



**Città di Avezzano**

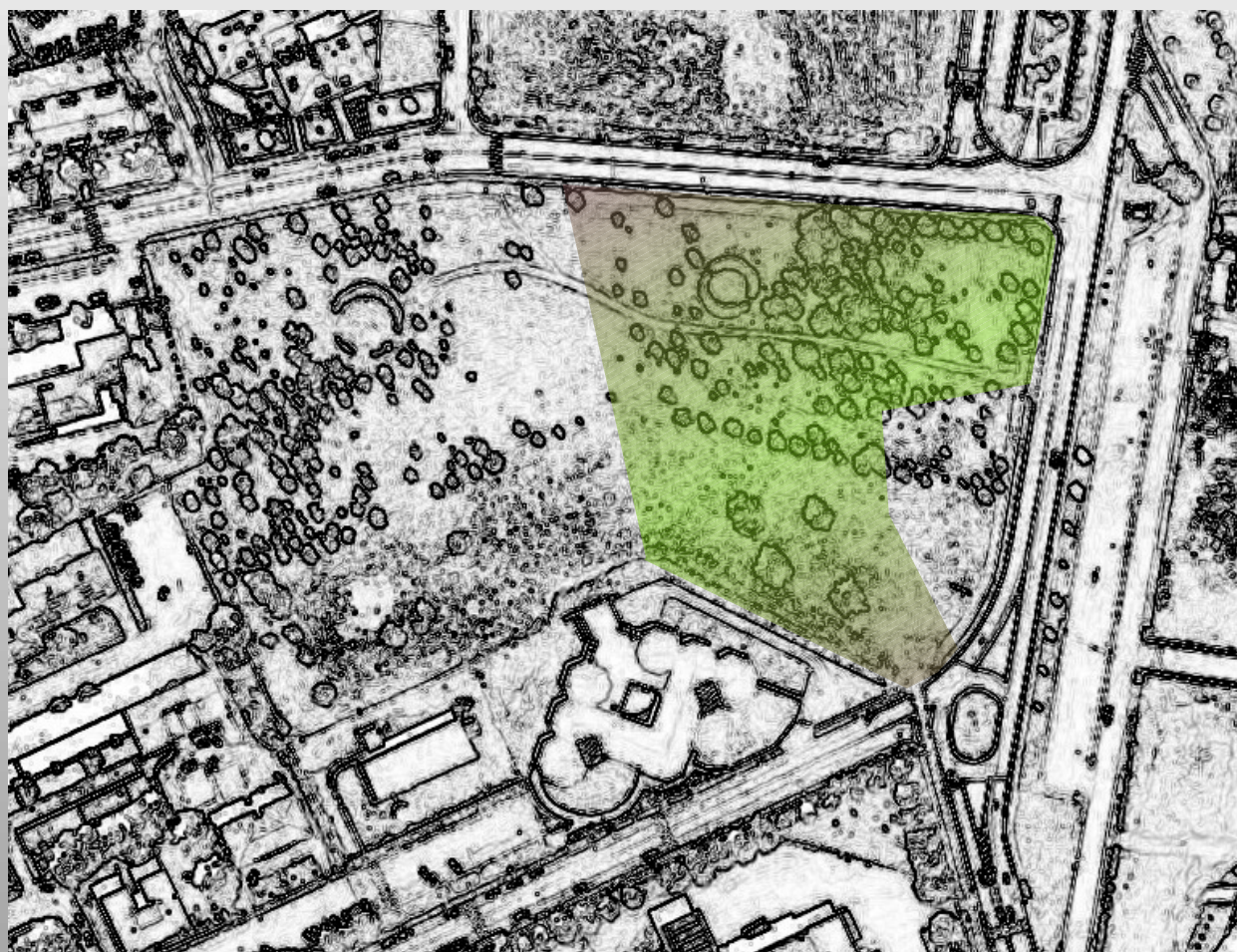
Con il patrocinio di:



Ordine degli Architetti  
Pianificatori, Paesaggisti e Conservatori  
della Provincia dell'Aquila



ORDINE degli  
INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DELL'AQUILA



**IL FUTURO IN COSTRUZIONE.**  
**L'INNOVAZIONE DIVENTA SCUOLA**  
***SOSTITUZIONE EDILIZIA DELLA SCUOLA PRIMARIA***  
***"GIOVANNI XXIII"***

**CONCORSO DI PROGETTAZIONE IN DUE GRADI  
MEDIANTE L'USO DI MATERIALI E TECNICHE A RIDOTTO IMPATTO AMBIENTALE  
DURANTE IL CICLO DI VITA DELL'OPERA  
CPV: 71221000-3U**

***ALLEGATO 4.3: Allegati alle relazioni 4.1 e 4.2***

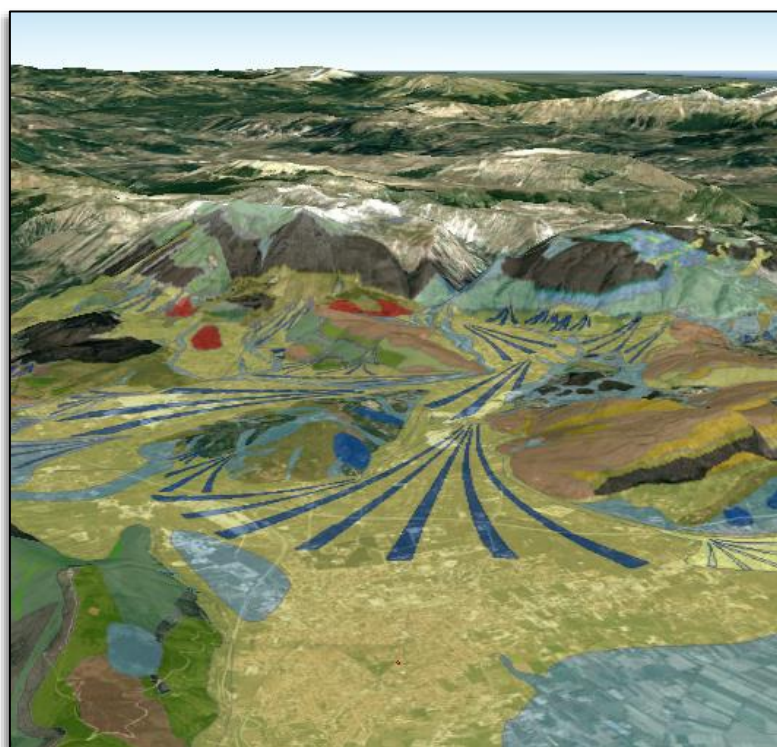
*“Relazione geologica preliminare per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico in sostituzione della scuola primaria Giovanni XXIII”.*

CITTA' DI AVEZZANO



## **COMUNE DI AVEZZANO**

**(PROVINCIA DI L'AQUILA)**



**ALLEGATI ALLA RELAZIONE GEOLOGICO –  
TECNICA E ALLA RELAZIONE DI MODELLAZIONE  
SISMICA**

COMMITTENTE:

**COMUNE DI AVEZZANO**

*Piazza della Repubblica 8,  
Avezzano (AQ).*

NOVEMBRE / DICEMBRE 2018

**Studio di Geologia – Dott.ssa Geologa Camilla Di Bastiano**

**Avezzano (AQ)– Via Mons. Bagnoli, 23 – 67051**

**cel. 328-0861212 e-mail: camilledibastiano@gmail.com**



**ALLEGATI ALLA RELAZIONE GEOLOGICA E**  
**ALLA RELAZIONE SISMICA**



## **INDICE ALLEGATI**

**ALLEGATO 1 – *Ubicazione delle prove e documentazione fotografica***

**ALLEGATO 2 – *Stratigrafia di sito***

**ALLEGATO 3 – *Standard Penetration Test (SPT)***

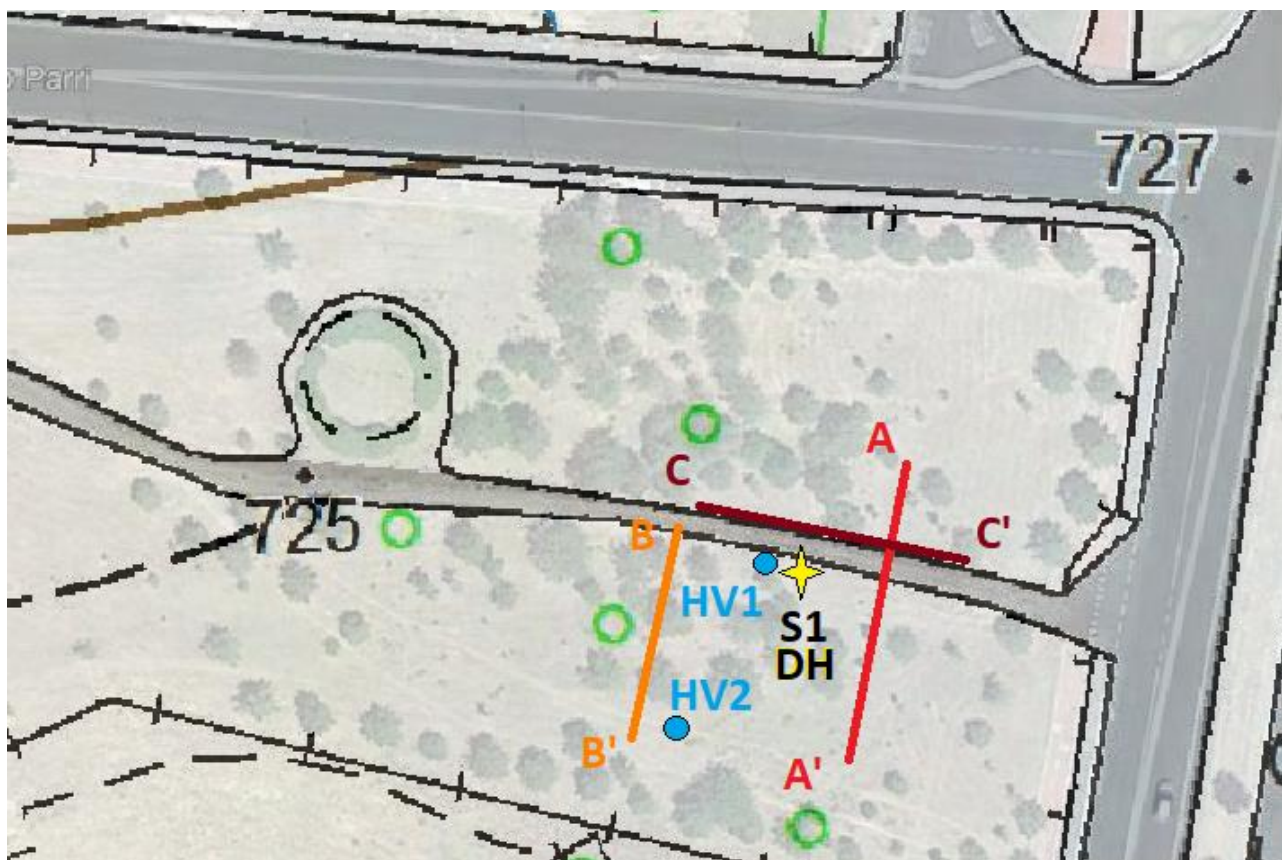
**ALLEGATO 4 – *Prova sismica di tipo MASW***



**ALLEGATO 5 – *Prova sismica di tipo HVSR***

**ALLEGATO 6 – *Prova sismica di tipo DOWNHOLE***

# Allegato 1

## *Ubicazione delle prove e documentazione fotografica*



- |                            |  |   |  |
|----------------------------|--|---|--|
| <p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> | <p>A' MASW_1</p> <p>B' MASW_2</p> <p>C' MASW_3</p> |  <p>Sondaggio S1 e<br/>Down-Hole</p> |  <p>HVSR_1 e HVSR_2</p> |
|----------------------------|--|---|--|



Sondaggio S1



SPT



Cassetta n.1: 0 m – 5 m



Cassetta n.2: 5m – 10 m



Cassetta n.3: 10 m – 15 m



Cassetta n.4: 15 m- 20 m



Cassetta n.5: 20 m – 25 m



Cassetta n.6: 25 m – 30 m





DownHole



MASW



HVSR



HVSR

**Allegato 2**  
*Stratigrafia di sito*



Committente:		Comune di Avezzano			
Località:		Via F.Parri/Via A.Moro	Comune:	AVEZZANO	Prov. AQ
Quota bocca foro:		724 m s.l.m.	Quota fondo foro:		694 m
Coordinate Lat:		42,047058°	Angolo rispetto alla verticale:		0 [°]
Coordinate Lon:		13,428240°	Data di esecuzione:		22-23/11/2018
					Profondità tot: 30 m
					Sondaggio a rotazione: S1
z (m)	Profilo stratigrafico	Descrizione	SPT	RV Kg/cm <sup>2</sup>	
0		Terreno vegetale argilloso molto consistente con inclusi ghiaie e ciottoli calcarei			
1				1,7	
2		Argille limose e limi argillosi colore beige/avana con sabbie grossolane	11/13/12	1,6	
3			41/42/24		
4		Sabbie debolmente limose beige			
5					
6		Ghiaia eterometrica con grani superiori ai 5 cm e ghiaia sabbiosa calcarea. La componente sabbiosa è grossolana	Rifiuto		
7					
8		Limo sabbioso beige			
9				1,1	
10		Argilla beige molto consistente, plastica		1,0	
11		Argilla marrone scuro/nerastra molto consistente, con intercalazioni ghiaiose	5/9/11	1,7	
12				0,5	
13		Argilla limosa beige/avana con ghiaia			
14		Argilla beige molto plastica		1,1	
15		Argilla marrone scuro/nerastra consistente	9/19/42	0,8	
16		Ghiaie in matrice argillosa marrone alternate a ghiaie in matrice sabbiosa beige Argilla marrone chiaro/beige molto plastica			
17					
18		Ghiaia e ciottoli calcarei eterometrici con sabbia grossolana. Verso il letto dello strato aumenta la componente argillosa			
19					
20					
21		Argilla beige con intercalazioni di sabbia grossolana		0,8	
22		Ghiaia in matrice sabbiosa grossolana			
23		Argille sabbiose con minerali di origine vulcanica			
24		Ghiaia in matrice sabbiosa grossolana			
25		Argille limoso sabbiose con abbondanti minerali di origine vulcanica		1,2	
26		Argille marroni molto consistenti con striature nere		2,0	
27		Sabbie e limi argillosi beige	9/10/13		
28		Ghiaia in matrice sabbiosa e sabbioso-argillosa			
29		Sabbie limose poco argillose marroni con striature nerastre		1,0	
30		Ghiaie sabbiose			

# Allegato 3

## *Prove SPT*



Nr.Prova	Profondità Prova (m)	Nr. Colpi
SPT1	2,15	11
	2,30	13
	2,45	12
SPT2	3,35	41
	3,50	42
	3,65	24
SPT3	5,5	RIFIUTO
SPT4	11.15	5
	11.30	9
	11.45	11
SPT5	15.15	9
	15.30	19
	15.45	42
SPT6	26,15	9
	26,30	10
	26,45	13

## PARAMETRI GEOTECNICI

<b>Prova:</b> SPT/1 <b>Descrizione strato:</b> argille limose e limi argillosi <b>Profondità prova:</b> 2,0 m <b>N<sub>SPT</sub>:</b> 25	<b>Indirizzo:</b> Via F. Parri / Via A. Moro, Avezzano <b>Committente:</b> Comune di Avezzano <b>Lavoro:</b> Relazione geologica preliminare per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico in sostituzione della scuola primaria Giovanni XXIII
---	--

Parametro	Valore	Referenze
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> )	20.31	Bruschi, 1980
Coesione non drenata (kPa)	131.4	Sanglerat, 1972
Modulo elastico (kPa)	29418	Decourt, 1977
Addensamento/consistenza	Molto consistente	Classifica AGI

## PARAMETRI GEOTECNICI

<b>Prova:</b> SPT/2 <b>Descrizione strato:</b> argille limose e limi argillosi con sabbia grossolana <b>Profondità prova:</b> 3,2 m <b>N<sub>SPT</sub>:</b> 24	<b>Indirizzo:</b> Via F. Parri / Via A. Moro, Avezzano <b>Committente:</b> Comune di Avezzano <b>Lavoro:</b> Relazione geologica preliminare per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico in sostituzione della scuola primaria Giovanni XXIII
---	--

Parametro	Valore	Referenze
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> )	20.16	Bruschi, 1980
Coesione non drenata (kPa)	126.1	Sanglerat, 1972
Modulo elastico (kPa)	28241.2	Decourt, 1977
Addensamento/consistenza	Molto consistente	Classifica AGI

### PARAMETRI GEOTECNICI

<b>Prova:</b> SPT/4 <b>Descrizione strato:</b> argille <b>Profondità prova:</b> 11,0 m <b>N<sub>SPT</sub>:</b> 20	<b>Indirizzo:</b> Via F. Parri / Via A. Moro, Avezzano <b>Committente:</b> Comune di Avezzano <b>Lavoro:</b> Relazione geologica preliminare per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico in sostituzione della scuola primaria Giovanni XXIII
--	--

Parametro	Valore	Referenze
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> )	19.49	Bruschi, 1980
Coesione non drenata (kPa)	186.3	Sanglerat, 1972
Modulo elastico (kPa)	22357.6	Decourt, 1977
Addensamento/consistenza	Molto consistente	Classifica AGI

### PARAMETRI GEOTECNICI

<b>Prova:</b> SPT/6 <b>Descrizione strato:</b> argille, sabbie con limi argillosi <b>Profondità prova:</b> 26,0 m <b>N<sub>SPT</sub>:</b> 23	<b>Indirizzo:</b> Via F. Parri / Via A. Moro, Avezzano <b>Committente:</b> Comune di Avezzano <b>Lavoro:</b> Relazione geologica preliminare per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico in sostituzione della scuola primaria Giovanni XXIII
---	--

Parametro	Valore	Referenze
Peso di volume (KN/m <sup>3</sup> )	20.01	Bruschi, 1980
Coesione non drenata (kPa)	113.7	Sanglerat, 1972
Modulo elastico (kPa)	10688	Decourt, 1977
Addensamento/consistenza	Molto consistente	Classifica AGI



## *Allegato 4*

### *Indagine sismica di tipo MASW*

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che consente di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali. La misura delle onde viene fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o 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 eterogeneo le onde di Rayleigh sono dispersive, ovvero, le onde superficiali non hanno una singola velocità, ma diverse velocità di fase in corrispondenza delle diverse frequenze. Tale fenomeno, dipendente dalla distribuzione spaziale delle proprietà sismiche del sottosuolo è noto come dispersione geometrica e la relazione che lega la frequenza alla velocità di fase prende il nome di curva di dispersione. 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 del suolo. Il metodo MASW rientra tra i metodi di sismica attiva, nei quali le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo, attraverso un massa battente e sono misurate da uno stendimento lineare di sensori.

Il metodo attivo 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 30m-50m, in funzione della rigidità del suolo.

Il processo per la realizzazione e l'elaborazione di una prova MASW si sviluppa in maniera riassuntiva in tre fasi:

- Acquisizione in situ delle onde superficiali;
- Calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;
- Individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , ottenuto mediante un processo di inversione della curva di dispersione e modificando opportunamente 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.

Il parametro fondamentale che è possibile ricavare da una prova MASW è la  $V_{seq}$ . Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{seq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Tale parametro rappresenta una media armonica della velocità delle onde di taglio dei singoli strati, ponderata sullo spessore degli  $i$ -esimi strati nei primi 30 m di profondità. La  $V_{seq}$  è l'indice raccomandato dalla vigente normativa (NTC08 D.M. 14/01/08 e Circolare esplicativa 617 del 02/02/09; NTC2018 D.M. 17/01/2018) per la classificazione dei terreni e l'individuazione della categoria del suolo di fondazione mediante l'approccio semplificato.

## ***STRUMENTAZIONE UTILIZZATA ED ELABORAZIONE DEI DATI ACQUISITI***

Le acquisizioni dei segnali sismici relativi, sono state effettuate mediante l'utilizzo del sismografo multicanale Do.Re.Mi. 16 bit, prodotto dalla Sara Electronic Instruments S.r.l. che offre la possibilità di visualizzare e verificare direttamente a video i segnali acquisiti. Le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata vengono riassunte nella seguente tabella.

<b>Campionamento</b>	
Memoria:	64 kByte (>30000 campioni)
Frequenze in Hz:	200,300,400,500,800,1000,2000,3000,4000,8000,10000,20000
pari ad intervalli in ms di:	5, 3.33, 2.5, 2, 1.25, 1, 0.5, 0.33, 0.25, 0.125, 0.1, 0.05
<b>Dinamica del sistema</b>	
Risoluzione con guadagno 10x:	7.600 $\mu$ V
Risoluzione con guadagno 1000x:	0.076 $\mu$ V
Dinamica di base:	96dB (16 bit)
Dinamica massima del preamplificatore:	80dB
Signal to Noise Ratio RMS fra 0.5 e 30Hz:	>90dB
Full range a 10x:	0.5V p-p
Risoluzione RMS a 1000x e 4000SPS:	0.0000002V p-p
Dinamica totale teorica:	155dB
Dinamica totale senza postprocessing:	> 127dB (a qualsiasi frequenza di campionamento)
Dinamica totale in postprocessing:	>140dB
<b>Convertitore A/D</b>	
Tipologia:	SAR
Risoluzione:	16 bit
Dinamica:	96 dB
<b>Preamplificatore</b>	
Tipologia:	ultra-low noise con ingresso differenziale
Filtri:	3Hz passa alto 1 polo, 200Hz passa basso 4 poli
Guadagni:	da 10x a 8000x
Reiezione di modo comune:	>80dB
Impedenza d'ingresso:	>100k $\Omega$

Caratteristiche della strumentazione utilizzata

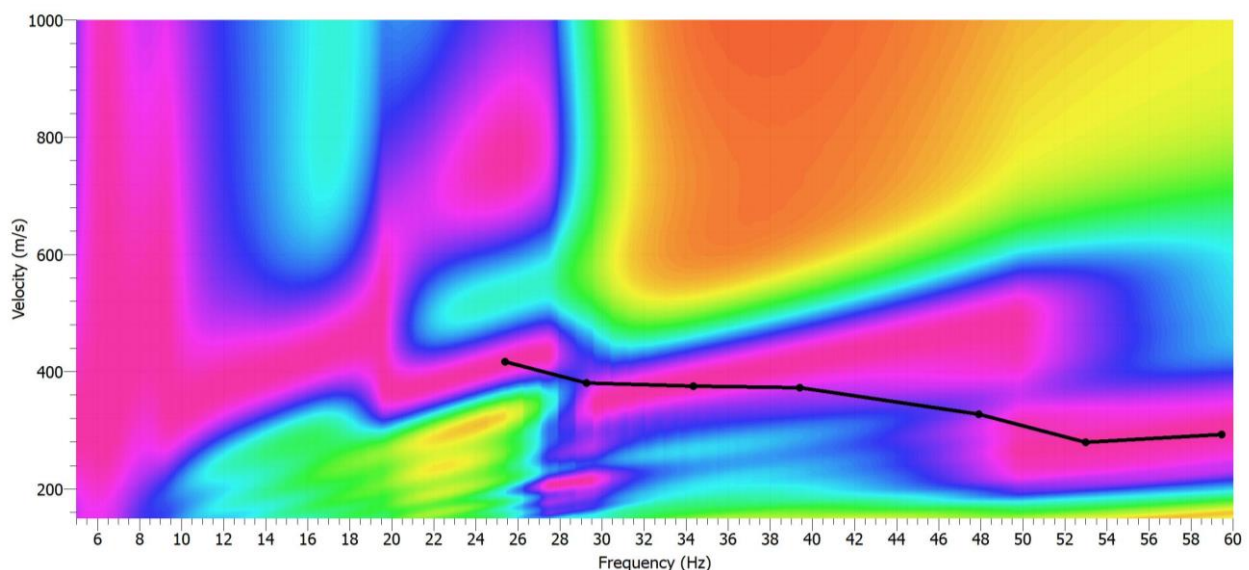


Al sismografo è stata connessa una catena geofonica dotata di 16 geofoni verticali da 4,5 Hz. I dati acquisiti, ovvero le registrazioni dei treni d'onda effettuate a partire dall'istante dell'energizzazione (+/- 1 msec), sono stati riprodotti su supporto magnetico. L'elaborazione dei dati sismici è stata effettuata per mezzo di software dedicati. In particolare per l'elaborazione dei dati sono stati utilizzati gli applicativi contenuti nel software "Geopsy", nato nell'ambito del progetto SESAME, che consente l'elaborazione di dati provenienti da differenti tipologie di indagini sismiche (MASW, ReMi, HVSR, Sismica a Rifrazione). Il software sfrutta algoritmi "Neighborhood Algorithm" (tecnica Monte Carlo) per risolvere i problemi di inversione. Con l'utilizzo di tali algoritmi si offre al software non un modello di partenza ma uno "spazio di ricerca" all'interno del quale possono essere valutate diverse possibili soluzioni, con una stima della loro attendibilità basata sull'uso di tecniche statistiche (deviazioni standard). Il processo seguito per l'elaborazione dei dati MASW, ha previsto quindi i seguenti step:

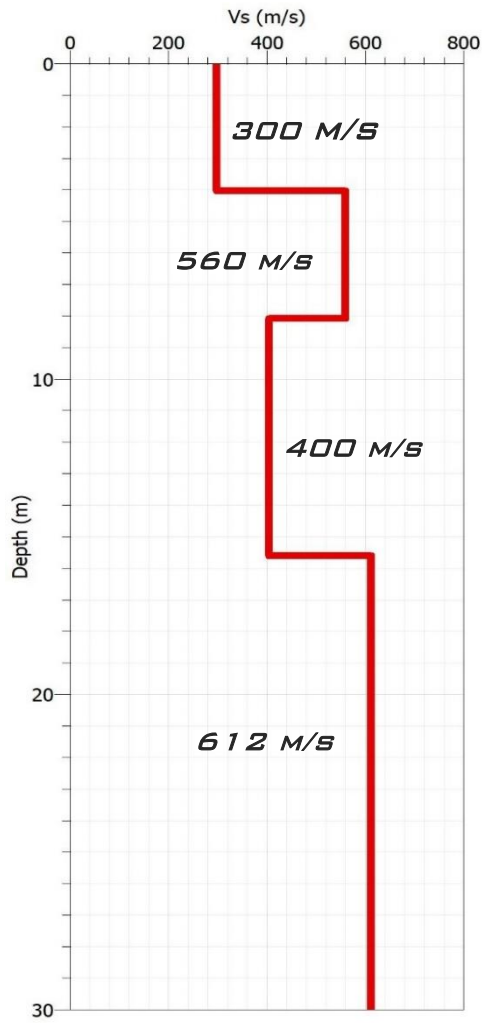
- Acquisizione dei segnali delle onde superficiali
- Estrazione dello spettro di dispersione e picking della curva di dispersione, al fine di ottenere una curva sperimentale sintetica mediante l'utilizzo del software Geopsy
- Calcolo del profilo delle velocità delle onde di taglio con la profondità mediante inversione della curva di dispersione per mezzo dell'utilizzo dell'applicativo "Dinver", contenuto all'interno del pacchetto Geopsy.

Di seguito vengono riportati i tracciati delle registrazioni e le elaborazioni effettuate:

**MASW 1**: 16 geofoni posti ad una interdistanza di 3 m e le energizzazioni sono state prodotte ad una distanza di 4 m dell'estremo dall'array geofonico.



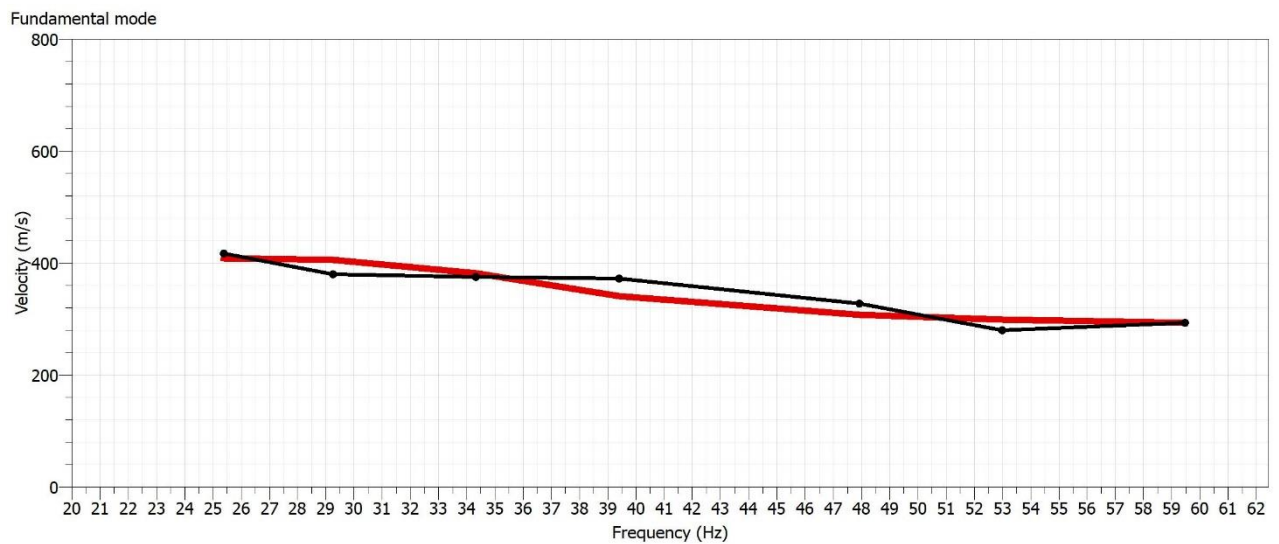
Picking della curva di dispersione MASW\_1



MASW 1		
Depth at the bottom of the layer (m)	Thickness (m)	Vs (m/s)
4	4	300
8,1	4,1	560
15,7	7,6	400
30	14,3	612
<b>Ve<sub>q30</sub>=476</b>		

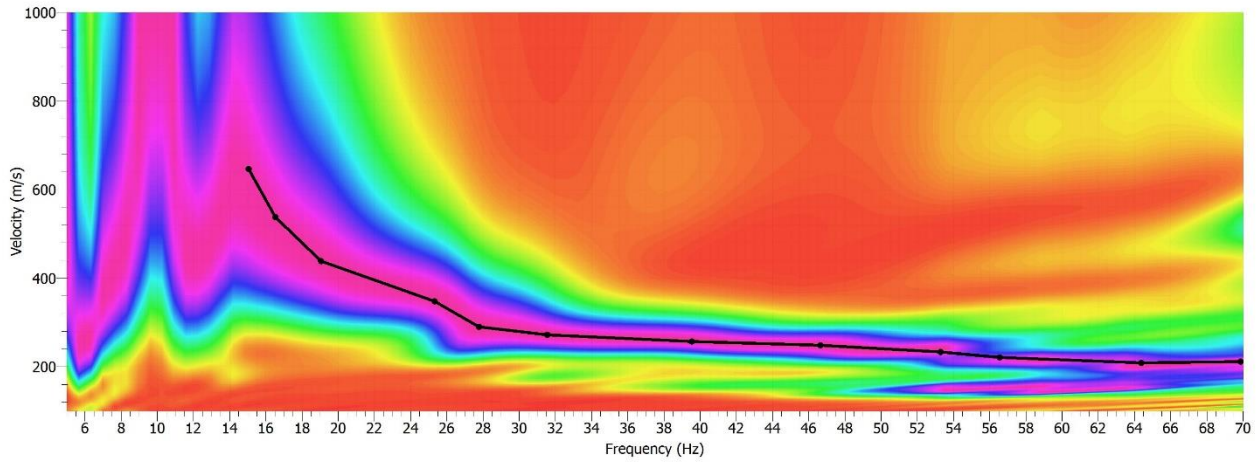
Risultati dell'analisi MASW\_1

Profilo delle velocità delle onde di taglio (Vs m/s) MASW\_1

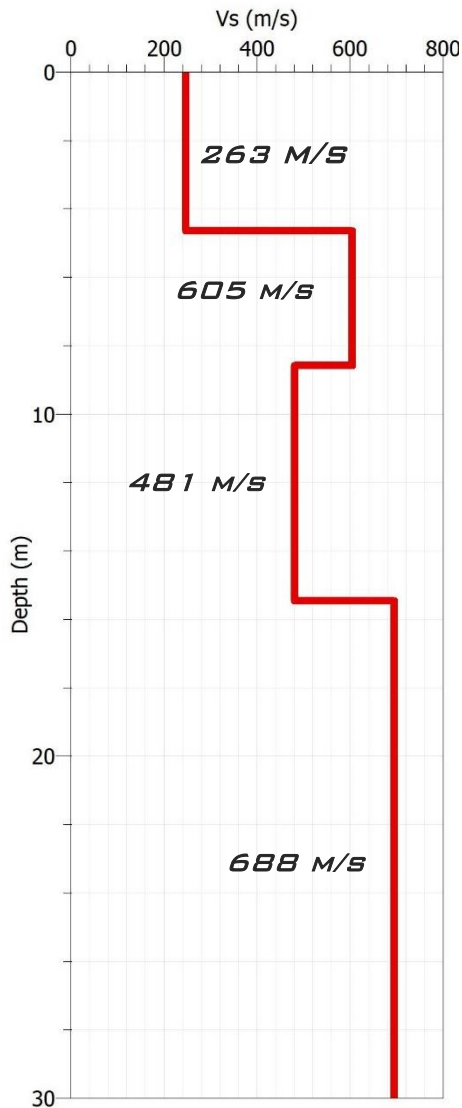


Fitting della curva di dispersione teorica e sperimentale MASW\_1

**MASW 2:** 16 geofono posti ad una interdistanza di 2 m e le energizzazioni sono state prodotte ad una distanza di 4 m dell'estremo dall'array geofonico.



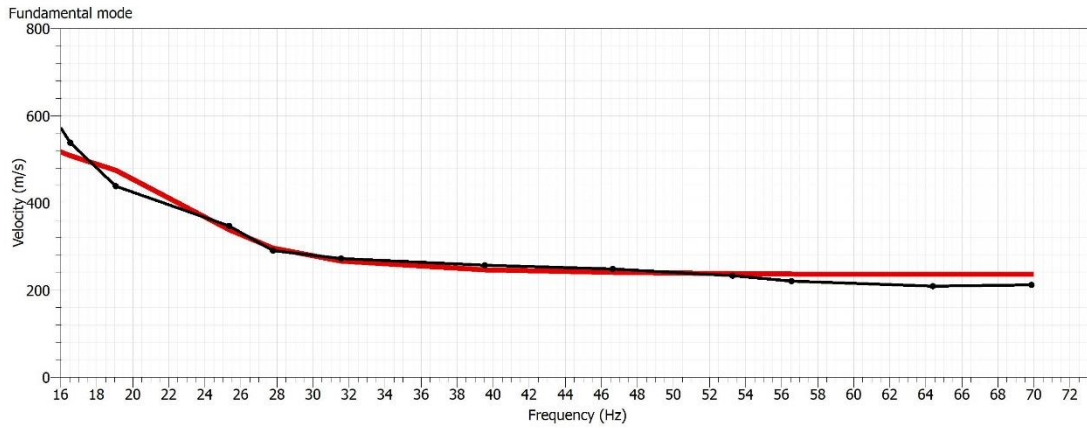
Picking della curva di dispersione MASW\_2



MASW 2		
Depth at the bottom of the layer (m)	Thickness (m)	Vs (m/s)
4,6	4,6	263
8,5	3,9	605
15,4	6,9	481
30	14,6	688
<b>Ve<sub>q30</sub>=504</b>		

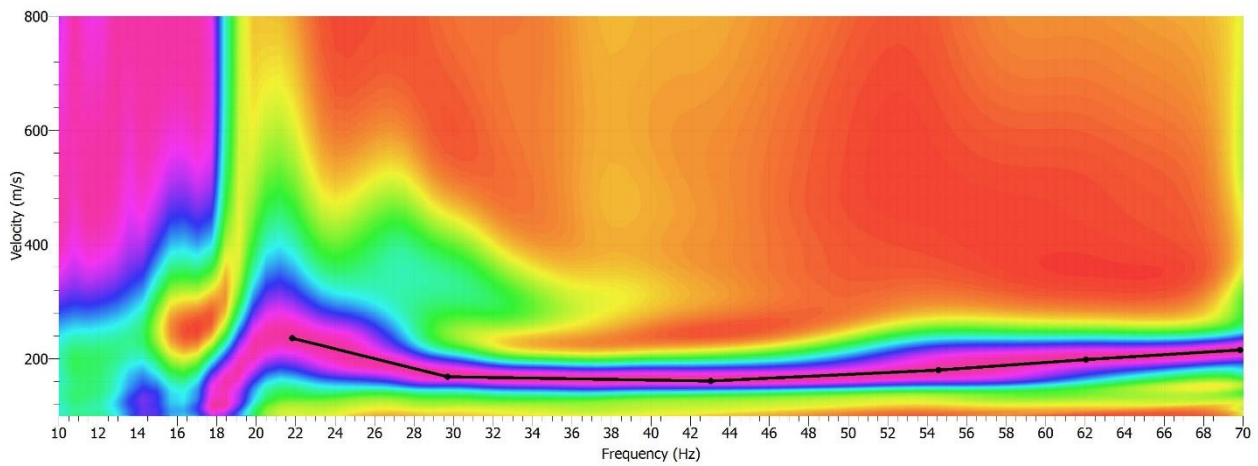
Risultati dell'analisi MASW\_2

Profilo delle velocità delle onde di taglio (Vs m/s) MASW\_2



Fitting della curva di dispersione teorica e sperimentale MASW\_2

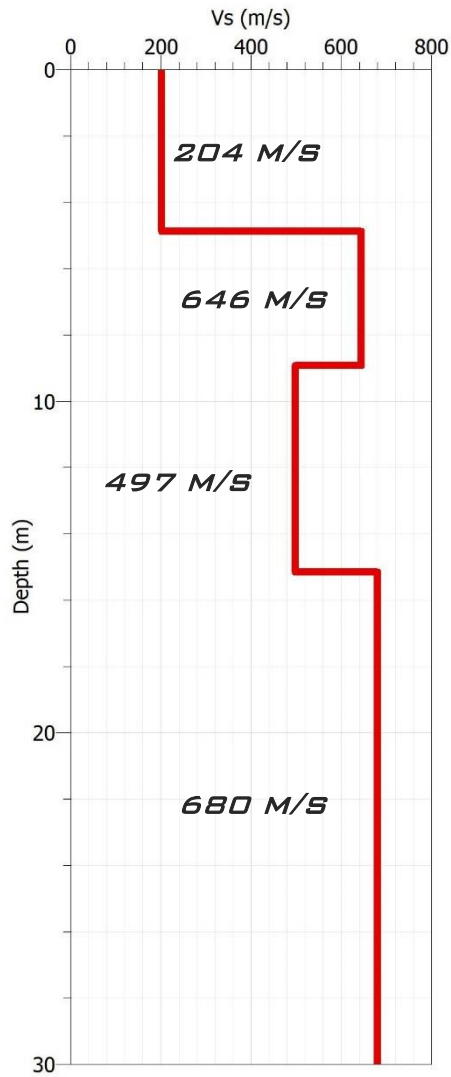
**MASW 3:** 16 geofono posti ad una interdistanza di 2 m e le energizzazioni sono state prodotte ad una distanza di 4 m dell'estremo dall'array geofonico.



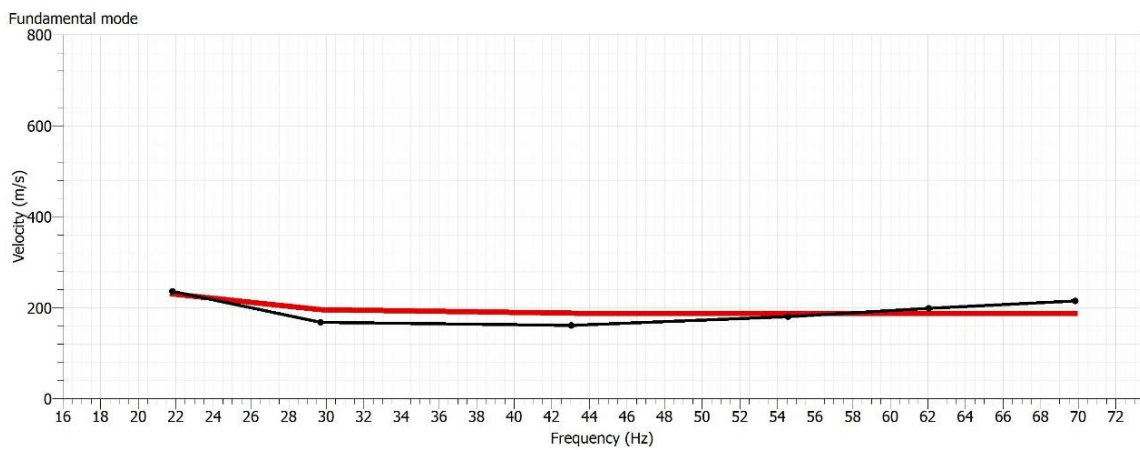
Picking della curva di dispersione MASW\_3

<b>MASW 3</b>		
Depth at the bottom of the layer (m)	Thickness (m)	Vs (m/s)
4,8	4,8	204
8,9	4,1	646
15	6,1	497
30	15	680
<b>Veq<sub>30</sub>=467</b>		

Risultati dell'analisi MASW\_3

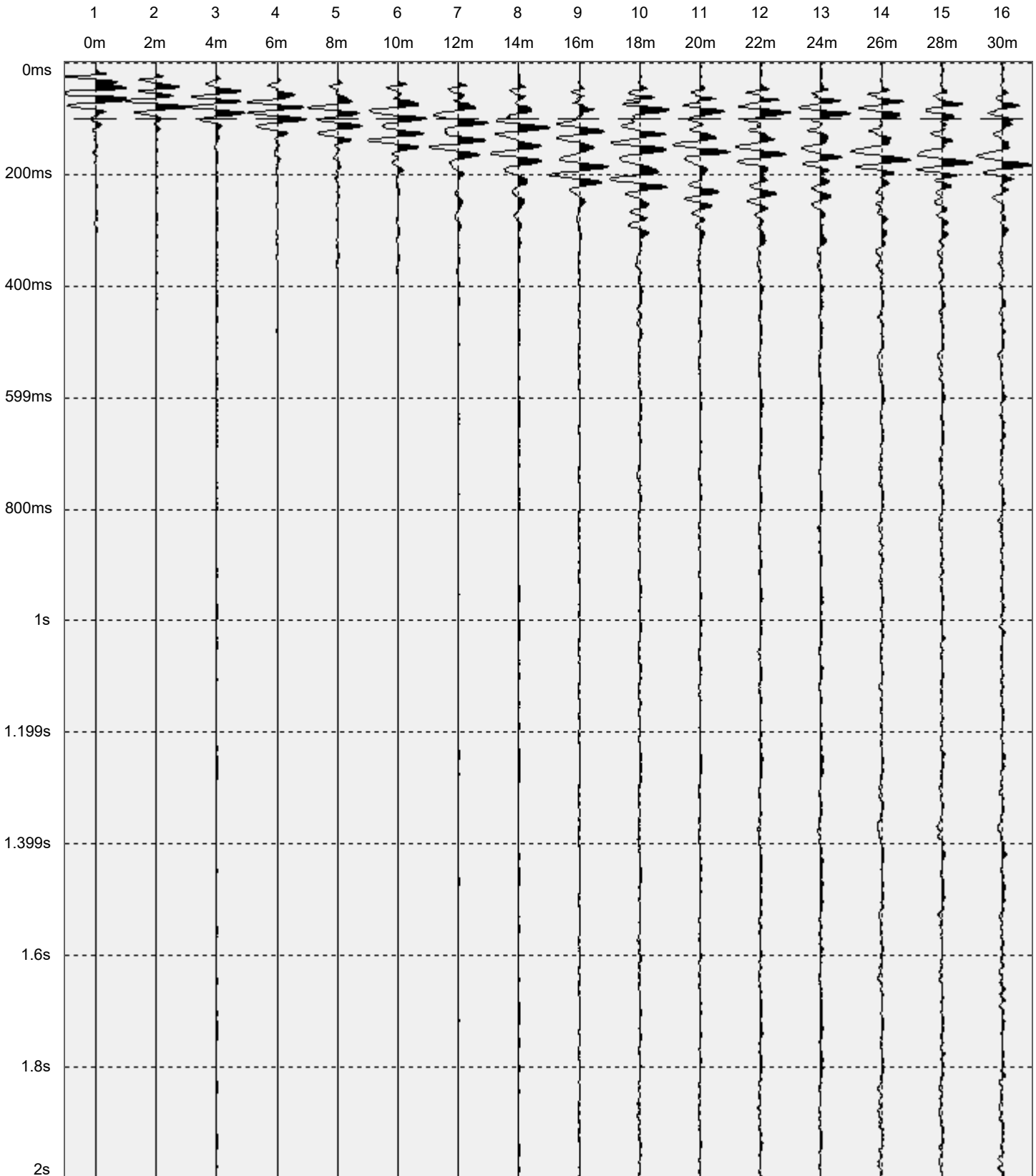


Profilo delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$  m/s) MASW\_3

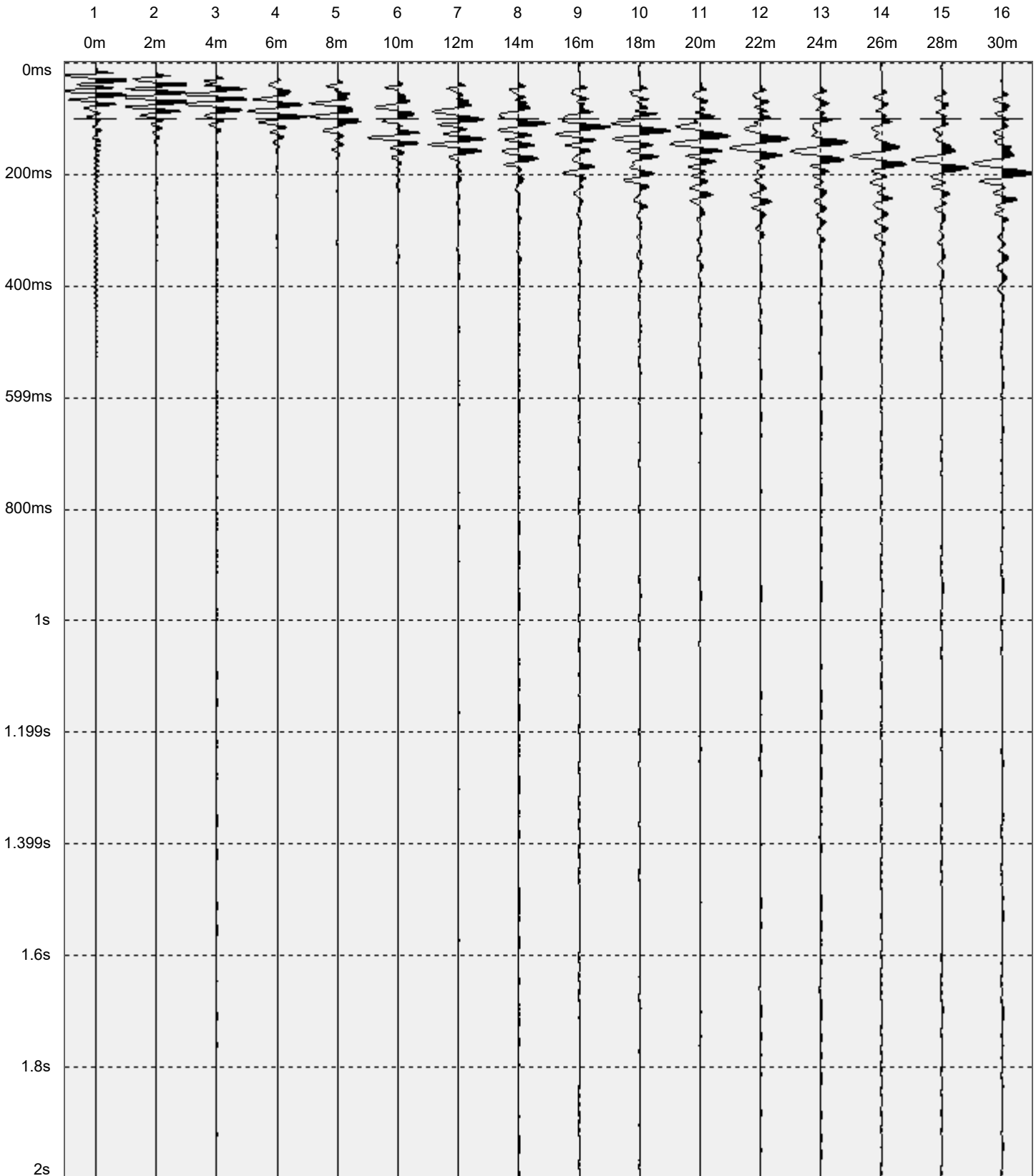


Fitting della curva di dispersione teorica e sperimentale MASW\_3

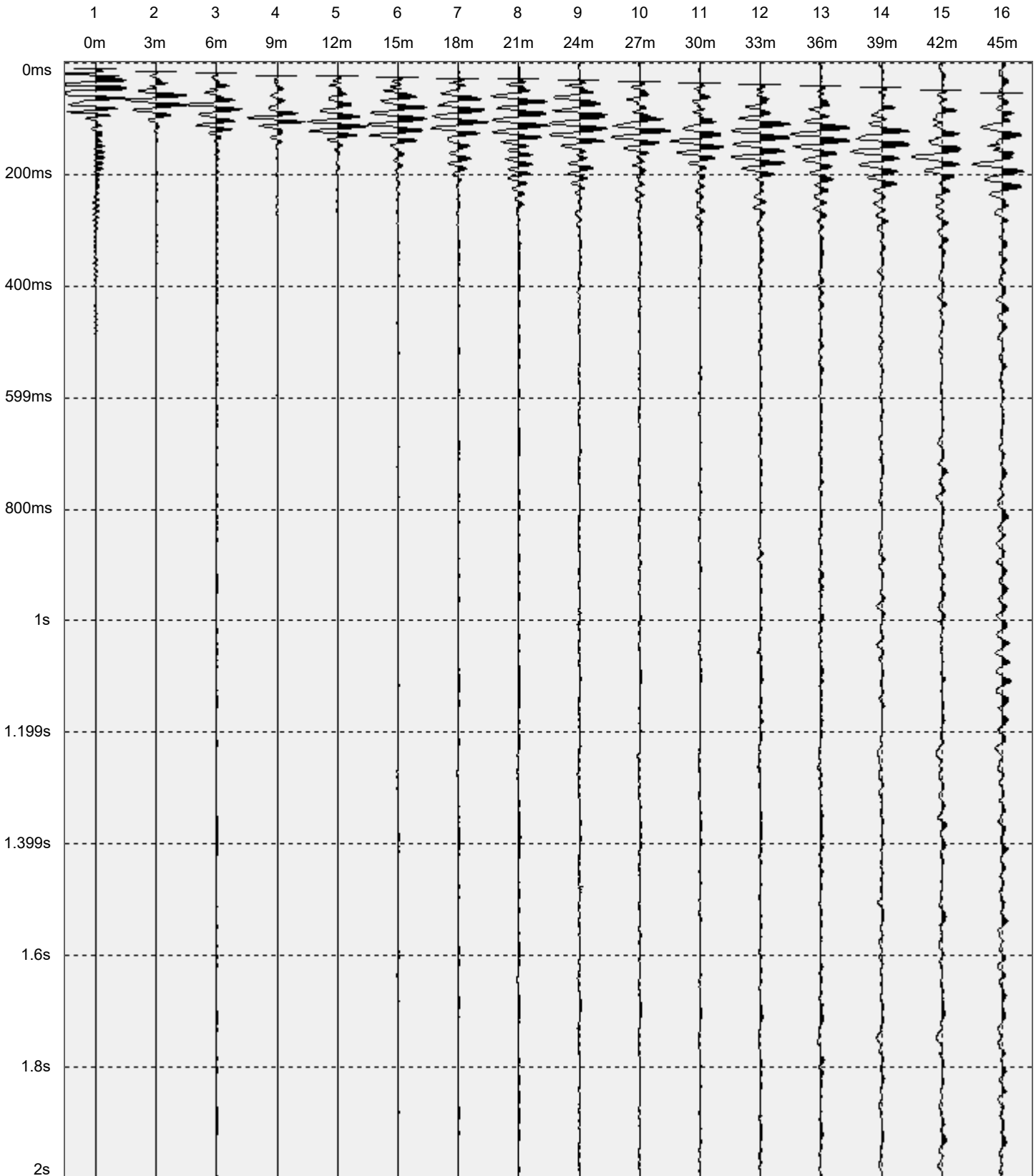
<b>MASW_3</b>		Nome operatore: <b>Dott.ssa geol. Camilla Di Bastiano</b>		Nome cliente: <b>Comune di Avezzano</b>	
Strumento: <b>DoReMi</b>		Data: <b>24/11/2018</b>	Ora: <b>11:27:32</b>	Luogo: <b>Avezzano, Via Parri/Via Moro</b>	
Nome del file: <b>MASW3_2.drm</b>					
Coordinate del sito: <b>42.047075; 13.427732</b>		Periodo di campionamento: <b>1000uS (1000 SPS)</b>		Durata: <b>2s</b>	Offset: <b>-4 m</b>
Note:					



<b>MASW_2</b>		Nome operatore: <b>Dott.ssa geol. Camilla Di Bastiano</b>		Nome cliente: <b>Comune di Avezzano</b>	
Strumento: <b>DoReMi</b>		Data: <b>24/11/2018</b>	Ora: <b>11:02:20</b>	Luogo: <b>Avezzano, Via Parri/Via Moro</b>	
Nome del file: <b>MASW2_4.drm</b>					
Coordinate del sito: <b>42.047075; 13.427732</b>		Periodo di campionamento: <b>1000uS (1000 SPS)</b>		Durata: <b>2s</b>	Offset: <b>-4 m</b>
Note:					



<b>MASW_1</b>		Nome operatore: <b>Dott.ssa geol. Camilla Di Bastiano</b>		Nome cliente: <b>Comune di Avezzano</b>	
Strumento: <b>DoReMi</b>		Data: <b>24/11/2018</b>	Ora: <b>10:29:37</b>	Luogo: <b>Avezzano, Via Parri/Via Moro</b>	
Nome del file: <b>MASW1_1.drm</b>					
Coordinate del sito: <b>42.047075; 13.427732</b>		Periodo di campionamento: <b>1000uS (1000 SPS)</b>		Durata: <b>2s</b>	Offset: <b>-4 m</b>
Note:					





## *Allegato 5*

### *Prova HVSR*



La tecnica HVSR consiste nella stima del rapporto fra lo spettro di ampiezza delle componenti orizzontali e quello della componente verticale dei microtremori sismici ambientali registrati da una singola stazione. Il calcolo del rapporto H/V segue queste fasi:

- Registrazione del segnale ambientale nelle 3 componenti.
- Scomposizione del segnale in finestre temporali, con l'obiettivo di isolare le parti della registrazione in cui il segnale risulta maggiormente stazionario ed eliminare i rumori transitori, o transienti.
- Calcolo e smussamento dello spettro di ampiezza ricavato tramite la trasformata di Fourier per ognuna delle finestre selezionate su tutte e tre le componenti.
- Combinazione, con un'operazione di media, delle due componenti orizzontali per ognuna delle finestre selezionate.
- Calcolo del rapporto H/V per ogni finestra.
- Calcolo della media dei rapporti H/V delle singole finestre, che rappresenterà la curva H/V definitiva.

La registrazione dei microtremori è stata effettuata con il tromografo digitale SR04-GEOBOX della SARA electronic instruments srl che è uno strumento progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Si tratta di un apparecchio portatile dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente. Il segnale dei velocimetri è stato acquisito per un tempo  $t$  20 min, e digitalizzato a 24 bit. L'ubicazione delle prove effettuate viene riportata in Allegato 1 alla relazione geologico-tecnica. Di seguito vengono riportati i tracciati e le elaborazioni effettuate. I tre segnali registrati (due orizzontali e uno verticale) sono stati elaborati mediante software dedicati che consentono di individuare le finestre di misure significative e quindi di analizzare nel campo della frequenza, il rapporto tra l'ampiezza delle componenti orizzontali rispetto alla componente verticale.

# *Report*

## *Prova HVSR\_1a*

### **PLACE INFORMATION**

*Lavoro:* Relazione geologica preliminare per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico in sostituzione della scuola primaria Giovanni XXIII

*Address:* Via F.Parri/ Via A.Moro

*Latitude:* 42.047075°

*Longitude:* 13.427732°

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 724 m s.l.m.

*Weather:* -

*Notes:* -

## SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

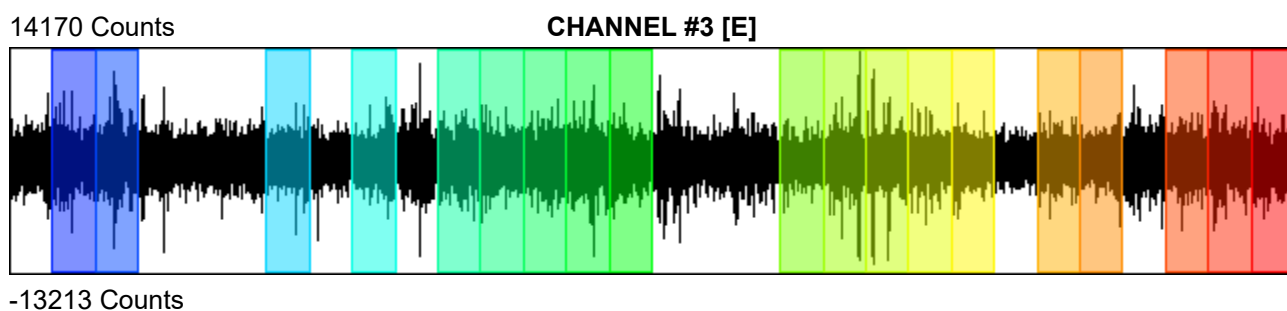
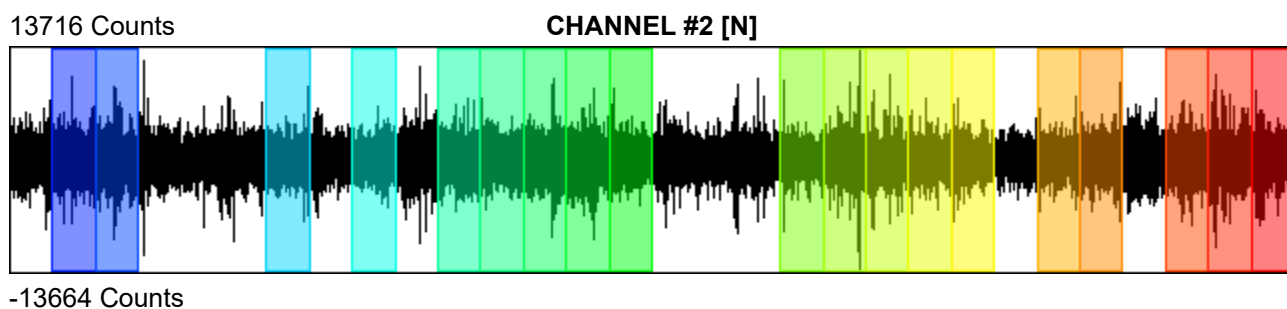
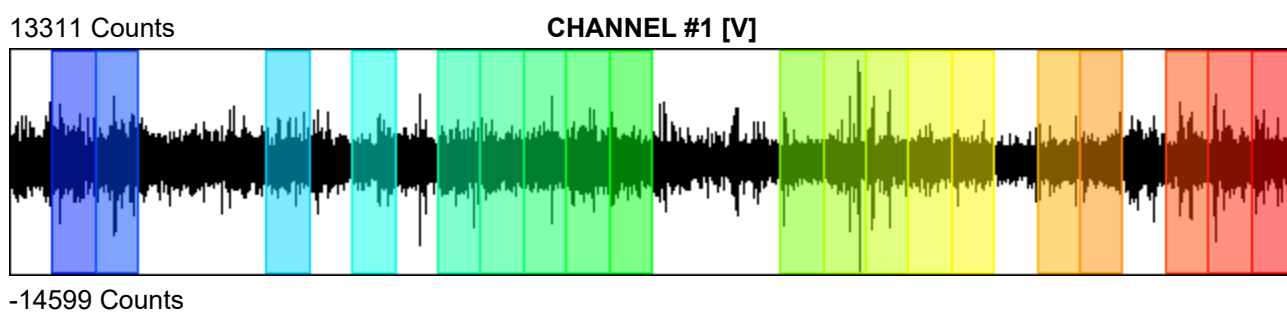
Recording start time: 2018/11/28 09:47:05

Recording length: 20 min

Windows count: 19

Average windows length: 40

Signal coverage: 63.33%



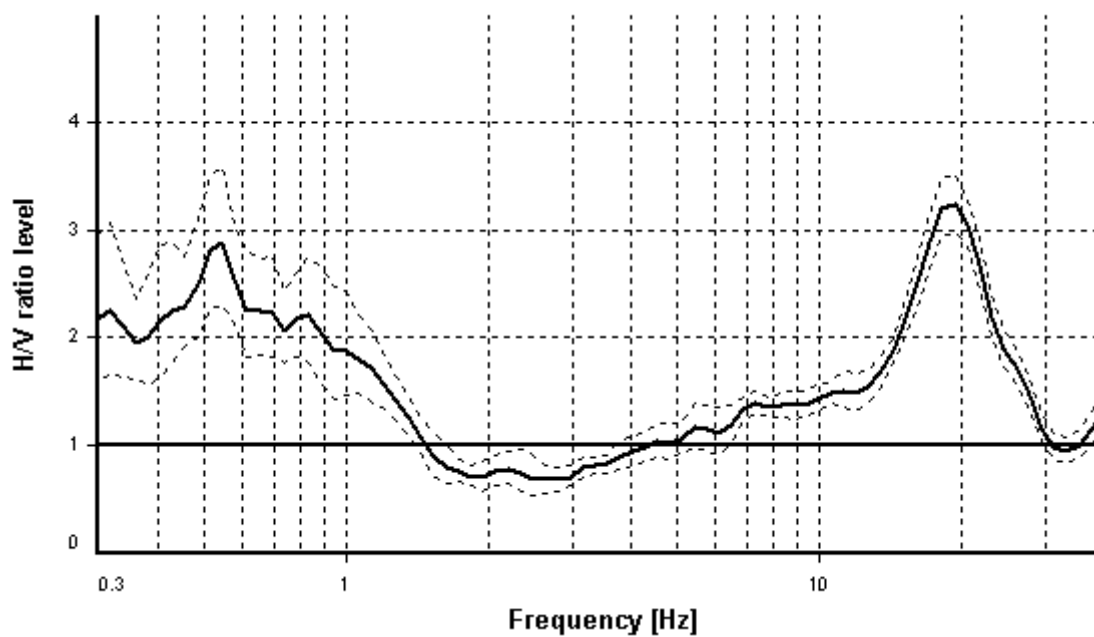
## HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

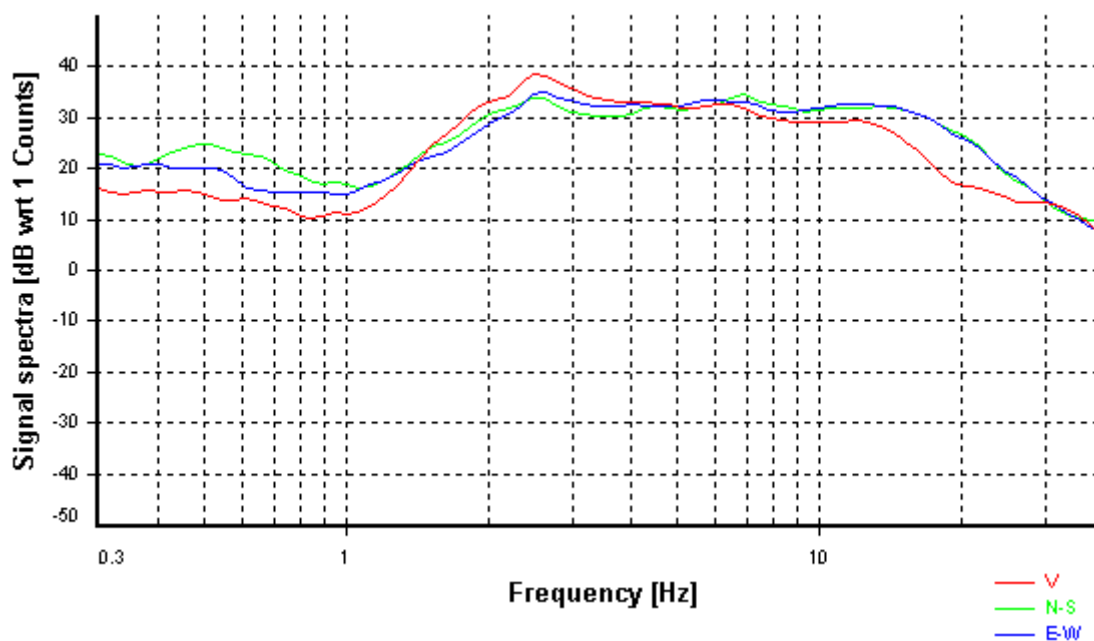
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

Instrumental correction: Disabled

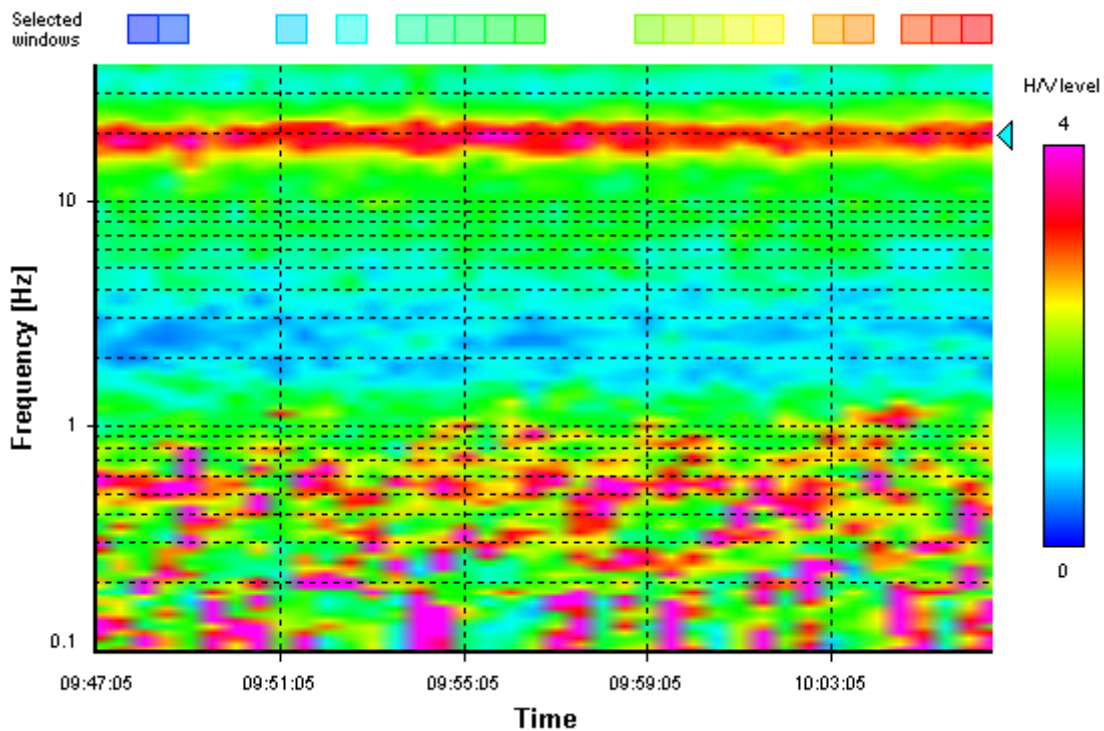
### HVSR average



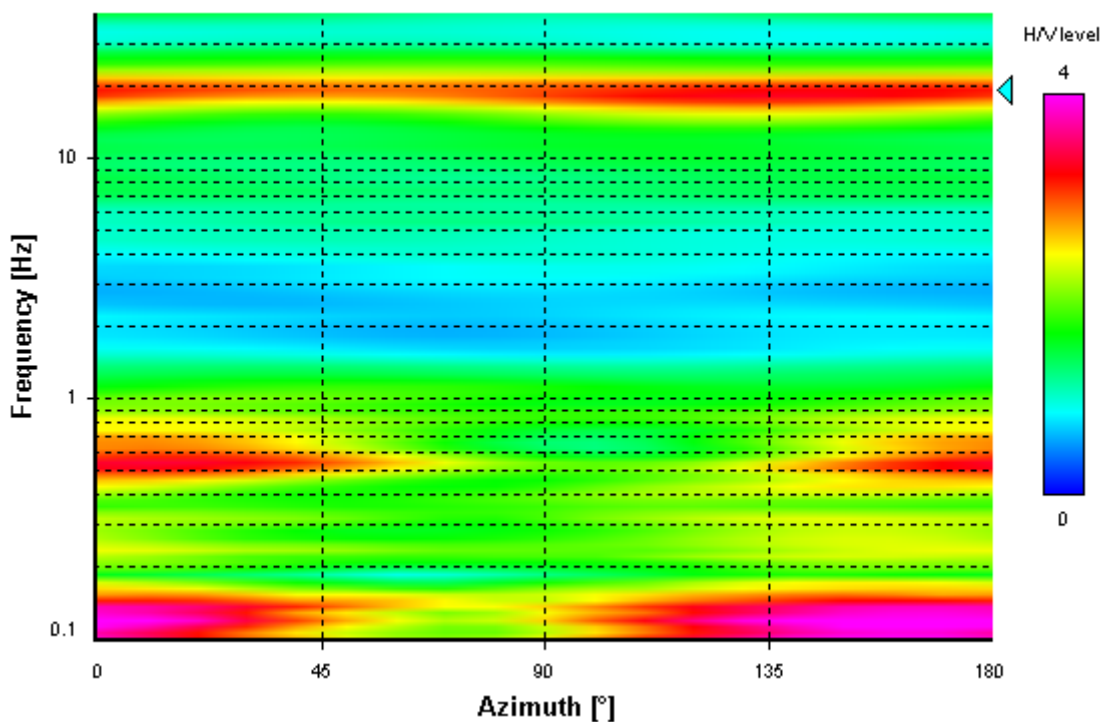
### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



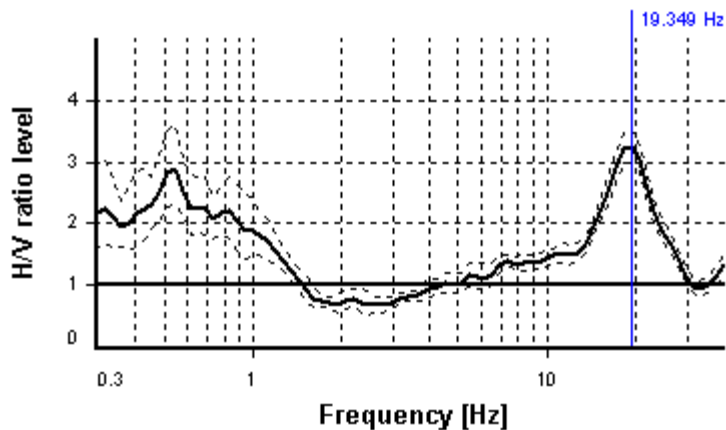
## SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

19.349 Hz

**$A_0$  amplitude = 3.240**

**Average  $f_0 = 19.185 \pm 0.893$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	19 valid windows (length > 0.52 s) out of 19	OK
$n_c(f_0) > 200$	14705.25 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	12.66703 Hz	OK
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	27.82014 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.24 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.89295 < 0.96745	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.0889 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK

# *Report*

## *Prova HVSR\_1b*

### **PLACE INFORMATION**

*Lavoro:* Relazione geologica preliminare per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico in sostituzione della scuola primaria Giovanni XXIII

*Address:* Via F.Parri/ Via A.Moro

*Latitude:* 42.047075°

*Longitude:* 13.427732°

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 724 m s.l.m.

*Weather:* -

*Notes:* -

## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

*Recording start time:* 2018/11/28 09:47:05

*Recording length:* 20 min

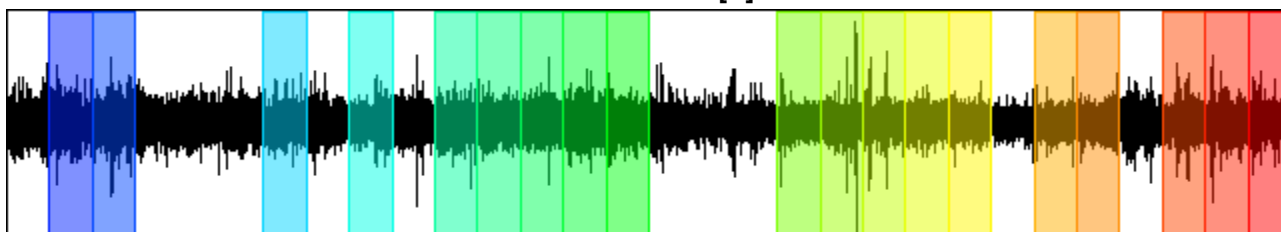
*Windows count:* 19

*Average windows length:* 40

*Signal coverage:* 63.33%

13311 Counts

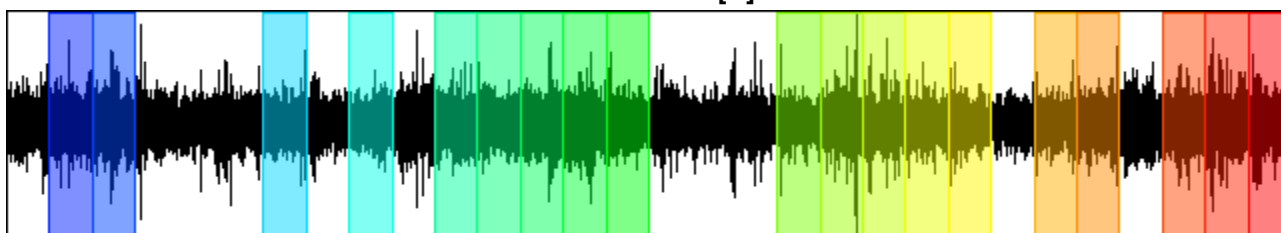
CHANNEL #1 [V]



-14599 Counts

13716 Counts

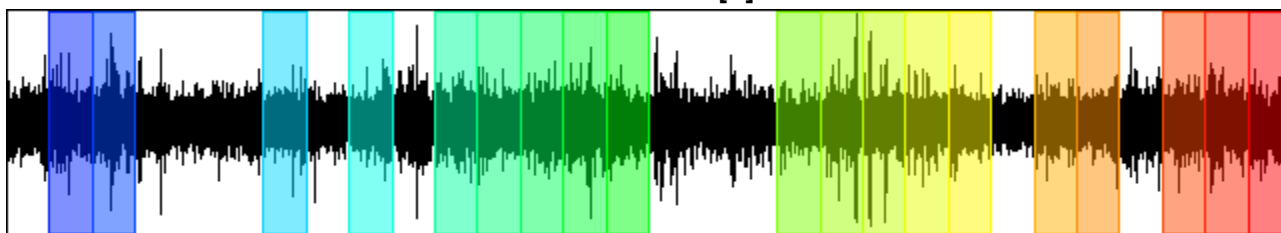
CHANNEL #2 [N]



-13664 Counts

14170 Counts

CHANNEL #3 [E]



-13213 Counts



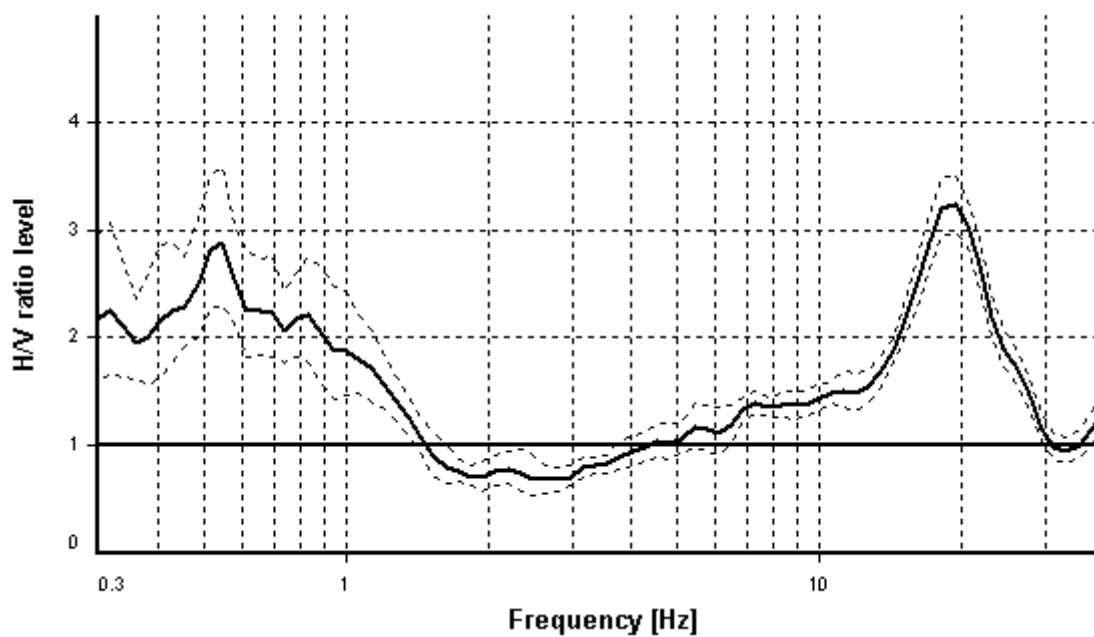
## HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

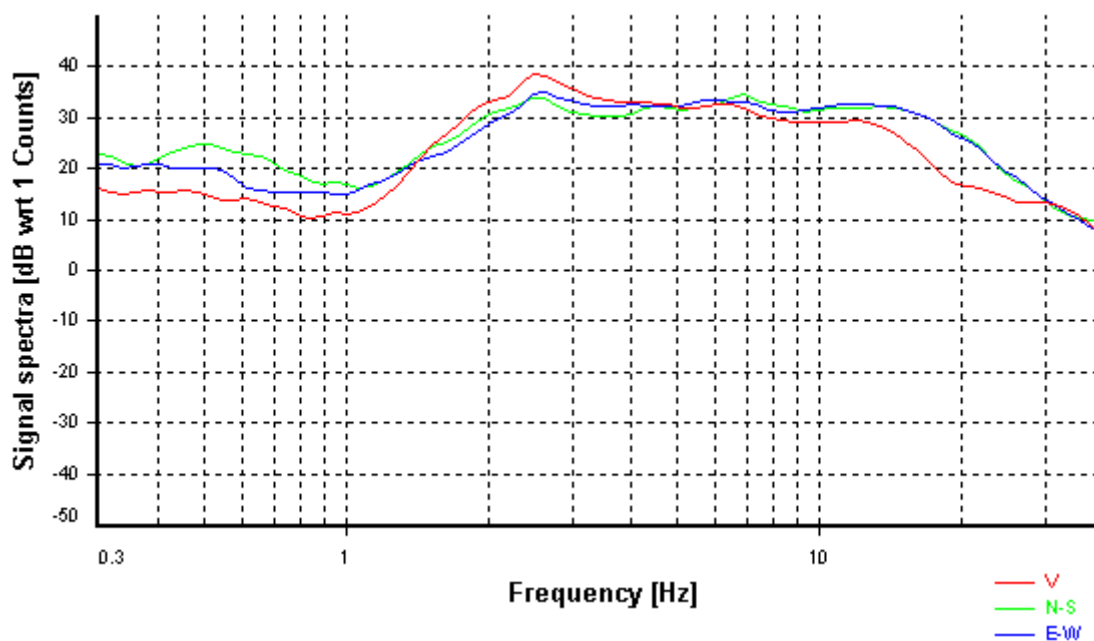
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Disabled

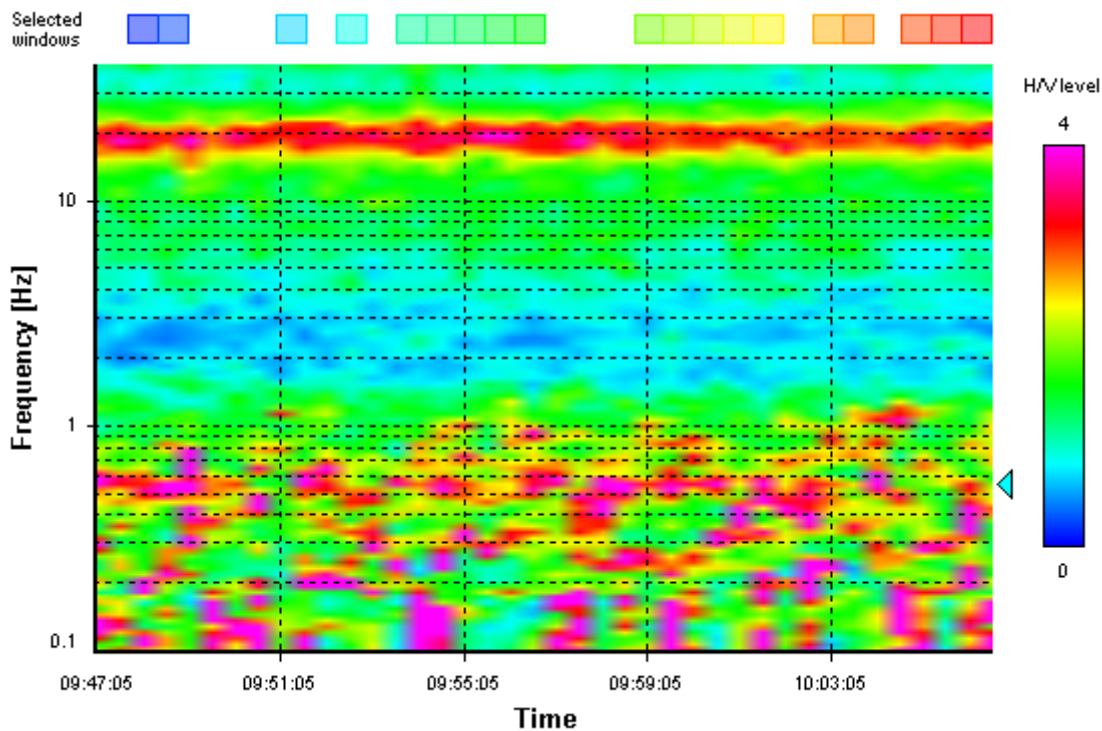
### HVSR average



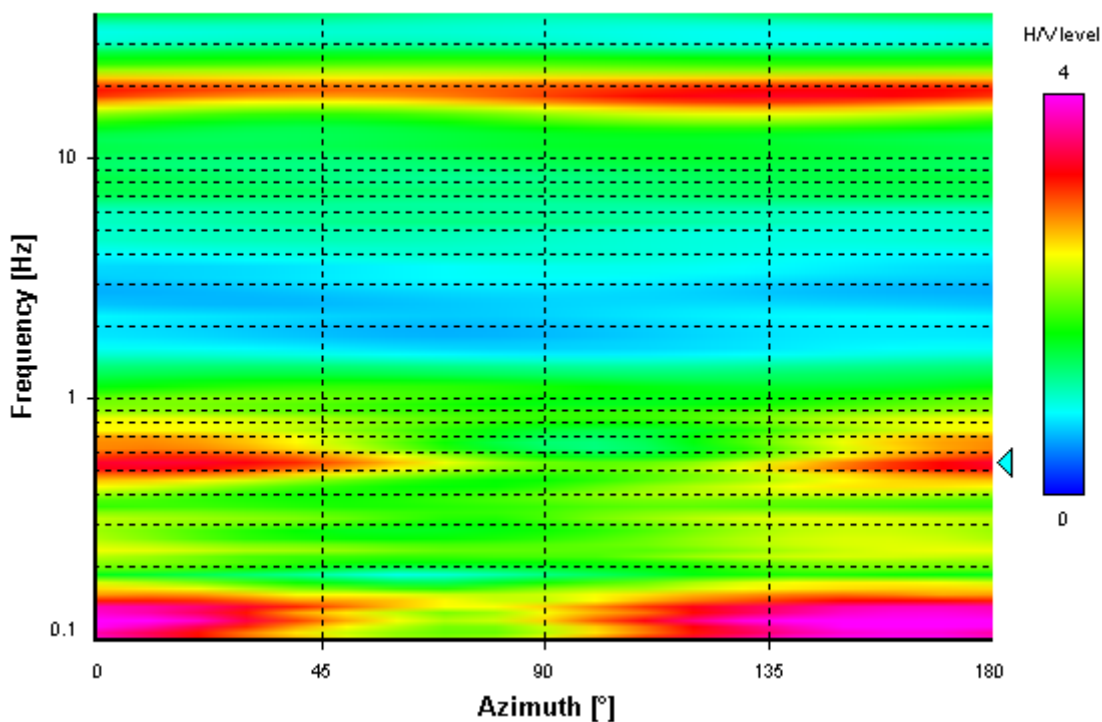
### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



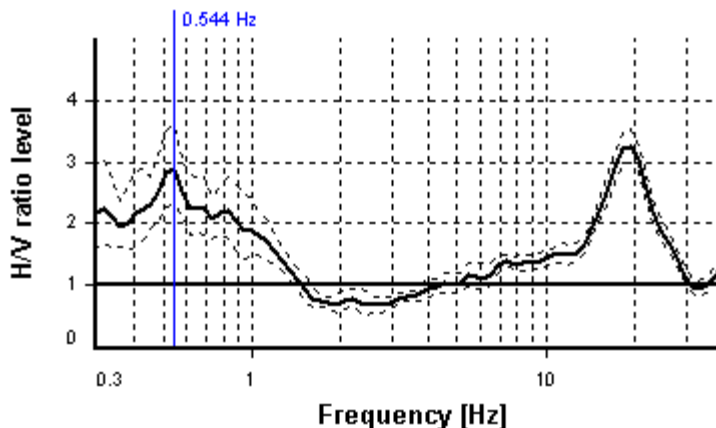
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

**0.544 Hz**

**$A_0$  amplitude = 2.880**

**Average  $f_0 = 0.520 \pm 0.081$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	19 valid windows (length > 18.37 s) out of 19	OK
$n_c(f_0) > 200$	413.76 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.27029 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.88 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08134 < 0.08166	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.24891 < 2	OK
Overall criteria fulfillment		OK

# *Report*

## *Prova HVSR\_2a*

### **PLACE INFORMATION**

*Lavoro:* Relazione geologica preliminare per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico in sostituzione della scuola primaria Giovanni XXIII

*Address:* Via F.Parri/ Via A.Moro

*Latitude:* 42.046875°

*Longitude:* 13.427990°

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 723 m s.l.m.

*Weather:* -

*Notes:* -

## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

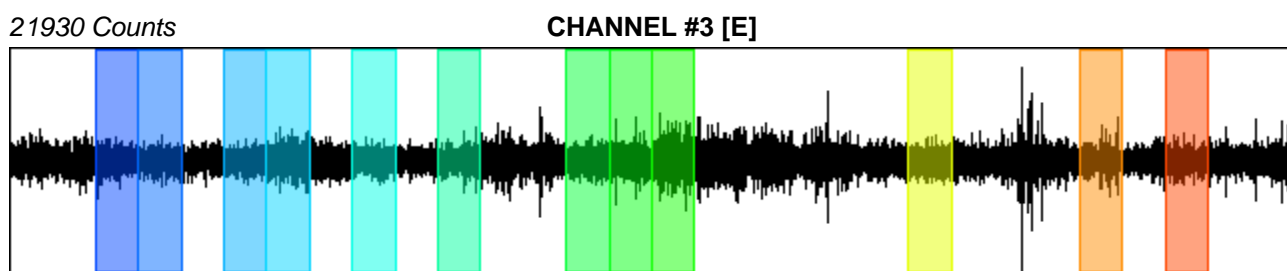
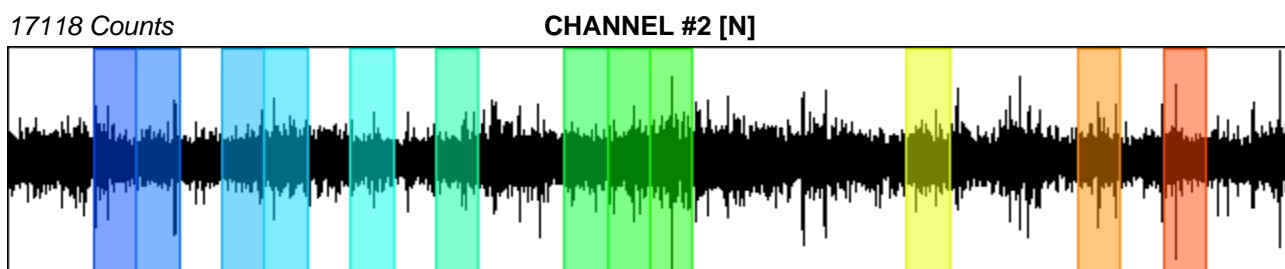
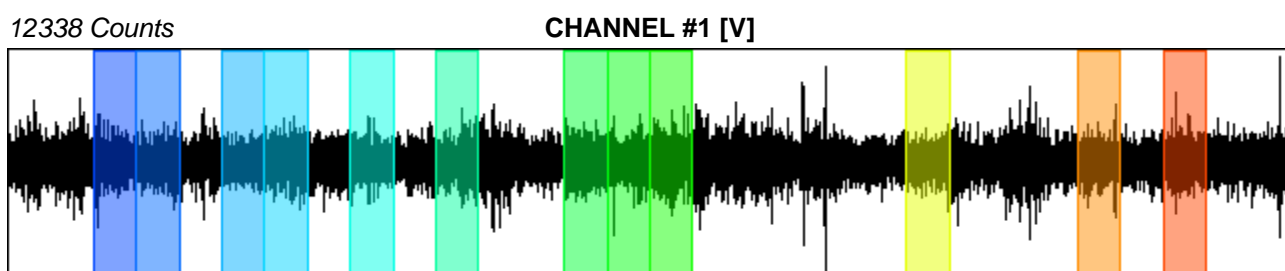
*Recording start time:* 2018/11/28 10:13:39

*Recording length:* 20 min

*Windows count:* 12

*Average windows length:* 40

*Signal coverage:* 40%



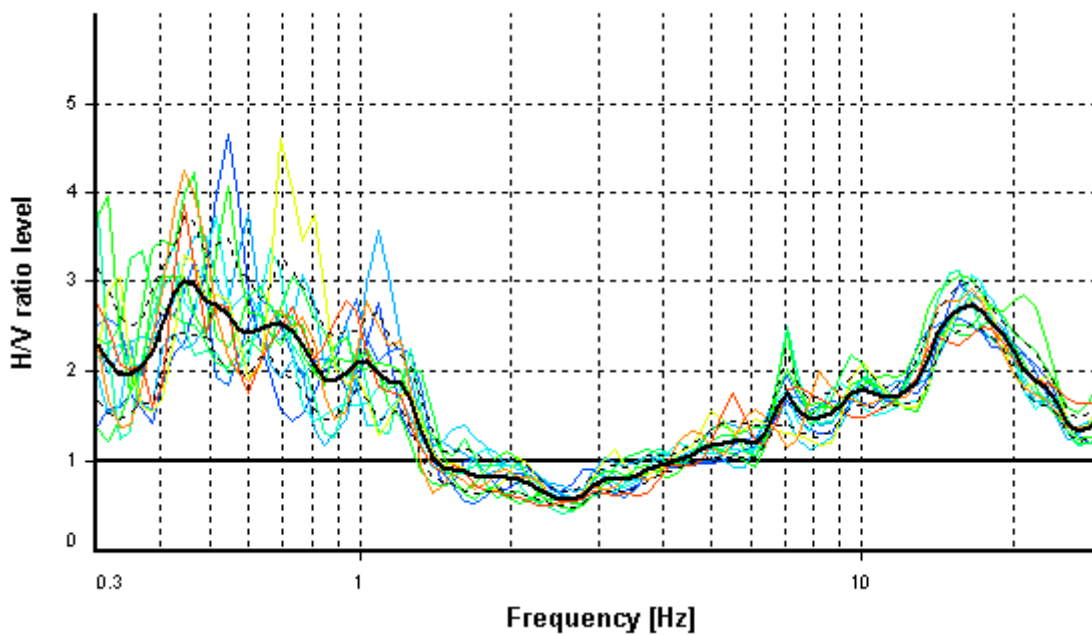
## HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

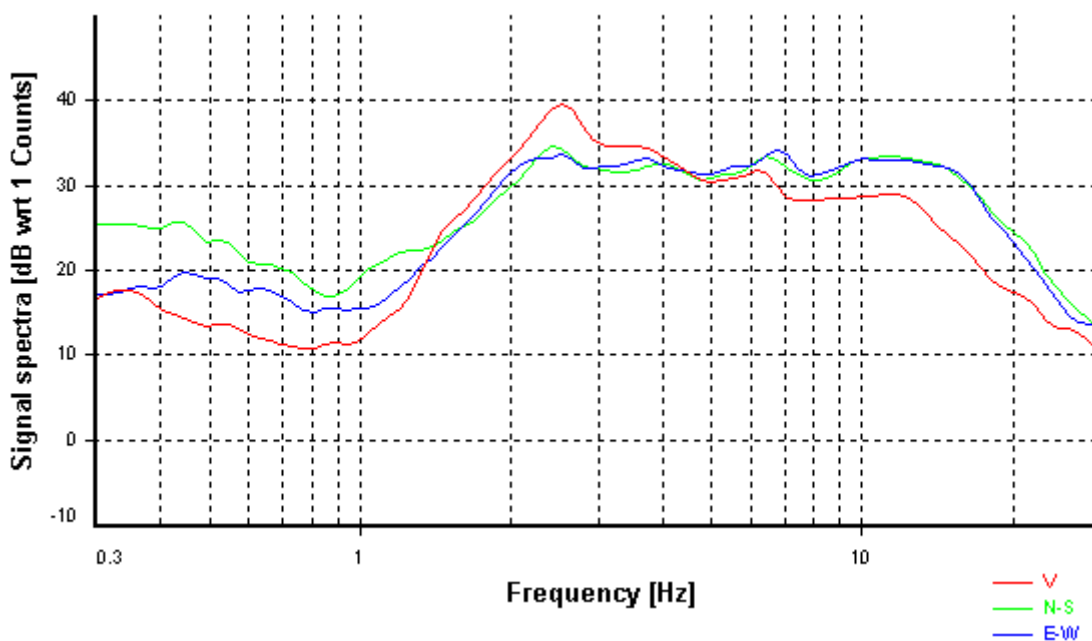
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Disabled

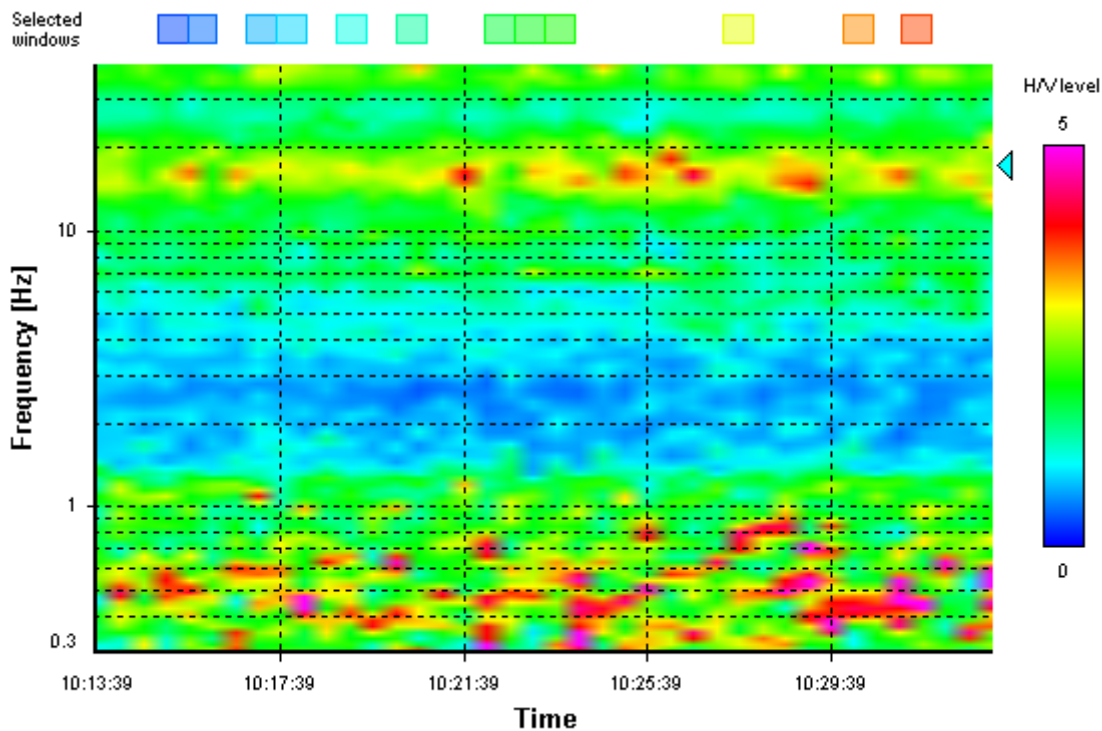
### HVSR average



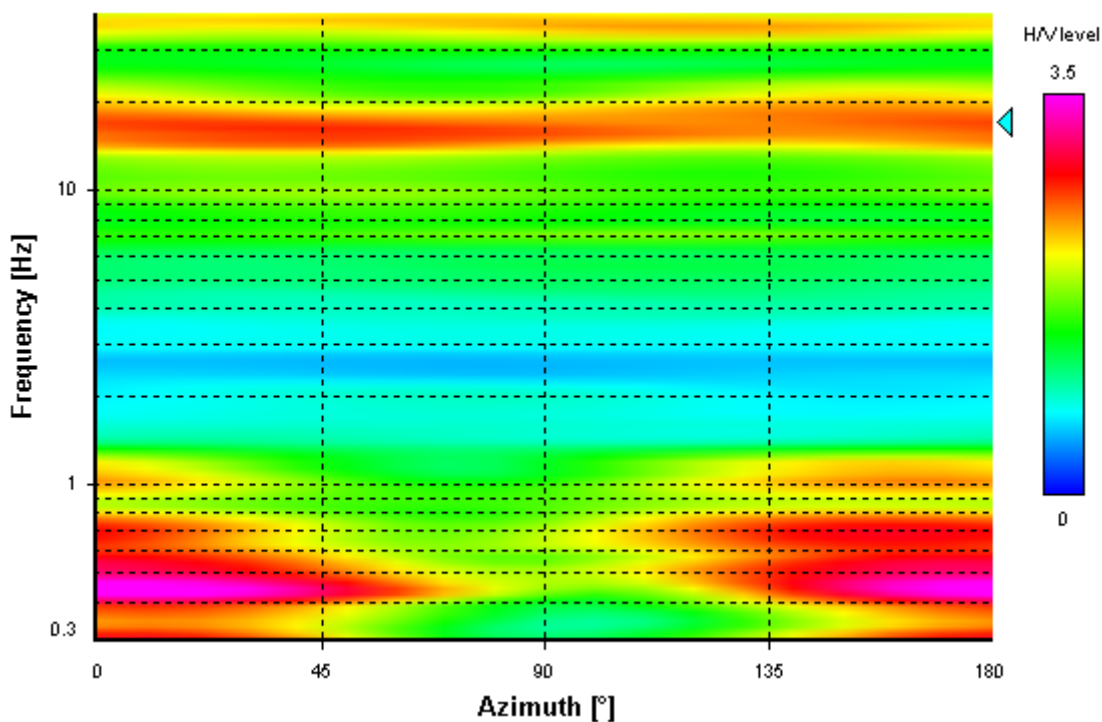
### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



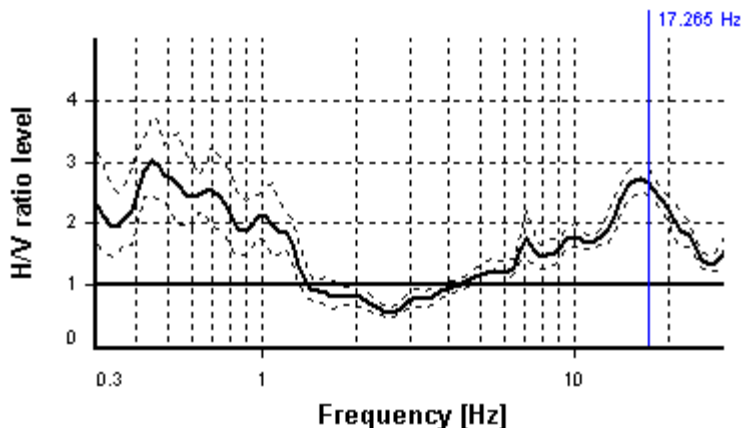
### SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

17.265 Hz

**$A_0$  amplitude = 2.676**

**Average  $f_0 = 16.598 \pm 1.038$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	12 valid windows (length > 0.58 s) out of 12	OK
$n_c(f_0) > 200$	8287.29 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 29	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f \text{ in } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	6.42526 Hz	OK
$\exists f^+ \text{ in } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	26.93691 Hz	OK
$A_0 > 2$	2.68 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.82% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	1.03815 >= 0.86326	NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.08157 < 1.58	OK
Overall criteria fulfillment		OK



# *Report*

## *Prova HVSR\_2b*

### **PLACE INFORMATION**

*Lavoro:* Relazione geologica preliminare per la realizzazione di un nuovo edificio scolastico in sostituzione della scuola primaria Giovanni XXIII

*Address:* Via F.Parri/ Via A.Moro

*Latitude:* 42.046875°

*Longitude:* 13.427990°

*Coordinate system:* WGS84

*Elevation:* 723 m s.l.m.

*Weather:* -

*Notes:* -

## SIGNAL AND WINDOWING

*Sampling frequency:* 300 Hz

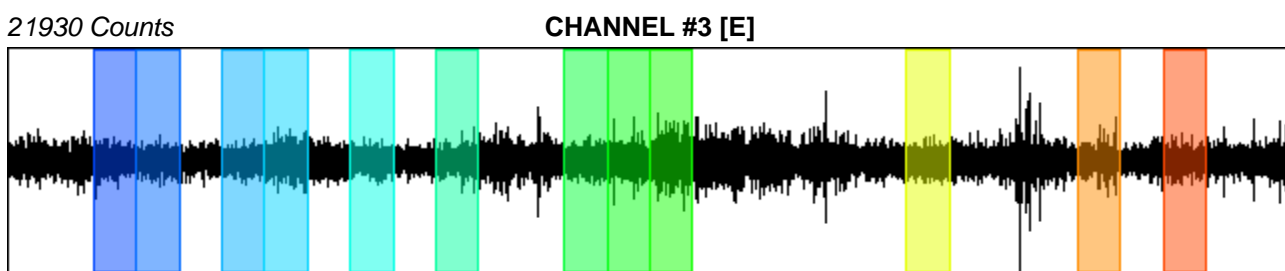
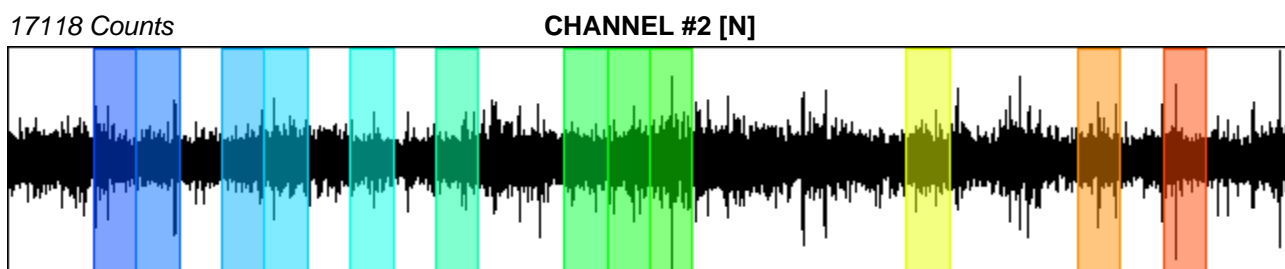
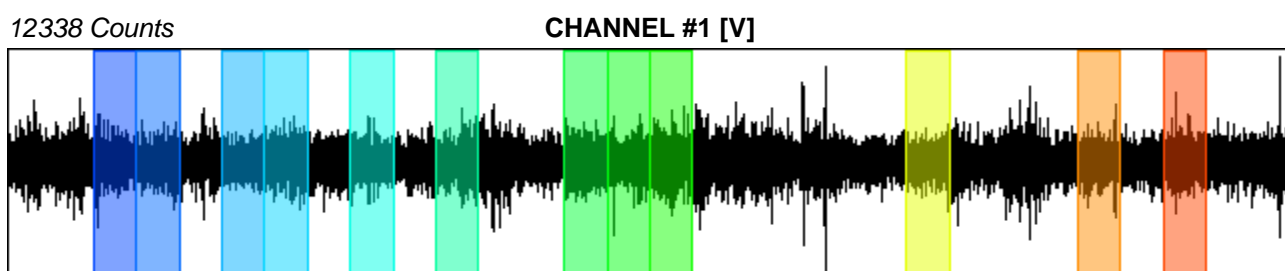
*Recording start time:* 2018/11/28 10:13:39

*Recording length:* 20 min

*Windows count:* 12

*Average windows length:* 40

*Signal coverage:* 40%



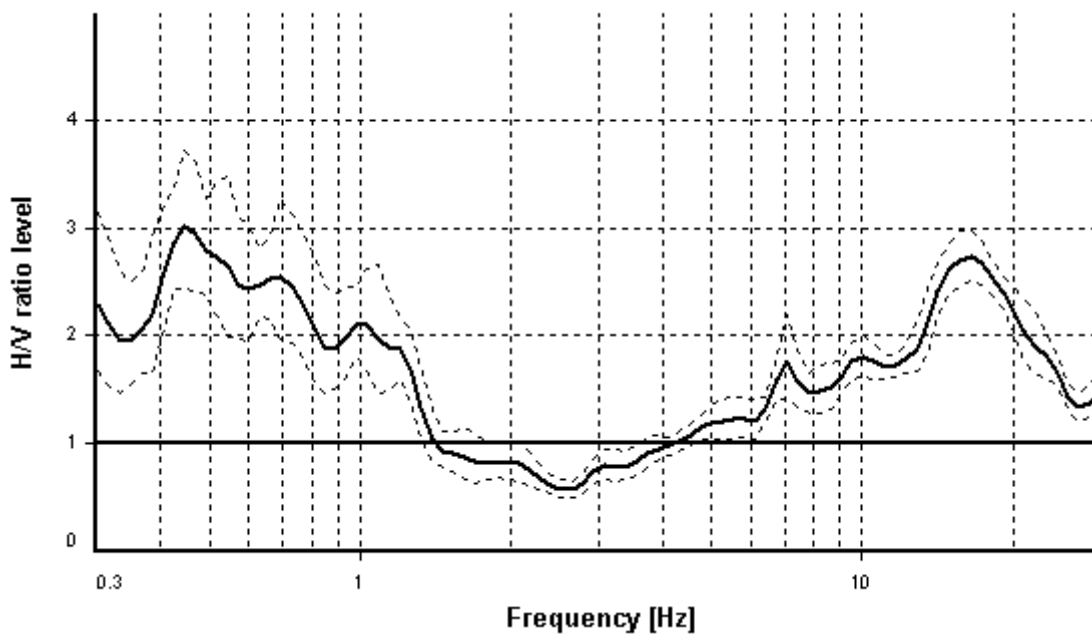
## HVSR ANALYSIS

*Tapering:* Enabled (Bandwidth = 5%)

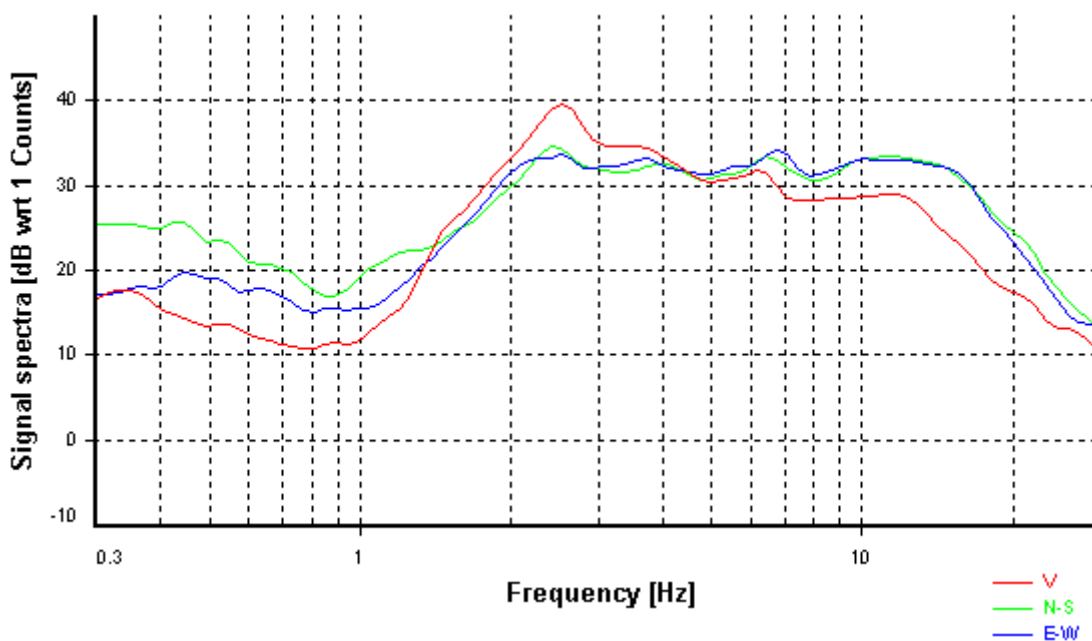
*Smoothing:* Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 40)

*Instrumental correction:* Disabled

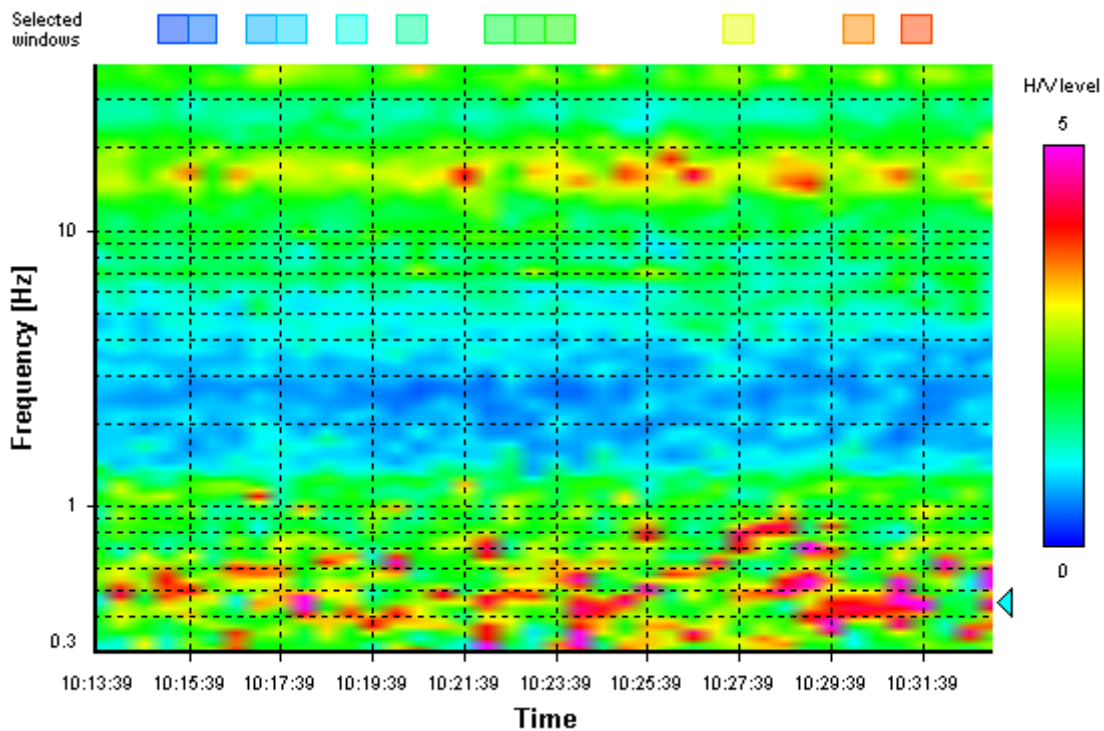
### HVSR average



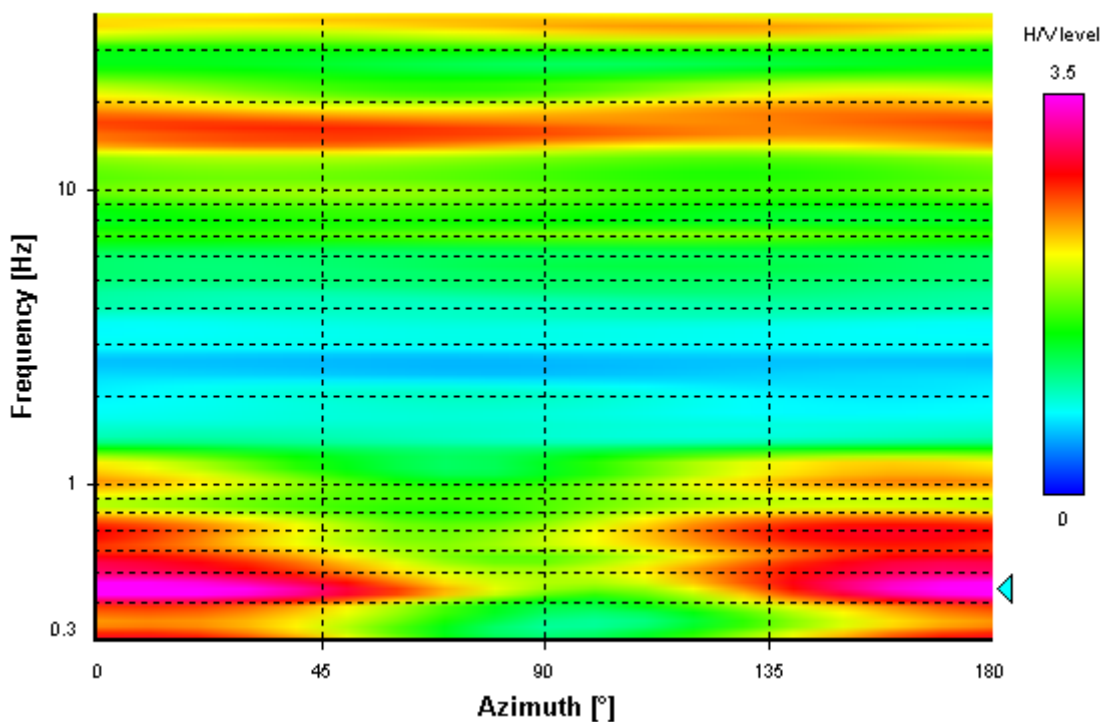
### Signal spectra average



### HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



### HVSR directional analysis



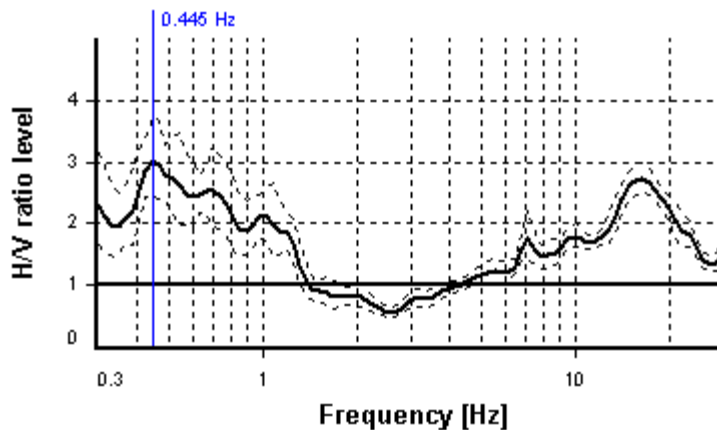
## SESAME CRITERIA

**Selected  $f_0$  frequency**

**0.445 Hz**

**$A_0$  amplitude = 3.009**

**Average  $f_0 = 0.467 \pm 0.080$**



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	12 valid windows (length > 22.45 s) out of 12	OK
$n_c(f_0) > 200$	213.83 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 23	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0 Hz	NO
$\exists f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	1.32142 Hz	OK
$A_0 > 2$	3.01 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	4.82% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08036 < 0.0891	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.23913 < 2.5	OK
Overall criteria fulfillment		OK

## **Allegato 6**



### *Indagine sismica di tipo Down-hole*

#### **INDAGINE GEOFISICA**

Il rilievo geofisico, basato sull'impiego della sismica in foro tipo down-hole, è stato eseguito allo scopo di caratterizzare, da un punto di vista sismico, le varie formazioni litologiche affioranti nell'area in esame.

L'analisi delle velocità di propagazione delle onde sismiche ha permesso di definire la geometria e gli spessori dei terreni dei vari litotipi costituenti il sottosuolo e, nel contempo, ha fornito informazioni circa la natura litologica degli stessi ed il loro stato di addensamento.

#### **PROVA SISMICA DOWN-HOLE**

Le indagini sismiche in foro, tipo down-hole, è stata eseguita nel foro di sondaggio S1 della lunghezza di 30 metri.

Le indagini sono state eseguite utilizzando un sismografo a 18 canali della M.A.E., modello A4000SE, con processore Pentium, display VGA a colori in LCD-TFT TouchScreen, trattamento del segnale a 12 bit, supporto di memorizzazione mediante Hard-Disk, con funzione di incremento multiplo del segnale ad opzione per l'inversione di polarità, attivazione di filtri "passa alto", "passa basso" e "notch" in acquisizione o post-acquisizione.

I guadagni sono selezionabili da software manualmente per ogni canale o in modo automatico e le acquisizioni sono automaticamente registrate sullo strumento. È stato inoltre utilizzato un geofono tridimensionale da foro (o sonda geofonica), dotato di 3 geofoni da 10 Hz, di cui uno verticale per la registrazione delle onde P, e due geofoni orizzontali, disposti a 90° fra di loro, atti a registrare meglio le onde S. L'ancoraggio della sonda geofonica alla parete della tubazione (PVC 4 80 mm) è stato garantito da una camera d'aria azionata da un dispositivo ad aria compressa.

Il punto di scoppio, costituito da una traversina in legno ben aderente alla superficie del terreno, è posta ad una distanza di 3,00 m dal foro, e di ciò se ne è tenuto conto per la correzione dei tempi di arrivo. L'energizzazione è stata generata colpendo la traversina, con una massa battente da 9 Kg, secondo tre direzioni (2 orizzontali e 1 verticale).

Calando la sonda geofonica nel tubo e posizionandola a diverse profondità (con passo di 1 metro) sono stati registrati i sismogrammi da cui sono stati individuati i tempi di arrivo delle onde P e S. Tramite un calcolo di interpolazione effettuato dal programma Intersism 2.1. in dotazione allo strumento, vengono ricavati i sismogrammi caratteristici della formazione in esame.

Sui tabulati relativi alle prove effettuate si riportano le velocità delle onde P ed S calcolate per i vari sismostrati indagati.

Inoltre, si riportano i valori dei moduli dinamici (Coefficiente di Poisson, Modulo di Young o di deformazione dinamica ed il Modulo di Rigidità)

Infine, i valori suddetti sono stati schematizzati su grafici in cui si evidenzia l'andamento delle velocità delle onde P ed S con la profondità.

### ***ESAME DEI RISULTATI PER IL SONDAGGIO S1***

I risultati di campagna, e la loro interpretazione in chiave sismica, sono riportati in appendice.

Si riporta un tabulato con i tempi registrati in campagna, i valori di velocità Vp e Vs alle varie profondità ed, infine, i moduli elastici.

#### ANALISI SISMICA DOWN-HOLE

Sondaggio:S1

Riferimenti: Via Aldo Moro Avezzano (AQ)

#### DISTANZA DELLO SPARO DA BOCCA FORO

Distanza = 3.00 [m]

#### PRIMI ARRIVI

N° Geof.	Profondità [m]	Onde P [ms]	Onde S (X) [ms]	Onde S (Y) [ms]	Onde P (corretti) [ms]	Onde S (X) (corretti) [ms]	Onde S (Y) (corretti) [ms]
1	1.00	6.40	10.60	17.00	2.02	3.35	5.38
2	2.00	6.60	14.20	19.20	3.66	7.88	10.65
3	3.00	6.80	18.00	19.80	4.81	12.73	14.00
4	4.00	7.20	22.20	20.60	5.76	17.76	16.48
5	5.00	7.60	25.40	21.20	6.52	21.78	18.18
6	6.00	8.40	26.40	23.00	7.51	23.61	20.57
7	7.00	9.20	27.00	25.00	8.46	24.82	22.98
8	8.00	10.20	28.60	28.00	9.55	26.78	26.22
9	9.00	11.60	35.00	30.60	11.00	33.20	29.03
10	10.00	12.60	39.20	32.80	12.07	37.55	31.42
11	11.00	13.20	39.60	35.00	12.73	38.20	33.77
12	12.00	13.64	42.80	37.20	13.24	41.52	36.09
13	13.00	14.20	44.00	38.20	13.84	42.87	37.22
14	14.00	14.60	47.60	40.60	14.28	46.54	39.70
15	15.00	14.80	50.80	43.80	14.51	49.81	42.95
16	16.00	15.20	53.00	45.60	14.94	52.09	44.82

17	17.00	15.60	54.51	47.40	15.36	53.68	46.68
18	18.00	16.00	56.10	51.60	15.78	55.33	50.90
19	19.00	16.40	58.21	54.80	16.20	57.50	54.13
20	20.00	16.80	60.00	56.60	16.61	59.34	55.97
21	21.00	17.40	60.40	58.40	17.23	59.79	57.81
22	22.00	18.00	62.40	60.20	17.83	61.83	59.65
23	23.00	18.55	65.00	62.60	18.40	64.45	62.07
24	24.00	18.76	66.60	65.09	18.62	66.09	64.59
25	25.00	19.22	70.40	66.40	19.09	69.90	65.93
26	26.00	19.60	73.56	68.00	19.47	73.07	67.55
27	27.00	20.40	75.15	68.60	20.28	74.69	68.18
28	28.00	21.00	76.73	70.20	20.88	76.30	69.80
29	29.00	21.20	80.00	71.00	21.09	79.58	70.62
30	30.00	21.66	82.03	73.60	21.55	81.62	73.23

**VELOCITÀ ONDE P**

Sismostrati	Profondità (m)	Vp (m/s)
1	3	545
2	8	1220
3	12	1081
4	30	1833

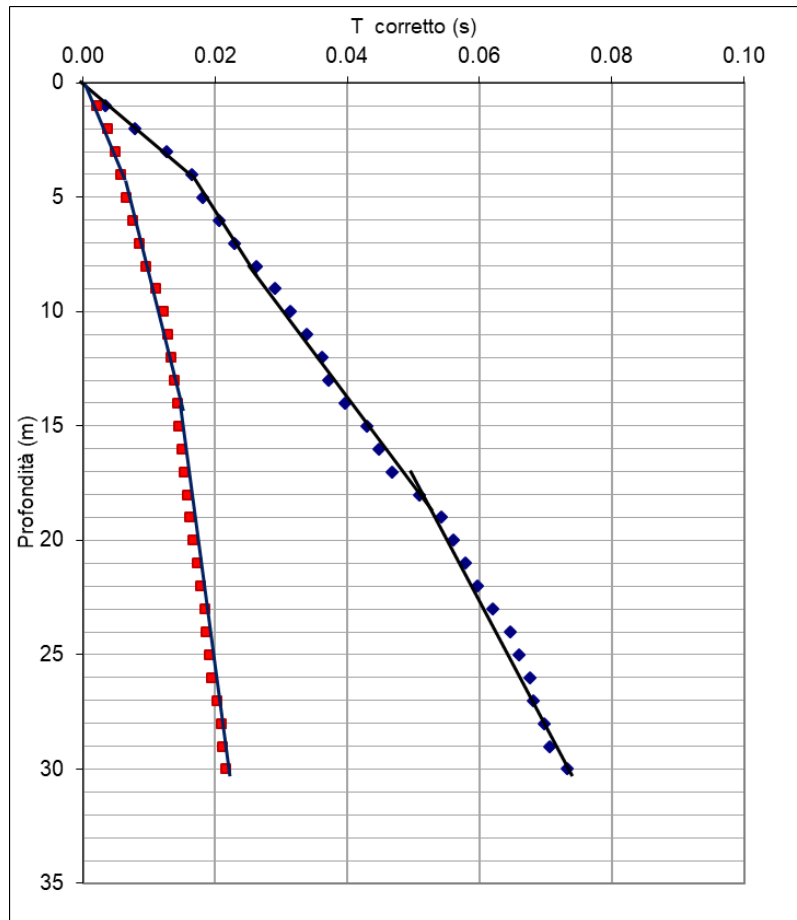
**PARAMETRI ONDE S**

Sismostrati	Profondità (m)	Vs (m/s)	Modulo di taglio (Mpa)	Modulo di Bulk (Mpa)	Modulo di Young (Mpa)	Modulo di Poisson $\nu$
1	4	242	120.59	450.82	332.16	0.38
2	8.5	529	609.60	2429.51	1687.65	0.38
3	18	367	274.60	2016.26	788.01	0.43
4	30	538	587.15	6032.81	1706.10	0.45

**VELOCITÀ EQUIVALENTE  $V_{eq}$**

DownHole		
Depth at the bottom of the layer (m)	Thickness (m)	Vs (m/s)
4	4	242
8.5	4.5	529
18	9.5	367
30	12	538
<b><math>V_{eq30}=410</math></b>		





In riferimento alla normativa D.M. 17/01/2018 e Circolare del 27.07.2018, tenendo conto dei risultati delle indagini effettuate, è stato definito il parametro  $V_{s,eq}$  (velocità delle onde di taglio equivalente), calcolato mediante la seguente formulazione:

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

$H_i$  = spessore in m;

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

$N$  = 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

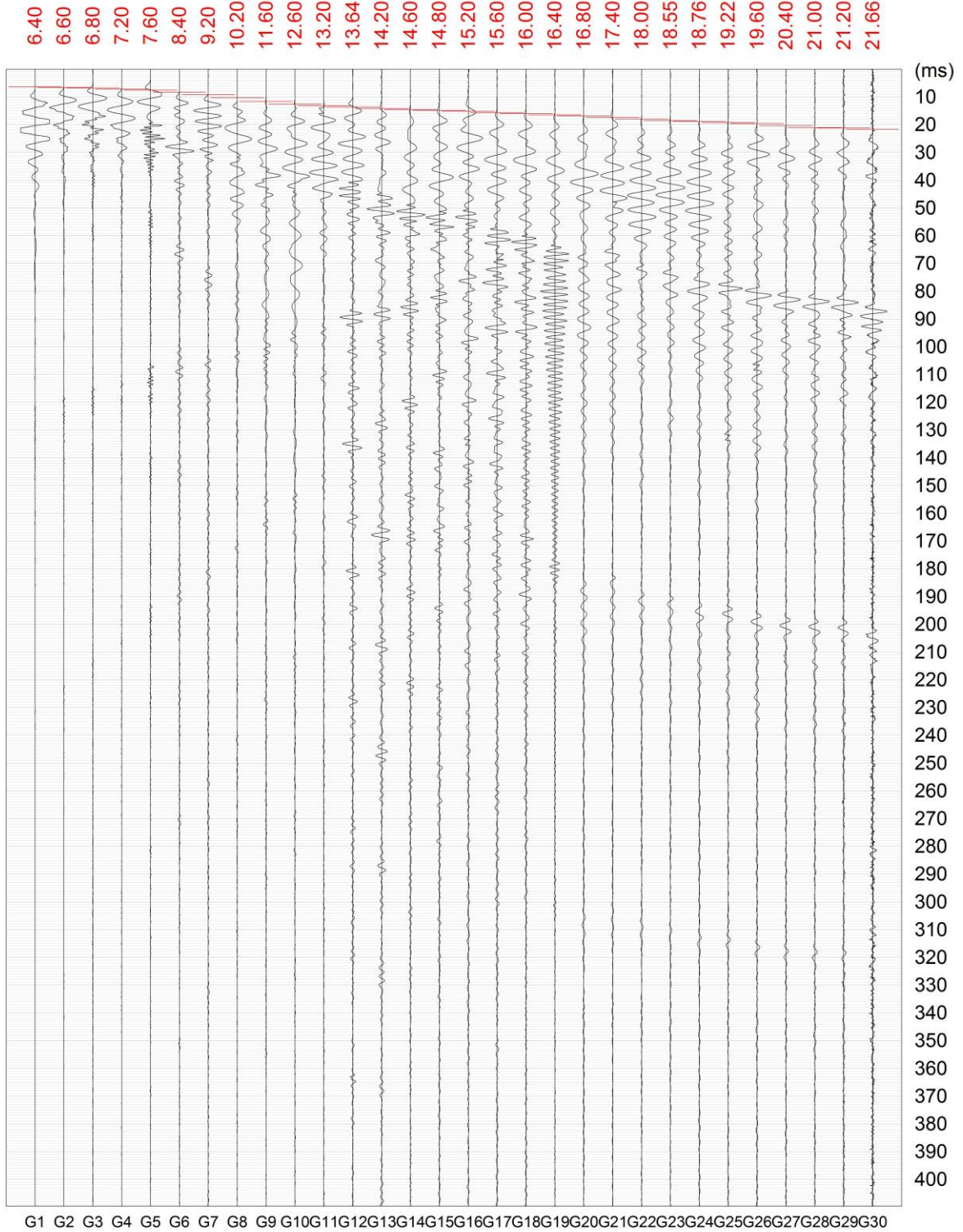
*Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{s30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Nel caso in esame essendo presenti terreni di copertura con spessori maggiori di 30 m è stato utilizzato il calcolo della  $V_s$  equivalente come  $V_{s30}$ .*

Considerando la sismostratigrafia ricavata dall'indagine DownHole eseguita nel sondaggio S1, il calcolo effettuato ha determinato il seguente valore di  $V_s$  equivalente:

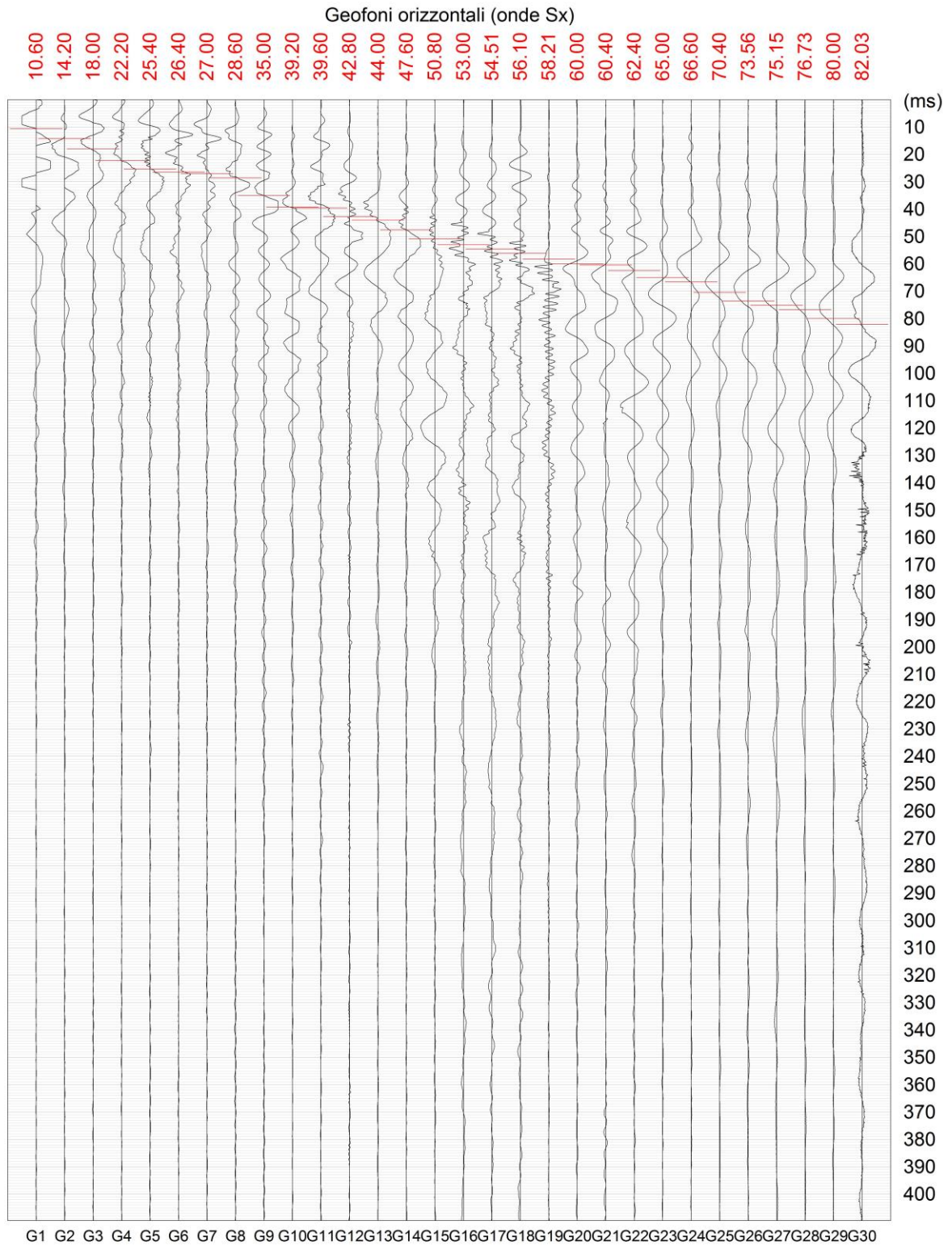
$$V_{s,eq} = 410 \text{ m/s.}$$

Sondaggio:S1  
Committente: Dott.ssa Geol. Camilla Di Bastiano  
Riferimenti: Via Aldo Moro Avezzano (AQ)

Geofoni verticali (onde P)



Sondaggio:S1  
Committente: Dott.ssa Geol. Camilla Di Bastiano  
Riferimenti: Via Aldo Moro Avezzano (AQ)



Sondaggio:S1  
Committente: Dott.ssa Geol. Camilla Di Bastiano  
Riferimenti: Via Aldo Moro Avezzano (AQ)

Geofoni orizzontali (onde Sy)

