di determinare le frequenze di risonanza caratteristiche di sito.



**Figura 29 - Esecuzione dell'indagine HVSR.**

Il TROMINO è stato posizionato ed è stato lasciato acquisire in modo automatico per un tempo di 20 minuti.

### 2.8.2 *Elaborazione dei dati e risultati*

I dati sono stati trasferiti al PC attraverso apposito collegamento USB ed elaborati con il software Grilla. I dati che sono stati puliti, per la presenza di tracce disturbate e filtrati in funzione della loro dispersione espressa in termini di deviazione standard. È stato inoltre imposto un lisciamento (smoothing) del 10% alle curve per smorzarne la spigolosità ed un intervallo di analisi di frequenza di 20 secondi. Grazie a queste operazioni viene successivamente rappresentata la curva sperimentale H/V dalla quale è possibile risalire al picco di frequenza massima di risonanza di sito.

## **Risultati**

Strumento: TEB-0504/01-19

Formato dati: 32 bit

Fondo scala [mV]: 89

Inizio registrazione: 20/07/20 11:52:56      Fine registrazione: 20/07/20 12:12:56

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Posizione GPS: 016°23.4649 E, 38°55.9915 N (83.8 m)

(tempo UTC sincronizzato al primo campione di registrazione): non disponibile in questo modo di acquisizione + 0 + 0 campioni

Num. satelliti: 7

Durata registrazione: 0h20'00".      Analizzato 05% tracciato (selezione manuale)

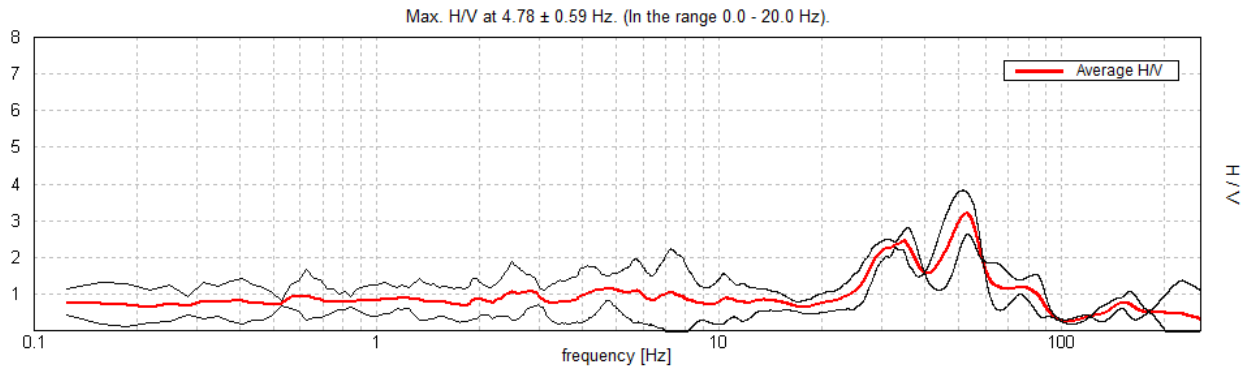
Freq. campionamento: 512 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

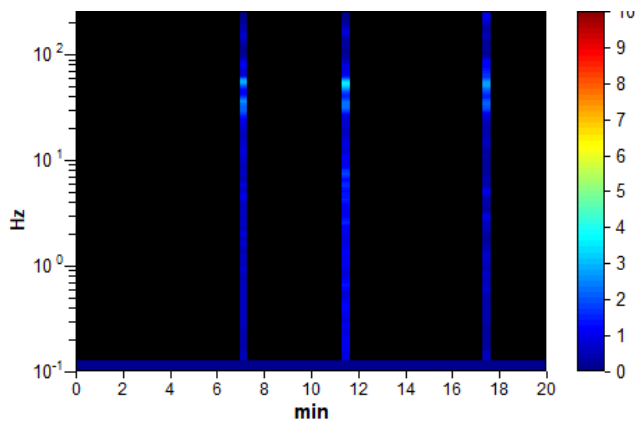
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

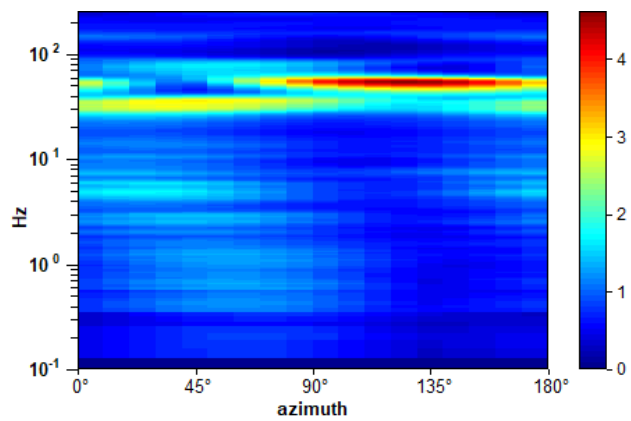
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



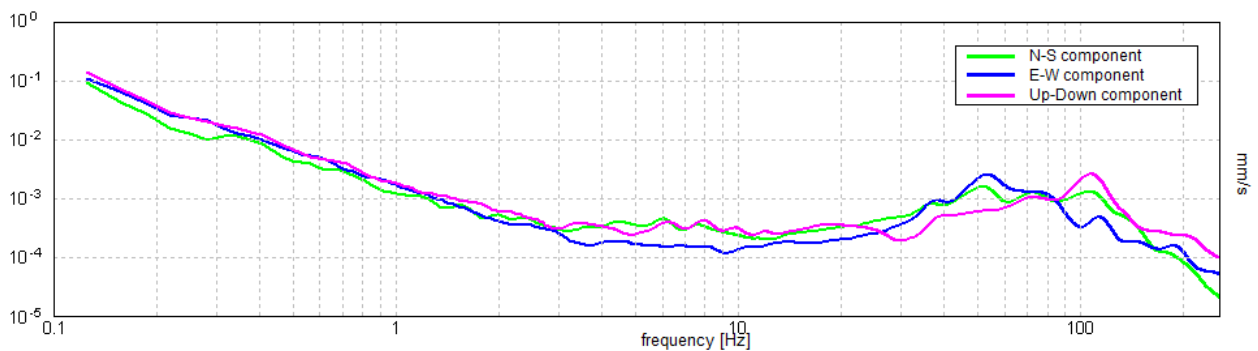
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI





**Picco H/V a  $4.78 \pm 0.59$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).**

### Criteria per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$4.78 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$286.9 > 200$	<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 230	<b>OK</b>	

### Criteria per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			<b>NO</b>
$A_0 > 2$	$1.18 > 2$		<b>NO</b>
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.12292  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.58769 < 0.23906$		<b>NO</b>
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3395 < 1.58$	<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

Dall'indagine è stato possibile identificare la frequenza del picco del rapporto H/V pari a  $4.78 \pm 0.59$  Hz.

## 2.9 DOWN-HOLE 1

### 2.9.1 *Acquisizione dei dati*

L'indagine DOWN:HOLE è stata ubicata nei pressi della linea ferroviaria del comune di Pianopoli.

Per il rilievo delle perturbazioni elastiche artificialmente prodotte (Down-Hole), sono stati utilizzati due sensori tridimensionali da foro intervallati di due m, entrambi costituiti da un geofono verticale e due orizzontali, tra loro disposti con asse di oscillazione ortogonale e frequenza propria di oscillazione di 14 Hz. Il sistema di ancoraggio dei sensori alle pareti del foro è avvenuto tramite due camere d'aria gonfiabili, con doppia rivestitura, comandate dall'alto mediante una pompa ad aria e manometro manuale.



**Figura 30 Ubicazione della DOWN-HOLE n. 1**

In Figura è rappresentata l'esecuzione delle indagini presso il sito 5.



**Figura 31** Esecuzione dell'indagine DOWN-HOLE n. 1

### *2.9.2 Elaborazione dei dati e risultati*

Il foro di sondaggio in cui sono state realizzate le misure (**DH-S<sub>56</sub>**) è stato condizionato con tubo in PVC ed opportunamente cementato, in modo da rendere solidale il tubo con il terreno circostante e quindi possibile il transito delle oscillazioni elastiche dal terreno ai sensori contrastati alla parete. L'energizzazione per la generazione delle onde di compressione (P) è stata realizzata con mazza di 8 Kg battente su piattello metallico. Per facilitare la generazione ed il rilievo delle onde trasversali con adeguata componente sul piano orizzontale (SH) si è utilizzato una traversina in legno, opportunamente ancorata, producendo un impatto laterale. Sono state effettuate, quindi, per ogni stazionamento, due energizzazioni per le onde S (con inversione di fase), con piano di oscillazione prevalentemente orizzontale, e una verticale per la generazione prevalente delle onde P. Le energizzazioni sono state realizzate ad una distanza di 2.0 metri dal boccaforo. La tecnica Down-Hole si basa sulla determinazione dei tempi d'arrivo delle onde di volume, rilevate dai sensori all'interno del foro, generate in superficie in prossimità del boccaforo. I tempi di arrivo sono stati calcolati, per ogni intervallo di misura, come

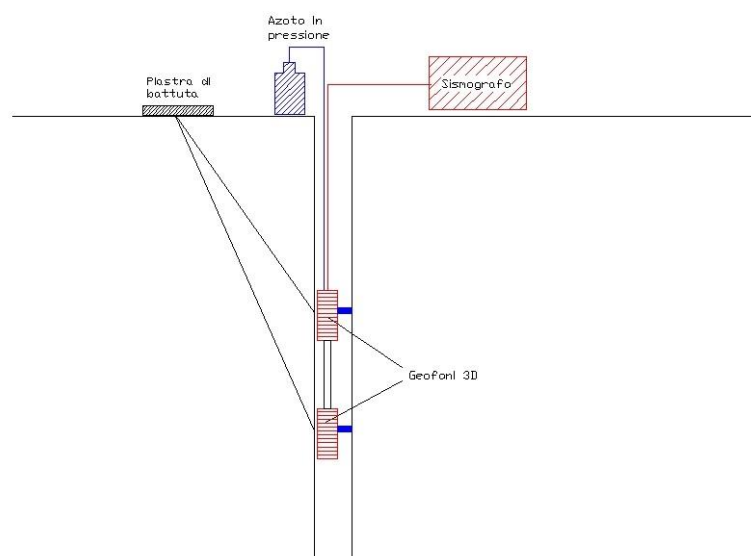
differenza dei tempi totali d'arrivo ai due sensori tra loro distanziati di due metri. Essendo le differenze calcolate relative ad un singolo evento di energizzazione, si sono annullati eventuali errori relativi alla partenza esatta della registrazione.

Il rapporto tra l'intervallo esistente tra i sensori ed il tempo, determinato come differenza dei tempi d'arrivo delle onde P e S, permette il calcolo delle velocità relative alle onde di compressione ( $V_p$ ) e di taglio ( $V_s$ ) ogni due metri. L'intervallo di avanzamento della sonda all'interno del tubo è stato fissato a 1 metro, in maniera tale da avere una misura ogni metro.

Nelle tabelle allegate sono riportati i valori dei tempi d'arrivo relativi alle onde P e S, i tempi corretti sulla verticale ( $T'_p$  e  $T'_s$ ), per tenere conto della distanza del punto di energizzazione dal foro di sondaggio, i valori delle velocità  $V_p$  e  $V_s$  relativi all'intervallo corrispondente ed infine i principali moduli elastici dinamici: il coefficiente di Poisson ( $\nu$ ), il modulo elastico (E), il modulo di taglio (G) e il modulo di incompressibilità o di Bulk (K). I valori dei pesi di volume ( $\gamma$ ) sono indicativi.

Alcuni di questi dati sono presentati anche in forma grafica: nel primo grafico sono riportate le velocità delle onde longitudinali (P) e trasversali (S) d'intervallo (istogrammi), mentre nel secondo grafico sono riportati i valori dei coefficienti di Poisson alle varie profondità. Nel terzo diagramma sono stati individuati, sulle dromocrone, i tratti che mostrano caratteri omogenei di velocità (pendenze) e, di conseguenza, sono stati determinati i valori medi rappresentativi dei singoli sismostrati. Nell'ultimo grafico sono riportati i valori dei moduli elastici per ciascun sismostrato.

SCHEMA DI DOWN-HOLE A DUE RICEVITORI



### **Interpretazione DH-S<sub>56</sub>**

Fino a una profondità di 2.0 m si registrano velocità delle onde S e delle onde P comprese rispettivamente tra 186-233 m/sec e 447-536 m/sec, riferibili alle coperture argilloso limoso sabbiose alterate. Da -2.0 m e fino a una profondità di 9.0 m, le velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) sono comprese tra 269 e 316 m/sec, mentre le velocità delle onde di compressione ( $V_p$ ) variano tra 559 e 790 m/sec. Tali valori di velocità sono riferibili a depositi prevalentemente sabbiosi mediamente addensati, con aumento relativo del grado di addensamento sotto i 7.0 m di profondità. Sotto i 9.0 m e fino alla profondità di 16 m, si riscontrano velocità delle onde trasversali ( $V_s$ ) e delle onde longitudinali ( $V_p$ ) comprese rispettivamente tra 287-377 m/sec e 729-820 m/sec, associabili a depositi sabbiosi addensati, passanti verso il basso a litotipi argillosi e media consistenza. Da -16.0 m e fino a una profondità di 24.0 m le velocità delle onde S oscillano tra 355-406 m/sec, mentre le velocità delle onde P sono comprese tra 709 e 862 m/sec. Le velocità registrate in questo intervallo sono riferibili a depositi sabbioso limoso argillosi e argilloso sabbiosi, nell'insieme addensati/consistenti.

Sotto i 24.0 m e fino alla profondità di 34.0 m, le velocità delle onde S sono comprese tra 464-584 m/sec e le velocità delle onde P tra 995-1322 m/sec, e sono riconducibili alla presenza di litotipi sabbiosi da addensati a ben addensati. Da -34.0 m e fino a una profondità di 40.0 m, si riscontra una diminuzione relativa dei valori di  $V_s$ , compresi tra 357 e 454 m/sec, associabili a depositi prevalentemente argillosi, nell'insieme consistenti.




A partire dai 40 m di profondità si evidenzia un aumento delle velocità delle onde S e P, comprese rispettivamente tra 587-665 m/sec e 1175-1426 m/sec, riferibili a depositi argilloso limoso prevalenti, da molto consistenti a compatti, passanti verso il basso a litotipi prevalentemente granulari eterometrici, da addensati a ben addensati.

**LAMEZIA TERME - CATANZARO - Lotto 1**  
**PROSPEZIONE SISMICA IN FORO (DOWN-HOLE) SONDAGGIO: S56**

 Profondità investigata: 50 m  
 Intervallo di misura: 1.0 m

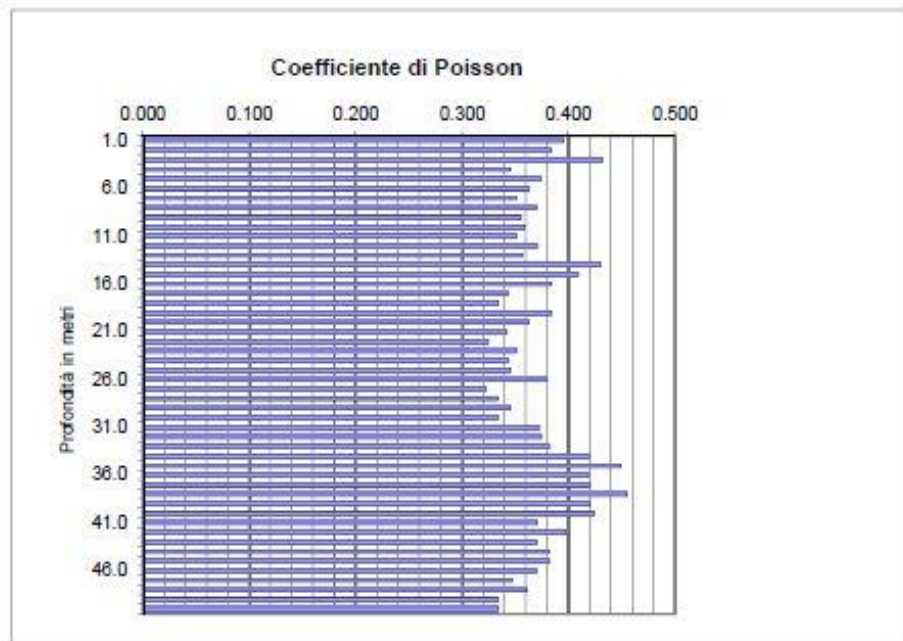
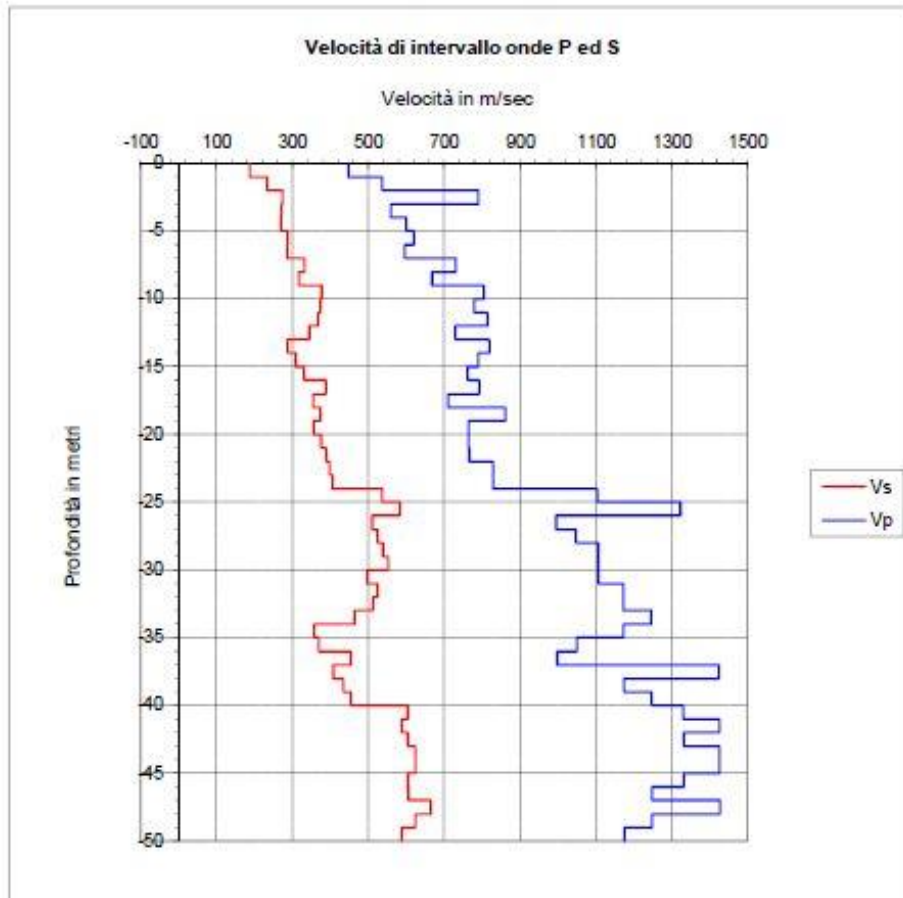
 Intervallo di campionamento: 20 µsec  
 Offset dal foro m: 2.0

Profondità metri	Tempi di arrivo onde P ed S				Velocità P e S		γ g/cm <sup>3</sup>	ν	Moduli elastici dinamici		
	Tp ms	Ts ms	Tp' ms	Ts' ms	Vp m/s	Vs m/s			E Mpa	G Mpa	K Mpa
1.0	5.00	12.00	2.24	5.37	447	186	1.80	0.385	174.4	62.5	276.7
2.0	5.80	13.66	4.10	6.65	536	233	1.80	0.383	271.1	98.0	386.7
3.0	6.45	16.00	5.37	13.31	790	273	2.00	0.432	427.5	149.2	1049.8
4.0	8.00	19.00	7.16	16.99	559	272	2.00	0.345	397.1	147.6	428.3
5.0	9.50	22.30	8.82	20.71	601	269	2.00	0.374	399.1	145.2	527.7
6.0	11.00	25.50	10.44	24.19	619	287	2.00	0.383	448.7	164.5	547.4
7.0	12.60	28.80	12.12	27.69	595	286	2.00	0.350	440.8	163.2	491.3
8.0	13.90	31.66	13.48	30.71	730	332	2.00	0.370	603.5	220.3	772.2
9.0	15.35	34.70	14.98	33.87	667	316	2.00	0.356	540.1	199.2	623.9
10.0	16.55	37.25	16.23	36.53	804	377	2.00	0.359	772.4	284.2	913.2
11.0	17.80	39.85	17.51	39.21	779	373	2.00	0.351	752.1	278.3	841.5
12.0	19.00	42.50	18.74	41.92	814	368	2.00	0.371	744.3	271.4	963.1
13.0	20.35	45.35	20.11	44.82	729	345	2.00	0.356	644.5	237.7	745.8
14.0	21.55	48.80	21.33	48.31	820	287	2.00	0.430	470.5	164.5	1124.3
15.0	22.80	52.00	22.60	51.54	790	309	2.00	0.409	538.9	191.2	991.8
16.0	24.10	55.00	23.91	54.56	761	330	2.00	0.384	602.6	217.6	868.3
17.0	25.35	57.55	25.18	57.16	792	388	2.00	0.343	808.5	300.3	854.4
18.0	26.75	60.35	26.59	59.96	709	354	2.00	0.334	688.6	250.6	671.8
19.0	27.90	63.00	27.75	62.65	862	374	2.00	0.384	774.8	279.9	1112.3
20.0	29.20	65.80	29.06	65.47	764	355	2.00	0.363	685.7	251.6	832.9
21.0	30.50	68.45	30.36	68.14	765	375	2.00	0.342	754.0	280.9	795.3
22.0	31.80	71.00	31.67	70.71	765	390	2.00	0.325	804.5	303.6	766.4
23.0	33.00	73.50	32.88	73.22	829	398	2.00	0.351	853.9	316.1	952.4
24.0	34.20	75.95	34.08	75.69	829	406	2.00	0.343	884.5	329.4	936.0
25.0	35.10	77.80	34.99	77.55	1103	536	2.00	0.345	1547.8	575.3	1667.6
26.0	35.85	79.50	35.74	79.27	1322	584	2.00	0.379	1878.6	681.1	2589.5
27.0	36.85	81.45	36.75	81.23	995	510	2.00	0.322	1374.3	519.8	1287.5
28.0	37.80	83.35	37.70	83.14	1048	523	2.00	0.334	1461.2	547.8	1464.2
29.0	38.70	85.20	38.61	85.00	1106	538	2.00	0.345	1555.4	578.2	1674.5
30.0	39.60	87.00	39.51	86.81	1106	553	2.00	0.334	1629.7	611.0	1632.6
31.0	40.50	89.00	40.42	88.82	1107	498	2.00	0.373	1362.0	496.0	1787.7
32.0	41.35	90.90	41.27	90.72	1172	524	2.00	0.375	1511.2	549.6	2012.7
33.0	42.20	92.85	42.12	92.66	1172	511	2.00	0.383	1444.1	522.2	2050.9
34.0	43.00	95.00	42.93	94.84	1245	464	2.00	0.419	1221.3	430.2	2527.4
35.0	43.85	97.80	43.78	97.64	1173	357	2.00	0.449	738.9	254.3	2411.1
36.0	44.80	100.35	44.73	100.20	1050	391	2.00	0.419	869.8	305.4	1796.2
37.0	45.60	103.05	45.73	102.60	998	370	2.00	0.420	778.9	273.5	1626.5
38.0	46.50	105.50	46.44	105.35	1424	407	2.00	0.455	966.4	332.0	3810.0
39.0	47.35	107.80	47.29	107.66	1174	434	2.00	0.421	1070.3	376.6	2252.1
40.0	48.15	110.00	48.09	109.86	1247	454	2.00	0.424	1172.1	411.6	2560.1
41.0	48.90	111.65	48.84	111.52	1330	604	2.00	0.370	2001.3	730.5	2562.7
42.0	49.60	113.35	49.54	113.22	1425	587	2.00	0.398	1925.0	688.6	3141.1
43.0	50.35	115.00	50.30	114.88	1330	605	2.00	0.370	2002.6	731.0	2564.2
44.0	51.05	116.80	51.00	116.48	1425	623	2.00	0.382	2148.3	777.4	3025.1
45.0	51.75	118.20	51.70	118.08	1425	624	2.00	0.382	2148.9	777.6	3025.9
46.0	52.50	119.85	52.45	119.74	1331	605	2.00	0.370	2004.2	731.6	2566.1
47.0	53.30	121.50	53.25	121.39	1248	605	2.00	0.346	1970.5	731.7	2138.8
48.0	54.00	123.00	53.95	122.99	1426	665	2.00	0.381	2408.9	885.1	2885.5
49.0	54.80	124.60	54.75	124.50	1248	624	2.00	0.333	2075.8	778.4	2077.7
50.0	55.65	126.30	55.61	126.20	1175	587	2.00	0.333	1839.7	689.8	1841.1

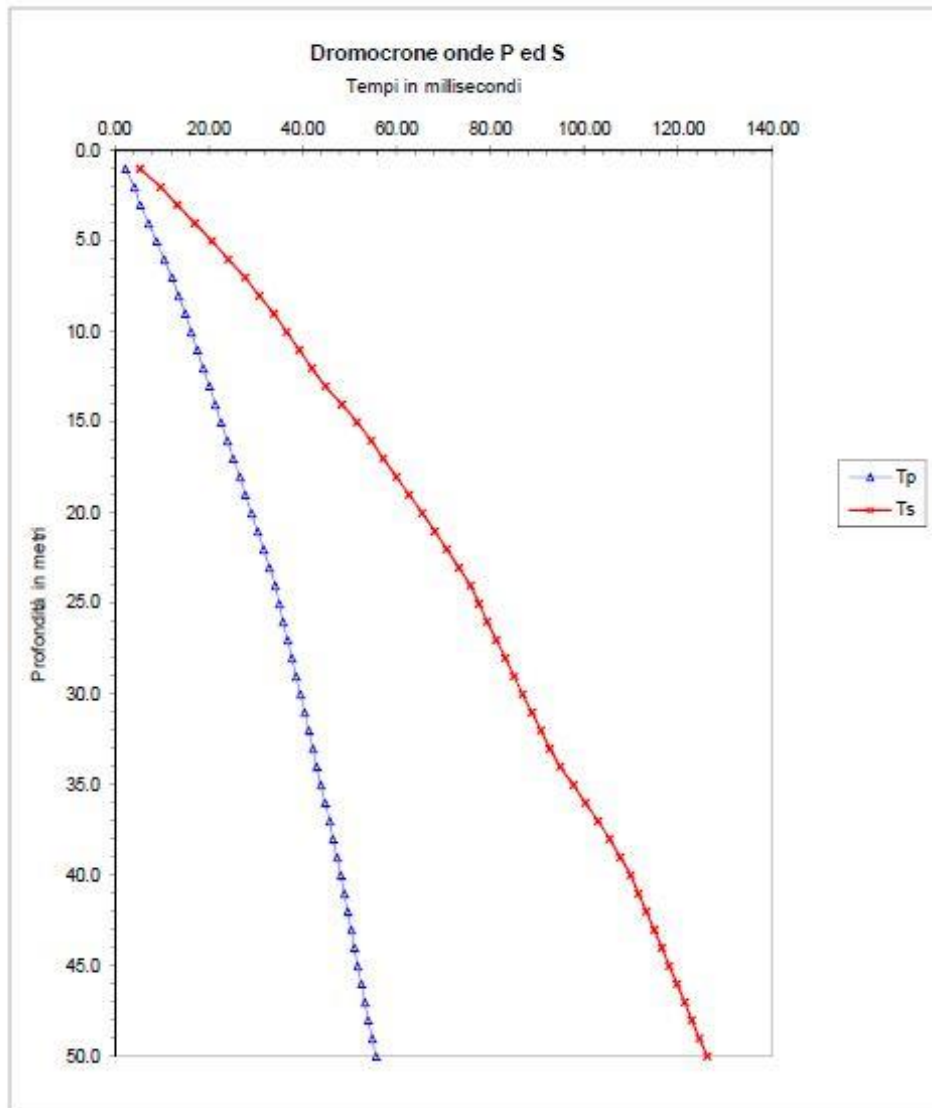
 Sabbie prevalenti  
 Argille prevalenti  
 Alternanze tra argille e sabbie

Tp: Tempo di arrivo onde longitudinali (P)  
 Ts: Tempo di arrivo onde trasversali (S)  
 Tp': Tempo di arrivo onde P corretto sulla verticale  
 Ts': Tempo di arrivo onde S corretto sulla verticale

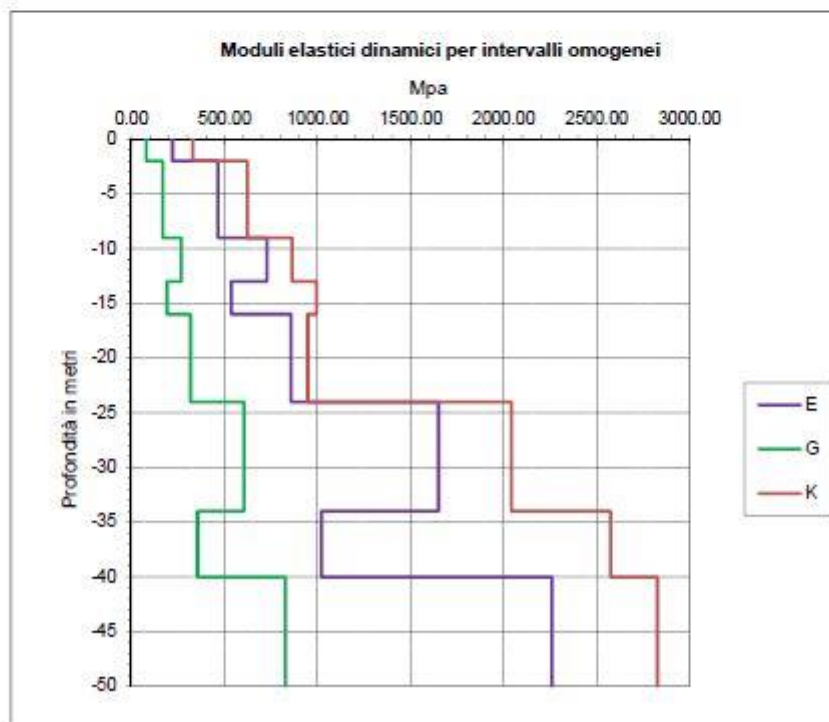
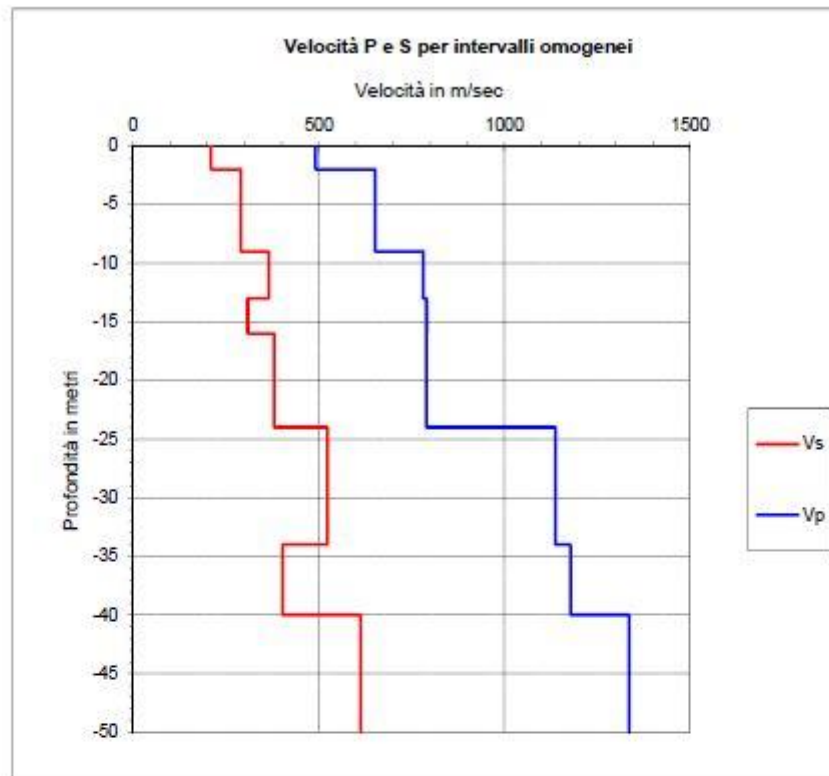
ν: Coefficiente di Poisson  
 E: Modulo di Young  
 G: Modulo di taglio  
 γ: Peso di Volume







Intervalli omogenei di velocità			Moduli elastici dinamici				
Intervalli misure	Vp m/sec	Vs m/sec	$\gamma$ g/cm <sup>3</sup>	$\nu$	E Mpa	G Mpa	K Mpa
0 - 2	492	210	1.80	0.39	220.13	79.26	329.5
2 - 9	652	291	2.00	0.38	464.78	168.91	624.0
9 - 13	781	366	2.00	0.36	727.64	267.58	864.1
13 - 16	790	309	2.00	0.41	537.17	190.49	994.5
16 - 24	789	380	2.20	0.35	856.30	317.28	948.0
24 - 34	1138	524	2.20	0.37	1649.74	604.16	2041.4
34 - 40	1177	402	2.20	0.43	1020.33	355.77	2575.2
40 - 50	1336	613	2.20	0.37	2258.90	826.35	2826.3



Le elaborazioni effettuate hanno consentito di calcolare la velocità delle Vs calcolata considerando un piano di posa della fondazione posto a p.c e di determinare quindi la categoria di suolo nell'area investigata:

$V_{s30}$  e  $V_{seq} = 346$  m/s

Categoria di suolo: **C**

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina 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.

## 2.10 HVSR 5

### 2.10.1 Acquisizione dei dati

Le indagini HVSR sono state svolte successivamente all'indagine sismica di tipo attivo, posizionando la strumentazione vicino al foro di sondaggio utilizzato per eseguire l'indagine DOWN-HOLE, al fine di determinare le frequenze di risonanza caratteristiche di sito.



**Figura 32 - Esecuzione dell'indagine HVSR.**

Il TROMINO è stato posizionato ed è stato lasciato acquisire in modo automatico per un tempo di 20 minuti.

### *2.10.2 Elaborazione dei dati e risultati*

I dati sono stati trasferiti al PC attraverso apposito collegamento USB ed elaborati con il software Grilla. I dati che sono stati puliti, per la presenza di tracce disturbate e filtrati in funzione della loro dispersione espressa in termini di deviazione standard. È stato inoltre imposto un lisciamento (smoothing) del 10% alle curve per smorzarne la spigolosità ed un intervallo di analisi di frequenza di 20 secondi. Grazie a queste operazioni viene successivamente rappresentata la curva sperimentale H/V dalla quale è possibile risalire al picco di frequenza massima di risonanza di sito.

### **Risultati**

Strumento: TEB-0504/01-19

Formato dati: 32 bit

Fondo scala [mV]: 89

Inizio registrazione: 21/07/20 10:10:30      Fine registrazione: 21/07/20 10:30:30

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Posizione GPS: 16°39.1653 E, 38°93.3146 N (101.0 m)

(tempo UTC sincronizzato al primo campione di registrazione): non disponibile in questo modo di acquisizione + 0 + 0 campioni

Num. satelliti: 9

Durata registrazione: 0h20'00".      Analizzato 47% tracciato (selezione manuale)

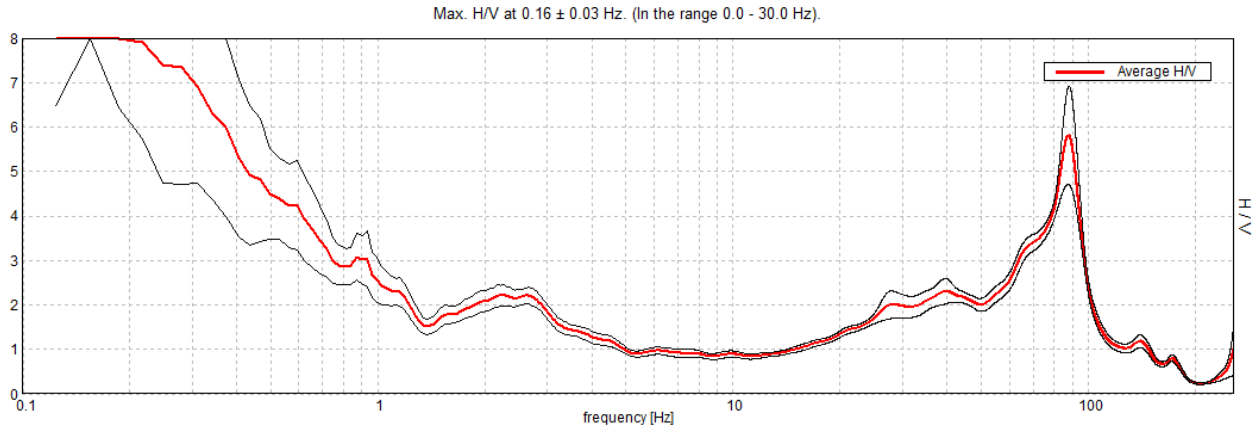
Freq. campionamento: 512 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

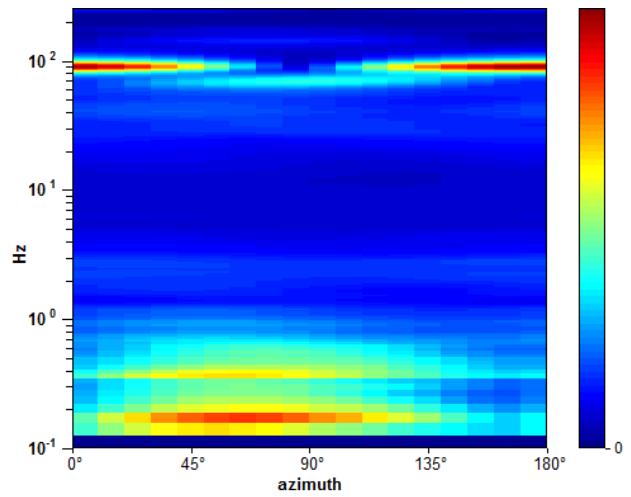
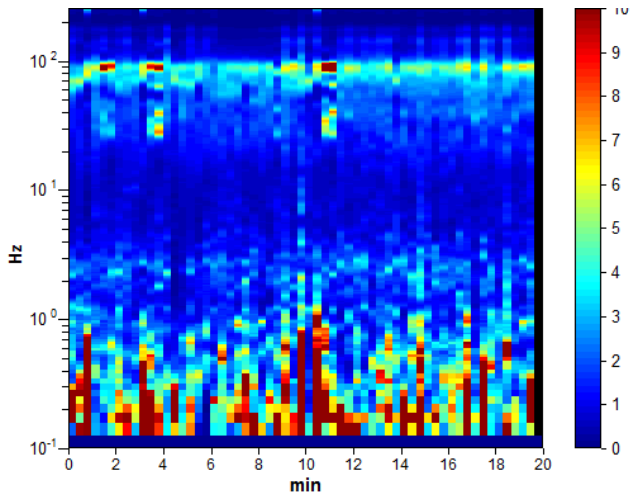
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

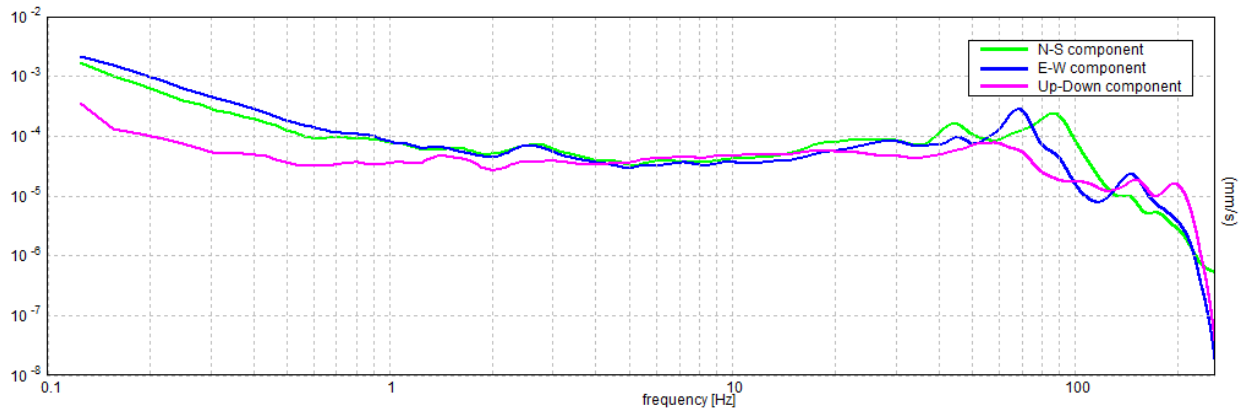


SERIE TEMPORALE H/V

DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



**Picco H/V a  $0.16 \pm 0.03$  Hz (nell'intervallo 0.0 - 30.0 Hz).**

### Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.16 > 0.50$		<b>NO</b>
$n_c(f_0) > 200$	$184.4 > 200$		<b>NO</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 8	<b>OK</b>	

### Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	<b>OK</b>	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.406 Hz	<b>OK</b>	
$A_0 > 2$	$11.30 > 2$	<b>OK</b>	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.22094  < 0.05$		<b>NO</b>
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03452 < 0.03906$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$2.7197 < 3.0$	<b>OK</b>	

$L_w$	lunghezza della finestra
$n_w$	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
$f$	frequenza attuale



$f_0$	frequenza del picco H/V
$\sigma_f$	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f_0$
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza $f$
$f^-$	frequenza tra $f_0/4$ e $f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequenza tra $f_0$ e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

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

### 3 CONCLUSIONE

Riassumendo quanto esposto, le indagini eseguite hanno consentito di determinare la stratigrafia sismica in termini di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) e di conseguenza alla categoria di suolo e alla frequenza  $f_0$  e dello spettro H/V nei termini di caratteristiche di sito.

Le indagini hanno prodotto i seguenti risultati:

#### **Sito 1:**

$V_{s30}$  e  $V_{seq} = 392$  m/s

Categoria di suolo: **B**

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina 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.

$f_0: 0.16 \pm 0.01$  Hz

#### **Sito 2:**

$V_{s30}$  e  $V_{seq} = 360$  m/s

Categoria di suolo: **B**

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina 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.

$f_0: 0.31 \pm 0.13$  Hz

#### **Sito 3:**

$V_{s30}$  e  $V_{seq} = 304$  m/s

Categoria di suolo: **C**

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina 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.

**f0: 0.16 ± 0.03 Hz**

**Sito 4:**

Vs30 e Vseq = **327 m/s**

Categoria di suolo: **C**

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina 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.

**f0: 4.78 ± 0.59 Hz**

**Sito 5:**

Vs30 e Vseq = **346 m/s**

Categoria di suolo: **C**

Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina 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.

**f0: 3.55 ± 0.72 Hz**