

**AUTOSTRADA A2 MEDITERRANEA  
ADEGUAMENTO FUNZIONALE SVINCOLO DI EBOLI  
AL KM 30+000 E SISTEMAZIONE VIABILITA' LOCALE  
ESISTENTE**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Cod. UC 16**

**PROGETTAZIONE: R.T.I. PROGIN S.p.A. (capogruppo mandataria)  
CREW Cremonesi Workshop S.r.l. – ART Ambiente Risorse Territorio S.r.l.  
ECOPLAME S.r.l. – InArPRO S.r.l.**

**RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:**

Dott. Ing. Antonio GRIMALDI (Progin S.p.A.)

**IL GEOLOGO:**

Dott. Geol. Giovanni CARRA (ART Ambiente Risorse e Territorio S.r.l.)

**IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:**

Dott. Ing. Michele Curiale (Progin S.p.A.)

**IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:**

Dott. Ing. Antonio CITARELLA

**CAPOGRUPPO MANDATARIA:**



Direttore Tecnico:  
Dott. Ing. Paolo IORIO

**MANDANTI:**



Direttore Tecnico  
Dott. Arch. Claudio TURRINI



Direttore Tecnico:  
Dott. Ing. Ivo FRESIA



Direttore Tecnico:  
Dott. Arch. Pasquale Pisano



Direttore Tecnico  
Dott. Ing. Massimo T. DE IORIO

PROTOCOLLO

DATA

\_\_\_\_\_201\_\_\_\_

STUDI, RILIEVI ED INDAGINI  
INDAGINI GEOGNOSTICHE  
REPORT DELLE INDAGINI GEOFISICHE

CODICE PROGETTO:

NOME FILE:

REVISIONE

PROGETTO	LIV. PROG.	COD. PROG.
L0411X	D	1201

T	0	0	G	E	0	0	G	E	O	R	E	0	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

**A**

A	Emissione	Novembre 2021	M. Galletti	G. Carra	P. Iorio
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

<p style="text-align: center;">RELAZIONE GEOLOGICA</p>	<p style="text-align: center;">AUTOSTRADA A2 MEDITERRANEA  ADEGUAMENTO FUNZIONALE SVINCOLO DI EBOLI AL KM 30+000 E SISTEMAZIONE VIABILITA' LOCALE ESISTENTE</p>	<p style="text-align: center;">Pag.  2 DI 7</p>
--	---	---

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CAMPAGNA DI INDAGINE MARZO 2021 .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>INDAGINI A CORREDO DEL P.U.C. ....</b>	<b>5</b>

**ALLEGATO 1** - ATTIVITÀ INDAGINI SOCOTEC 2021 (INDAGINI GEOFISICHE)

**ALLEGATO 2** - INDAGINI GEOFISICHE A CORREDO DEL P.U.C.

<b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	<b>AUTOSTRADA A2 MEDITERRANEA</b> <b>ADEGUAMENTO FUNZIONALE SVINCOLO DI EBOLI AL KM 30+000 E SISTEMAZIONE VIABILITA' LOCALE ESISTENTE</b>	<b>Pag.</b>  <b>3 DI 7</b>
--------------------------------	--	----------------------------------

## 1 PREMESSA

Grazie alla recente campagna di indagine geofisica di dettaglio (2021), si è potuto verificare la rigidità media dei terreni indagata e la loro classificazione ai sensi delle NTC. Sono state inoltre considerate indagini Down Hole eseguite per la redazione del Piano Urbanistico Comunale di Eboli

<b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	<b>AUTOSTRADA A2 MEDITERRANEA</b>  <b>ADEGUAMENTO FUNZIONALE SVINCOLO DI EBOLI AL KM 30+000 E SISTEMAZIONE VIABILITA' LOCALE ESISTENTE</b>	<b>Pag.</b>  <b>4 DI 7</b>
--------------------------------	--	----------------------------------

## 2 CAMPAGNA DI INDAGINE MARZO 2021

La campagna di indagine ha previsto la realizzazione di:

- n. 1 stendimento sismico di tipo MASW+ReMi per la caratterizzazione sismica dei terreni ai sensi delle NTC18;
- n. 18 misure di sismica passiva a stazione singola HVSR;

Nelle tabelle seguenti sono indicate le ubicazioni nelle coordinate WGS84.

*Tabella 1 Ubicazione e caratteristiche dello stendimento di sismica superficiale MASW+ReMi*

<b>ID Prova</b>	<b>Lunghezza (m)</b>	<b>Coordinate inizio linea (A)</b>	<b>Coordinate fine linea (B)</b>
<b>MASW + ReMi</b>	82	504024.84 mE, 4495123.03 mN	504022.72 mE, 4495042.33 mN

*Tabella 2 Ubicazione delle misurazioni di sismica passiva a stazione singola HVSR*

<b>ID Prova</b>	<b>Coordinate</b>
HVSR 1	504019 mE, 4495147 mN
HVSR 2	503982 mE, 4495122 mN
HVSR 3	503991 mE, 4495080 mN
HVSR 4	504025 mE, 4495051 mN
HVSR 5	504024 mE, 4495086 mN
HVSR 6	503953 mE, 4495144 mN
HVSR 7	503918 mE, 4495125 mN
HVSR 8	503944 mE, 4495112 mN
HVSR 9	503943 mE, 4495087 mN
HVSR 10	503969 mE, 4495057 mN
HVSR 11	504019 mE, 4495147 mN
HVSR 12	503921 mE, 4495235 mN
HVSR 13	503927 mE, 4495264 mN
HVSR 14	504062 mE, 4495033 mN
HVSR 15	503984 mE, 4495358 mN
HVSR 16	504012 mE, 4495377 mN
HVSR 17	504049 mE, 4495295 mN
HVSR 18	503948 mE, 4494979 mN

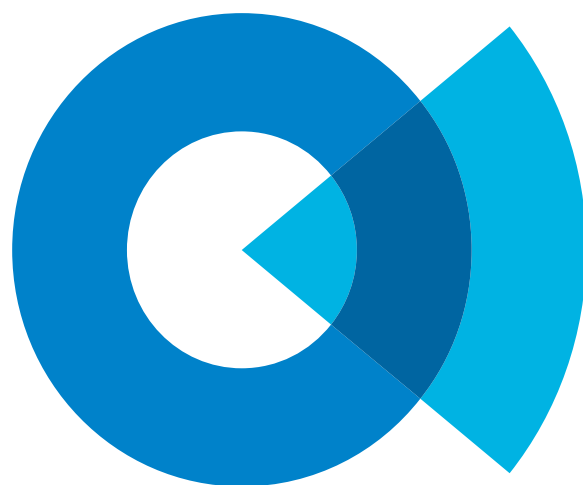
<b>RELAZIONE GEOLOGICA</b>	<b>AUTOSTRADA A2 MEDITERRANEA</b> <b>ADEGUAMENTO FUNZIONALE SVINCOLO DI EBOLI AL KM 30+000 E SISTEMAZIONE VIABILITA' LOCALE ESISTENTE</b>	<b>Pag.</b>  <b>5 DI 7</b>
--------------------------------	--	----------------------------------

### **3 INDAGINI A CORREDO DEL P.U.C.**

Riguardo alla campagna di indagine eseguita per la redazione del P.U.C. è stata presa in considerazione una prova Down-Hole in corrispondenza del sondaggio S09 (per l'ubicazione si rimanda all'elaborato delle ubicazioni delle indagini). I risultati sono presenti nell'allegato alla presente relazione.

**ALLEGATO 1 – ATTIVITÀ INDAGINI SOCOTEC 2021 (INDAGINI GEOFISICHE)**

**ALLEGATO 2 – INDAGINI GEOFISICHE A CORREDO DEL P.U.C.**



# SOCOTEC

Committente:  **anas**

**Lavoro: Servizi tecnici per l'esecuzione di Indagini geologiche, geotecniche ed ambientali (analisi terre e rocce) costituite da perforazioni, saggi e prelievi in opera ed esecuzione di prove ed analisi di laboratorio geotecniche e chimiche propedeutiche allo sviluppo del progetto definitivo ed esecutivo dell'intervento di Adeguamento funzionale dell'esistente Svincolo di Eboli al km 30+000 e sistemazione della viabilità locale esistente (UC16).**

**Affidamento prot. CDG-064672-U del 03.02.2021**

REV	DATA	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato
00	23/04/2021	Prima emissione	Merola Lorenzo	Donato Fiore	Massimo De Iasi

**FASCICOLO 5 – GEOFISICA**



## UC16-A2 Adeguamento Svincolo di Eboli

### Indagini geofisiche

### MASW; ReMi; HVSR

Emissione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato
Rev. 00	19/03/2021	Paola Luiso	Donato Fiore	Massimo De Iasi
		<i>Paola Luiso</i>	<i>Donato Fiore</i>	<i>Massimo De Iasi</i>
		Domenico Di Massa		
		<i>Domenico Di Massa</i>		

## Indice

1.	PREMESSA .....	2
2.	METODO MASW.....	3
2.1.	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO .....	3
2.2.	STRUMENTAZIONE IMPIEGATA .....	6
2.3.	SCHEMA DI ACQUISIZIONE .....	8
3.	RISULTATI INDAGINI MASW .....	8
4.	METODO REMI.....	9
4.1.	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO .....	9
4.2.	SCHEMA DI ACQUISIZIONE .....	10
5.	RISULTATI INDAGINE REMI.....	11
6.	METODO HVSR .....	12
6.1.	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO .....	12
6.2.	FREQUENZA FONDAMENTALE DEL SITO.....	13
6.3.	PROFILI SISMICO-STRATIGRAFICI E PARAMETRO VSEQ.....	14
6.4.	ACQUISIZIONE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA .....	15
7.	RISULTATI INDAGINI HVSR.....	17
8.	CONCLUSIONI.....	18
9.	BIBLIOGRAFIA.....	20
	ALLEGATI .....	21

## 1. PREMESSA

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche realizzate presso Eboli (SA). In dettaglio, sono state eseguite n°1 prospezione MASW, n°1 prospezione ReMi, n°18 indagini HVSR (Fig.1). Le indagini sono state realizzate nel mese di marzo 2021.



Figura 1 - Ubicazione Indagini.

Si riporta di seguito il riepilogo delle indagini svolte:

ID Prova	Lunghezza (m)	Coordinate inizio linea (A)	Coordinate fine linea (B)
MASW + ReMi	82	504024.84 mE, 4495123.03 mN	504022.72 mE, 4495042.33 mN

<b>ID Prova</b>	<b>Coordinate</b>
HVSR 1	504019 mE, 4495147 mN
HVSR 2	503982 mE, 4495122 mN
HVSR 3	503991 mE, 4495080 mN
HVSR 4	504025 mE, 4495051 mN
HVSR 5	504024 mE, 4495086 mN
HVSR 6	503953 mE, 4495144 mN
HVSR 7	503918 mE, 4495125 mN
HVSR 8	503944 mE, 4495112 mN
HVSR 9	503943 mE, 4495087 mN
HVSR 10	503969 mE, 4495057 mN
HVSR 11	504019 mE, 4495147 mN
HVSR 12	503921 mE, 4495235 mN
HVSR 13	503927 mE, 4495264 mN
HVSR 14	504062 mE, 4495033 mN
HVSR 15	503984 mE, 4495358 mN
HVSR 16	504012 mE, 4495377 mN
HVSR 17	504049 mE, 4495295 mN
HVSR 18	503948 mE, 4494979 mN

*Tabella 1 - Coordinate indagini*

## **2. METODO MASW**

### **2.1. Principi di funzionamento e cenni sul metodo**

Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva, che individua il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. La determinazione delle  $V_s$  viene ottenuta tramite l'inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh (Fig. 2).

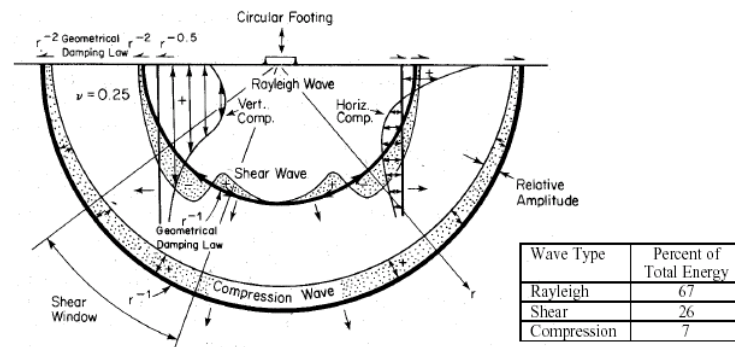


Figura 2 - Distribuzione delle onde di Rayleigh nel sottosuolo.

In un mezzo stratificato, le onde di Rayleigh sono dispersive, ossia 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). La velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh, quindi, dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza, ossia con lunghezza d'onda corta, si propagano negli strati più superficiali dando, quindi, informazioni sulla porzione più superficiale del suolo. Onde a bassa frequenza, invece, si propagano negli strati più profondi dando informazioni, quindi, sulla parte più profonda del suolo. Le indagini MASW si distinguono in attive e passive o in una combinazione di entrambe. Nel metodo attivo, le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo, lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e consente di misurare anche il rumore ambientale di fondo esistente.

Facendo riferimento al metodo attivo da noi utilizzato, possiamo dire che, una generica acquisizione di segnali sismici lungo uno stendimento lineare, con sorgente esterna alla linea sismica, può essere rappresentata come una funzione  $u(x, t)$  dove  $x$  è lo spazio e  $t$  il tempo.

Applicando ai segnali la trasformata di Fourier lungo l'asse dei tempi, otteniamo la funzione  $U(x, f)$ :

$$U(x, f) = \int u(x, t) e^{ift} dt \quad (2.1)$$

La funzione  $U(x, f)$  può essere espressa come la moltiplicazione di due termini separati:

$$U(x, f) = P(x, f)A(x, f) \quad (2.2)$$

dove  $P(x, f)$  e  $A(x, f)$  rappresentano, rispettivamente, lo spettro di fase e di ampiezza.

Nella funzione  $U(x,f)$ , ogni componente in frequenza è completamente separata dalle altre e l'informazione del tempo di arrivo è preservata nello spettro di fase  $P(x, f)$ .

Nella funzione  $P(x,f)$ , sono contenute inoltre tutte le informazioni relative alla dispersione delle onde superficiali di Rayleigh mentre la funzione  $A(x, f)$  contiene tutte le informazioni inerenti l'attenuazione e la divergenza sferica. Tenendo conto della rappresentazione esponenziale dello spettro di fase, la (2.2) può essere espressa come:

$$U(x, f) = e^{-i\phi x} A(x, f) \quad (2.3)$$

Dove  $F=f/cf$  con  $f$  = frequenza angolare e  $cf$  = velocità di fase per ogni frequenza.

Operando un integrale di linea in  $dx$  e normalizzando per il modulo della funzione  $|U(x,f)|$ , otteniamo la funzione  $V(f, \phi)$ :

$$V(f, \phi) = \int e^{i\phi x} [U(x, f) / |U(x, f)|] dx = \int e^{-i(\Phi-\phi)x} [A(x, f) / |A(x, f)|] dx \quad (2.4)$$

La funzione  $V(f, \phi)$ , ottenuta dalla trasformazione integrale, può essere pensata come la somma, lungo tutto lo stendimento, del campo d'onda relativo ad ogni frequenza, applicando uno shift di fase dipendente dall'offset, al campo d'onda, per un'assunta velocità di fase  $cf = f/\phi$ .

La normalizzazione al modulo della funzione  $|U(x, f)|$ , minimizza i fenomeni di attenuazione e di divergenza sferica. Risulta ovvio che la funzione  $V(f, \phi)$  avrà un massimo in corrispondenza di un valore:

$$\phi = F = f / cf \quad (2.5)$$

Per un dato valore di  $\phi$ , dove si verifica un massimo della funzione  $V(f, \phi)$ , la velocità di fase  $cf$  può essere determinata. Tenendo conto che  $cf = f/\phi$ , la funzione  $V(f, \phi)$  può essere trasformata nella funzione  $I(f, cf)$  che viene definita "spettro di velocità di fase". In essa, lungo l'asse  $cf$ , appariranno dei picchi che soddisferanno, per ogni frequenza, l'equazione (2.5). Il luogo dei punti lungo questi massimi, per differenti valori di frequenza  $f$ , permette di identificare le curve di dispersione delle velocità di fase dei modi di oscillazione dell'onda superficiale di Rayleigh.

La curva di dispersione media delle velocità di fase dell'onda di Rayleigh, estratta con la metodologia MASW, è invertita al fine di ottenere un modello monodimensionale di onde di taglio.

## 2.2. Strumentazione impiegata

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prova si compone delle seguenti parti:

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;
- trigger;
- sistema di acquisizione dati.

Nel dettaglio:

sistema energizzante: tale sistema deve essere in grado di generare onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali. Per generare le onde di compressione P è stata utilizzata una massa battente da 5kg.

sistema di ricezione: per l'indagine sono stati utilizzati 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile (oscillazione verticale), con frequenza caratteristica di 4.5 Hz (Fig. 3).

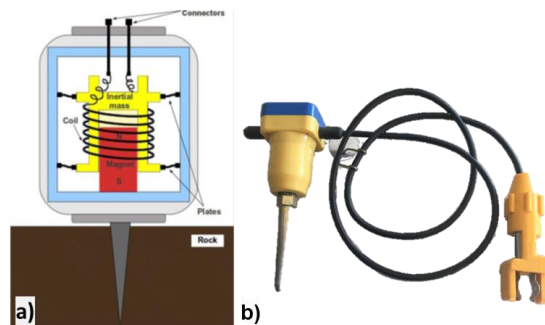


Figura 3 – Geofoni per onda P ed Sh; a) schema di funzionamento del geofono per onda P; b) geofono per onda P con frequenza caratteristica di 4.5 Hz.

trigger: la metodologia utilizzata, in quanto attiva, prevede che l'inizio della registrazione sia individuato mediante un *trigger*: consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la massa battente colpisce la piastra o la trave (nel nostro caso è stato usato un geofono starter) e l'impulso generato, inviato al sistema di acquisizione, consente di fissare il tempo zero di riferimento per il calcolo dei tempi di percorso delle onde generate.

sistema di acquisizione dati: sismografo costituito da un sistema multicanale a conversione digitale. Il modello è denominato *GEODE* (prodotto dalla *GEOMETRICS*, Fig. 4; Tab. 2) ed è caratterizzato da una risoluzione di acquisizione pari a 24 bit (Tecnologia Delta Sigma). Tale sistema è in grado di registrare, su ciascun canale in forma digitale, le forme d'onda e di conservarle su memoria di massa dinamica minima a 24 bit. Esso è collegato a ciascuno dei geofoni ed al sensore del trigger, consentendo quindi di registrare in forma numerica e visualizzare sotto forma di tracce, su un apposito monitor, le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.



Figura 4 - Sismografo GEODE (Geometrics).

<b>A/D Conversion:</b>	24 bit (Crystal Semiconductor sigma-delta converters)
<b>DynamicRange:</b>	144 dB (system), 110 dB (instantaneous, measured) at 2ms, 24dB.
<b>Distortion:</b>	0.0005% @ 2 ms, 1.75 to 208 Hz.
<b>Bandwidth:</b>	1.75 Hz to 20 kHz
<b>Common Mode Rejection:</b>	> -100 dB at <=100 Hz, 36 dB.
<b>Crosstalk:</b>	-125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms.
<b>Noise Floor:</b>	0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz.
<b>Stacking Trigger Accuracy:</b>	1/32 of sample interval.
<b>Maximum Input Signal:</b>	2.8 VPP.
<b>Input Impedance:</b>	20 kOhm, 0.02 uf.
<b>Preamplifier Gains: dB, or 0dB.</b>	24 or 36 dB
<b>Anti-alias Filters:</b>	-3 dB at 83% of Nyquist frequency, down 90 dB.
<b>Pre-trigger Data:</b>	Up to 4,096 Samples.
<b>Sample Interval:</b>	0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ms.
<b>Record Length:</b>	16,000 samples standard
<b>Delay:</b>	0 to 9999 ms in 1 ms steps.
<b>Data Transmission:</b>	Ethernet connections

Tabella 2 - Specifiche tecniche Sismografo GEODE.



### 2.3. Schema di acquisizione

Lo stendimento sismico è stato realizzato utilizzando 24 canali d'acquisizione (geofoni) con passo intergeofonico pari a 3 m (Fig. 5). L'acquisizione dei dati sismici è stata condotta secondo la seguente configurazione spazio temporale:

- n° geofoni: 24;
- n° 10/15 *shot* posizionati in linea con lo stendimento ad una distanza dal geofono 1 pari a -10 m da sottoporre al processo di stacking in fase di processing per ottimizzare il rapporto *signal/noise*;
- tempo di acquisizione: 1 s;
- intervallo di campionamento 0.125  $\mu$ s;



Figura 5 - Fasi di acquisizione

### 3. RISULTATI INDAGINI MASW

L'indagine MASW ha consentito di ottenere un modello monodimensionale di Vs che, com'è noto, può essere ritenuto esaustivo del profilo verticale di Vs nel punto centrale dello stendimento.

Sulla base dei sismostrati individuati, è stato calcolato un parametro di Vs equivalente pari a 280 m/s; pertanto, si riscontra la presenza di terreno che va a collocarsi nella categoria di suolo **C**, secondo la

nuova normativa NTC2018. Per tarare dell'indagine MASW è stato consultato il sondaggio geognostico S3 che, tuttavia, non supera i 15 m di profondità.

L'indagine MASW mostra tre principali aumenti di velocità, uno a circa 2 m dal p.c. in cui le Vs aumentano da 180 e 230 m/s segnando il passaggio da materiale di riporto a limo debolmente argilloso, e un altro a circa 11 m dal p.c. in cui le Vs aumentano a 340 m/s, probabilmente dovuto a un leggero aumento del grado di compattazione dei limi. A circa 29 m dal p.c. si riscontra un ulteriore aumento delle Vs fino a 423 m/s, collegabile o a un ulteriore aumento del grado di compattazione dei limi argillosi o al passaggio ad una litologia più compatta. L'assenza di sondaggi geognostici profondi non ha permesso una interpretazione univoca.

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)	V <sub>seq(0-30)</sub>	285 m/s
1	0.00	2.00	2.00	180		
2	2.00	11.00	8.00	230		
3	11.00	28.80	17.80	340	Suolo	C
4	28.80	Inf.	Inf.	423		

*Tabella 3 - Modello 1D Vsh, V<sub>seq(0-30)</sub> e categoria di suolo*

Per i dettagli si rimanda agli elaborati grafici allegati alla presente relazione.

#### **4. METODO REMI**

##### **4.1. Principi di funzionamento e cenni sul metodo**

L'indagine ReMi si basa sull'analisi dei microtremiti spontaneamente presenti nell'ambiente, cioè sollecitazioni di qualsiasi origine, anche antropica, provenienti da sorgenti ignote e isotropiche (disposte in tutte le direzioni) rispetto allo stendimento sismico.

L'indagine viene effettuata utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno con array lineare; per ottenere una buona risoluzione in termine di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni con bassa frequenza di risonanza (4 - 14 Hz raccomandati), è indispensabile allungare il tempo di registrazione (15 – 30 s) rispetto alla sismica a rifrazione tradizionale. Al contrario di ciò che avviene con la tecnica MASW attiva, in cui il segnale generato dalla sorgente sismica controllata può essere "disturbato" dal rumore di varia origine soprattutto in un ambiente molto antropizzato, il metodo MASW passiva – ReMi consente una rapida ed agevole acquisizione dei dati,

senza dover operare con una sorgente attiva e quindi eseguibile da un solo tecnico operatore. L'uso di un sismografo digitale con elevata dinamica consente di dimezzare la frequenza utile campionabile rispetto a quella nominale dei geofoni impiegati.

La metodologia ReMi analizza le onde di Rayleigh che costituiscono un particolare tipo di onde di superficie che si trasmettono sulla superficie libera di un mezzo isotropo e omogeneo e sono il risultato dell'interferenza reciproca tra onde longitudinali P e di taglio verticali SV. La dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali e quindi dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio  $V_s$  e lo spessore degli strati.

Si possono così registrare onde di superficie il cui contenuto in frequenza copre un range da 25-30Hz fino a 2 Hz che, in condizioni ottimali, offre una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle  $V_s$  relativamente ai primi cinquanta metri di profondità. L'elaborazione del segnale consiste nell'operare una trasformata bidimensionale "slowness-frequency" (p-f) che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica e nel rappresentarne lo spettro di potenza su un grafico p-f.

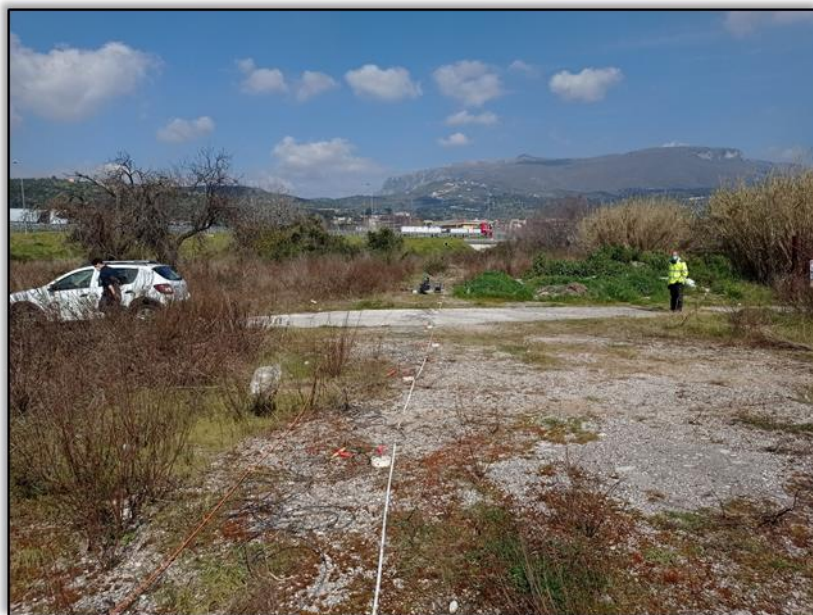
L'operatore esegue un "picking" attribuendo ad un certo numero di punti una o più slowness (p o  $1/\text{velocità di fase}$ ) per alcune frequenze. Tali valori vengono in seguito plottati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello diretto. I dati selezionati dall'immagine p-f vengono plottati su un diagramma nel quale compare anche una curva di dispersione calcolata a partire da un modello di  $V_s$  che è modificabile dall'interprete. Variando il numero di strati, la loro velocità e la densità nel modello, la curva di dispersione calcolata viene adattata fino a farla aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking. Si tratta di una modellazione diretta, monodimensionale, che può accettare inversioni di velocità con la profondità ed in cui conta molto il peso che deriva dall'abilità e dall'esperienza del geofisico.

La strumentazione utilizzata è la stessa dell'indagine MASW.

#### **4.2. Schema di acquisizione**

Gli stendimenti sismici sono stati realizzati utilizzando 24 canali d'acquisizione (geofoni) con passo intergeofonico pari a 3 m (Fig. 4). L'acquisizione dei dati sismici è stata condotta secondo la seguente configurazione spazio temporale:

- n° geofoni: 24;
  - tempo di acquisizione: 60, 120, 240 s;
- intervallo di campionamento 4 ms;



*Figura 6 - Fasi di acquisizione*

## **5. RISULTATI INDAGINE REMI**

Le indagini ReMi hanno consentito di ottenere un modello monodimensionale di  $V_s$  che, com'è noto, può essere ritenuto esaustivo del profilo verticale di  $V_s$  nel punto centrale dello stendimento. Pertanto, secondo la nuova normativa NTC2018, si riscontra la presenza di terreno che va a collocarsi nella categoria di suolo **C**.

L'indagine ReMi individuato una velocità equivalente pari ai 275 m/s suggerendo la presenza di materiali caratterizzati da un grado medio-basso di compattazione fino a circa 24 m di profondità. Inoltre, tra circa 25 e 40 m di profondità, un marcato aumento delle velocità indicherebbe la presenza di limo argilloso compatto.

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)	V <sub>seq(0-30)</sub>	275 m/s
1	0.00	4.00	4.00	203.00		
2	4.00	11.50	7.50	264.00		
3	4.79	23.70	18.91	391.00		
5	44.00	Inf.	Inf.	503.00	Suolo	C

Tabella 4 - Modello 1D Vsh, V<sub>seq(0-30)</sub> e categoria di suolo per la ReMi

Per il dettaglio si rimanda all'allegato grafico.

## 6. METODO HVSR

### 6.1. Principi di funzionamento e cenni sul metodo

La tecnica di sismica passiva a stazione sismica o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è una tecnica totalmente non invasiva. Si può applicare ovunque senza nessun tipo di perforazione e non ha bisogno di energizzazioni esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. Le registrazioni di microtremore ambientale, nelle sue tre componenti spaziali, rappresentano uno strumento per una microzonazione speditiva. Il microtremore ambientale (noise sismico) è un movimento minimo (nell'ordine di 10<sup>-2</sup> - 10<sup>-6</sup> mm) del terreno presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde di superficie (Rayleigh e Love) prodotte dall'interferenza costruttiva delle onde P e S negli strati superficiali. Viene prodotto anche dal vento e dalle onde del mare e a frequenze alte da sorgenti di carattere antropico (industrie e traffico veicolare; Cessaro, 1994; Gutenberg, 1958). I risultati che si possono ottenere sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito, parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici così da evitare l'effetto della "doppia risonanza";
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio qualora la misura viene effettuata all'interno dello stesso;
  - stimare la velocità delle onde di taglio Vs a patto che si dispone di informazioni aggiuntive sul modello geologico del sottosuolo o si hanno informazioni di letteratura sul sito in esame (per es. profondità del bedrock sismico, stratigrafie da sondaggi a carotaggio continuo o profili Vs da prove MASW o di sismica a rifrazione).

Il metodo si basa sul rapporto spettrale tra la componente orizzontale (H) e quella verticale (V) (eseguito nel dominio delle frequenze). Esso fu introdotto come strumento speditivo per stimare l'incidenza delle condizioni locali sull'amplificazione dello scuotimento dovuto ad un sisma. Il principio

si basa sul fatto che, misurando il rapporto H/V determinabile da microtremori, si stimano le frequenze che possono essere amplificate in caso di sisma.

## 6.2. Frequenza fondamentale del sito

La prova sismica passiva a stazione singola mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica (si ha risonanza stratigrafica quando si è in presenza di terreni di copertura con spessore superiore a tre metri su di un substrato rigido), in quanto il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione. Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze 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. Dal grafico del rapporto tra le componenti spettrali orizzontale e verticale (Esempio in Fig.7a) 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; Fig.7b). La frequenza fondamentale del sito è da intendersi quella più significativa a bassa frequenza. Eventuali altre frequenze evidenziate (picchi secondari) se vicine alle frequenze di interesse ingegneristico (struttura) possono essere comunque significative.

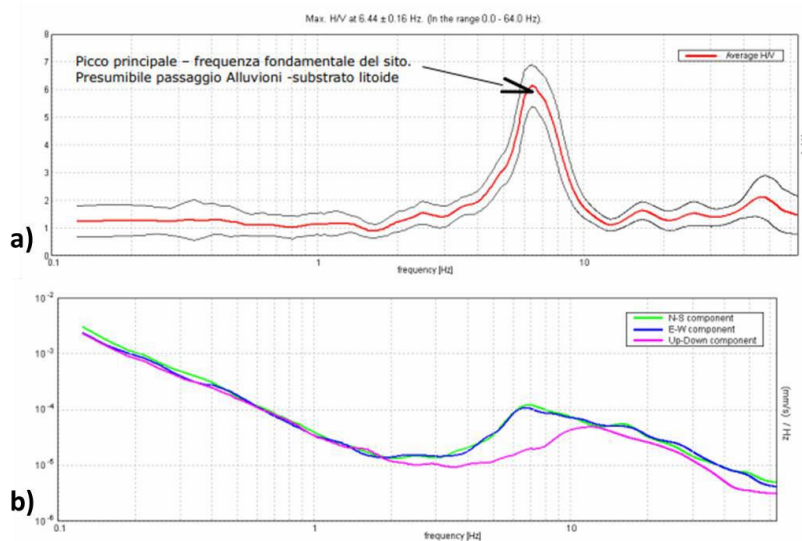


Figura 7 - a) Rapporto spettrale H/V; b) Esempio di spettri a singole componenti

Le frequenze di risonanza del sottosuolo costituiscono un parametro fondamentale per i progettisti, i quali devono evitare, o se non è possibile quanto meno tenere in debita considerazione nel dimensionamento delle strutture, i fenomeni di "doppia risonanza" che costituiscono la vera causa delle distruzioni generate da un terremoto.

### 6.3. Profili sismico-stratigrafici e parametro Vseq

La legislazione antisismica (NTC 2018) adotta come parametro fondamentale per la stima degli effetti di sito la velocità media delle onde di taglio nei metri di sottosuolo fino all'intercettazione del bedrock, parametro comunemente chiamato Vseq. Stime di Vseq sono perciò necessarie quasi ovunque per la microzonazione sia a grande scala che alla scala dei singoli edifici. La curva sperimentale HVSR viene "fittata" con una curva teorica usando come vincolo lo spessore dello strato più superficiale (o altro orizzonte il cui picco H/V è individuabile sulla curva sperimentale) di sottosuolo (generalmente noto dalle indagini geotecniche necessarie per legge per ogni progettazione edilizia, come ad esempio prove penetrometriche; Fig.8), basandosi sulla nota equazione che lega la frequenza di risonanza (f) allo spessore (h) dello strato e alla velocità delle onde di taglio (Vs):  $f=Vs/4h$  (da cui  $h=Vs/4f$ ).

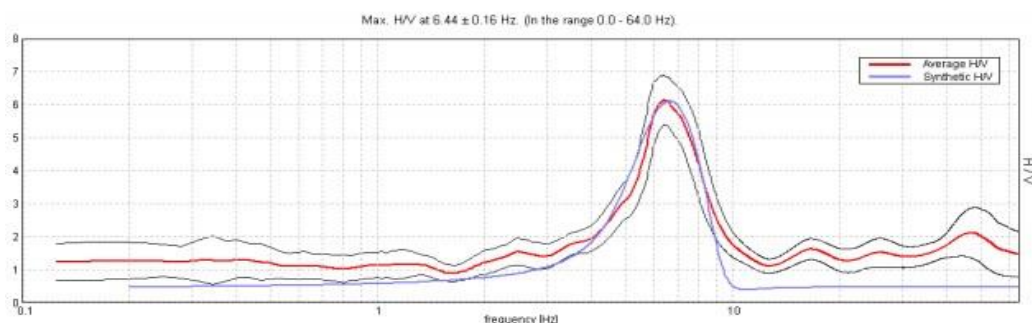


Figura 8 - esempio di fittaggio del modello teorico

#### 6.4. Acquisizione e strumentazione utilizzata

Esistono delle note linee guida (progetto SESAME) per acquisire dati utili alle analisi HVSR (Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation, [http://sesame-fp5.obs.ujfgrenoble.fr/Delivrables/Del-D23\\_HV\\_User\\_Guidelines.pdf](http://sesame-fp5.obs.ujfgrenoble.fr/Delivrables/Del-D23_HV_User_Guidelines.pdf)). I dati vengono acquisiti attraverso il Tromino della Micromed (Fig. 9).



Figura 9 - Tromino della Micromed

In Tabella 5 sono elencate le caratteristiche dello strumento.

<b>Tromino</b>	
Numero dei canali velocimetrici	3 canali velocimetrici per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale e 3 per la registrazione di vibrazioni forti.
Numero dei canali accelerometrici	3 canali per il monitoraggio di vibrazioni.
Numero dei canali analogici	1 (es. trigger esterno).
GPS	ricevitore GPS integrato, antenna interna e/o esterna per localizzazione e/o sincronizzazione tra diverse unità.
Intervallo di frequenza	0.1 – 1024 Hz con conversione A/D > 24 bit equivalenti a 128 Hz.
cavo esterno	Nessuno

Tabella 5 - Specifiche tecniche del Tromino



Per tutte le misure l'intervallo di registrazione utilizzato è di 24 minuti con una frequenza di campionamento pari a 128 Hz (Fig. 10). Per una migliore valutazione della direzionalità del segnale, lo strumento è stato messo in bolla ed orientato con il nord strumentale rispetto al nord magnetico. Importante è la messa in bolla dello strumento al fine di minimizzare gli errori come, ad esempio, il cosiddetto "effetto del tilting" che può essere provocato da un cambiamento della livellazione mentre si effettua la misura producendo una perturbazione della forma della curva H/V risultante soprattutto nella sua parte in bassa frequenza. Importante è anche orientare il N sul sensore secondo il nord geografico, per convenzione; in questo caso il terzo canale, (connessione al geofono orizzontale N-S) è quello maggiormente eccitato. Le registrazioni sono state suddivise in intervalli temporali di durata di 20 secondi; è stata eseguita, quindi, un'analisi spettrale delle tre componenti e calcolato il rapporto spettrale per ognuno dei segmenti temporali ottenuti. Durante tale operazione è stata eseguita una "lisciatura" dello spettro, con una finestra temporale pari al 10 % della frequenza centrale. La curva H/V finale è stata ottenuta come media dei rapporti spettrali su tutti i segmenti. In alcuni casi è stato necessario eliminare alcuni dei segmenti temporali in cui erano presenti i cosiddetti "transienti", cioè rumore sismico elevato e occasionale (in genere di origine antropica). I risultati finali dell'elaborazione consistono in modelli modimensionali che riportano una stima delle velocità delle onde di taglio in relazione alla profondità.

I dati acquisiti attraverso le misure a stazione singola HVSR sono stati elaborati mediante il software Grilla V.6.1 (Micromed). Nello specifico, Grilla è il software creato per archiviare, gestire, visualizzare ed analizzare le registrazioni del Tromino. I diversi moduli del software permettono di effettuare:

- Analisi spettrale completa delle tracce, calcolo delle curve H/V per la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo;
- Procedure di pulizia dei tracciati nel dominio del tempo e della frequenza, test sulla significatività dei picchi secondo le linee guida europee;
- determinazione delle frequenze dei modi di vibrare delle strutture con rimozione dell'effetto di sottosuolo;
- analisi direzionale, confronto tra analisi e registrazioni diverse, numerosi altri strumenti

matematici di analisi;

- Referto automatico con tabelle e illustrazioni.



Figura 10 - Fasi di acquisizione

## 7. RISULTATI INDAGINI HVSr

Le indagini HVSr risultano essere in buon accordo con le indagini geofisiche precedentemente descritte e con i

sondaggi geognostici effettuati. In linea generale, l'indagine HVSR mostra un primo aumento di velocità a circa 5 m dal piano campagna e un secondo aumento a circa 25 m, suggerendo la presenza di limo argilloso compatto.

Tuttavia, l'indagine HVSR 17, ubicata nel settore più orientale dell'area indagata, mostra un forte aumento delle Vs a circa 44 m dal p.c., con valori delle velocità che superano i 1110 m/s; ciò suggerirebbe un cambiamento nell'assetto geologico-strutturale del settore nord-est dell'area indicando la presenza di materiale più compatto già a profondità inferiori di 50 m.

<b>ID Prova</b>	<b>Coordinate</b>	<b>VS<sub>eq</sub> (m/s)</b>	<b>Cat. suolo</b>
HVSR 1	504019 mE, 4495147 mN	225	<b>C</b>
HVSR 2	503982 mE, 4495122 mN	237	<b>C</b>
HVSR 3	503991 mE, 4495080 mN	223	<b>C</b>
HVSR 4	504025 mE, 4495051 mN	305	<b>C</b>
HVSR 5	504024 mE, 4495086 mN	223	<b>C</b>
HVSR 6	503953 mE, 4495144 mN	216	<b>C</b>
HVSR 7	503918 mE, 4495125 mN	247	<b>C</b>
HVSR 8	503944 mE, 4495112 mN	234	<b>C</b>
HVSR 9	503943 mE, 4495087 mN	288	<b>C</b>
HVSR 10	503969 mE, 4495057 mN	272	<b>C</b>
HVSR 11	504019 mE, 4495147 mN	362	<b>B</b>
HVSR 12	503921 mE, 4495235 mN	396	<b>B</b>
HVSR 13	503927 mE, 4495264 mN	423	<b>B</b>
HVSR 14	504062 mE, 4495033 mN	237	<b>C</b>
HVSR 15	503984 mE, 4495358 mN	408	<b>B</b>
HVSR 16	504012 mE, 4495377 mN	266	<b>C</b>
HVSR 17	504049 mE, 4495295 mN	451	<b>C</b>
HVSR 18	503948 mE, 4494979 mN	291	<b>B</b>

## **8. CONCLUSIONI**

I risultati delle prove geofisiche risultano essere in ottimo accordo sia tra le varie tecniche usate sia con le prospezioni geognostiche. Si evince che nel settore Sud della Autostrada A2 si riscontra la presenza di materiale limoso argilloso poco consistente con velocità delle onde S che si attestano tra 200-250 m/s, oltre ad una coltre superficiale sciolta costituita da sabbia e riporto dello spessore di circa un metro. In questo settore, tutte le

indagini effettuate confermano la presenza di un suolo di tipo **C**, in alcuni casi anche vicino al limite inferiore della categoria.

Nel settore Nord, invece, si ha la presenza di un livello di materiale ghiaioso più compatto in profondità, come rinvenuto nel sondaggio geognostico S1. Tutte le misure eseguite mostrano invece un valore di Vs crescente verso Nord che fa sì che i suoli presenti in questo settore ricadano tutti in categoria **B**. Fa eccezione solo la prova HVSR 17 nella quale si riscontra un anomalo livello di materiale molto scadente dello spessore di circa 5 m in superficie probabilmente ascrivibile a materiali di riporto o comunque antropici.

## 9. BIBLIOGRAFIA

Achenbach J. D., Xu Y., 1999. Wave motion in an isotropic elastic layer generated by a time-harmonic point load of arbitrary direction. *Journal of the Acoustical Society of America*, 106, 83 – 90.

Brückl E., 1987. The interpretation of traveltimes fields in refraction seismology. *Geophysical prospecting*, 33, 9, 973-992. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1987.tb00855.x>.

Gasparini M., Signanini P., 1983. Il metodo down-hole per la misura delle onde nelle terre. *Rassegna Tecnica del Friuli Venezia Giulia*, n 4, 35-37.

Gebrande H., and Miller H., 1985. Refraktionsseismik, in *Angewandte Geowissenschaften II, Methoden der Angewandten Geophysik und mathematische Verfahren in Geowissenschaften*, 226-260, F. Enke Verlag, Stuttgart.

Hagedoorn J. G., 1959. The plus-minus method of interpreting seismic refraction sections. *Geophysical Prospecting*, 7, 2, 158-182. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1959.tb01460.x>.


Jones G.M. and Jovanovich D.B., 1985. A ray inversion method for refraction analysis. *Geophysics*, 50, 11, 1701-1720. <https://doi.org/10.1190/1.1441861>.

Palacky, G. J., 1988. Resistivity characteristics of geologic targets, in *Investigations in Geophysics vol. 3: Electromagnetic methods in applied geophysics-theory*, vol. 1, edited by M. N. Nabighian, Soc. Expl. Geophys., 53–129.

Watanabe T. & Sassa K., 1995. Velocity and amplitude of P-waves transmitted through fractured zones composed of multiple thin low-velocity layers. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 32, 4, 313-324.

Wyllie M. R., Gregory A. R. & Gardner G. H., 1956. Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. *Geophysics*, 21, 1, 41-70.

# ALLEGATI

	<b>TEST REPORT</b>	1/4
	<b>MASW</b>	

<b>CLIENTE:</b>	ANAS S.p.A.	
<b>LAVORO:</b>	UC16-A2 Adeguamento Svincolo di Eboli	
<b>UBICAZIONE:</b>	Eboli (Sa)	
<b>NOME TEST:</b>	MASW	
<b>DATA DI ESECUZIONE</b>	04/03/2021	
<b>COORDINATE</b>	<b>Y</b>	4495086.00 m N
	<b>X</b>	504024.00 m E





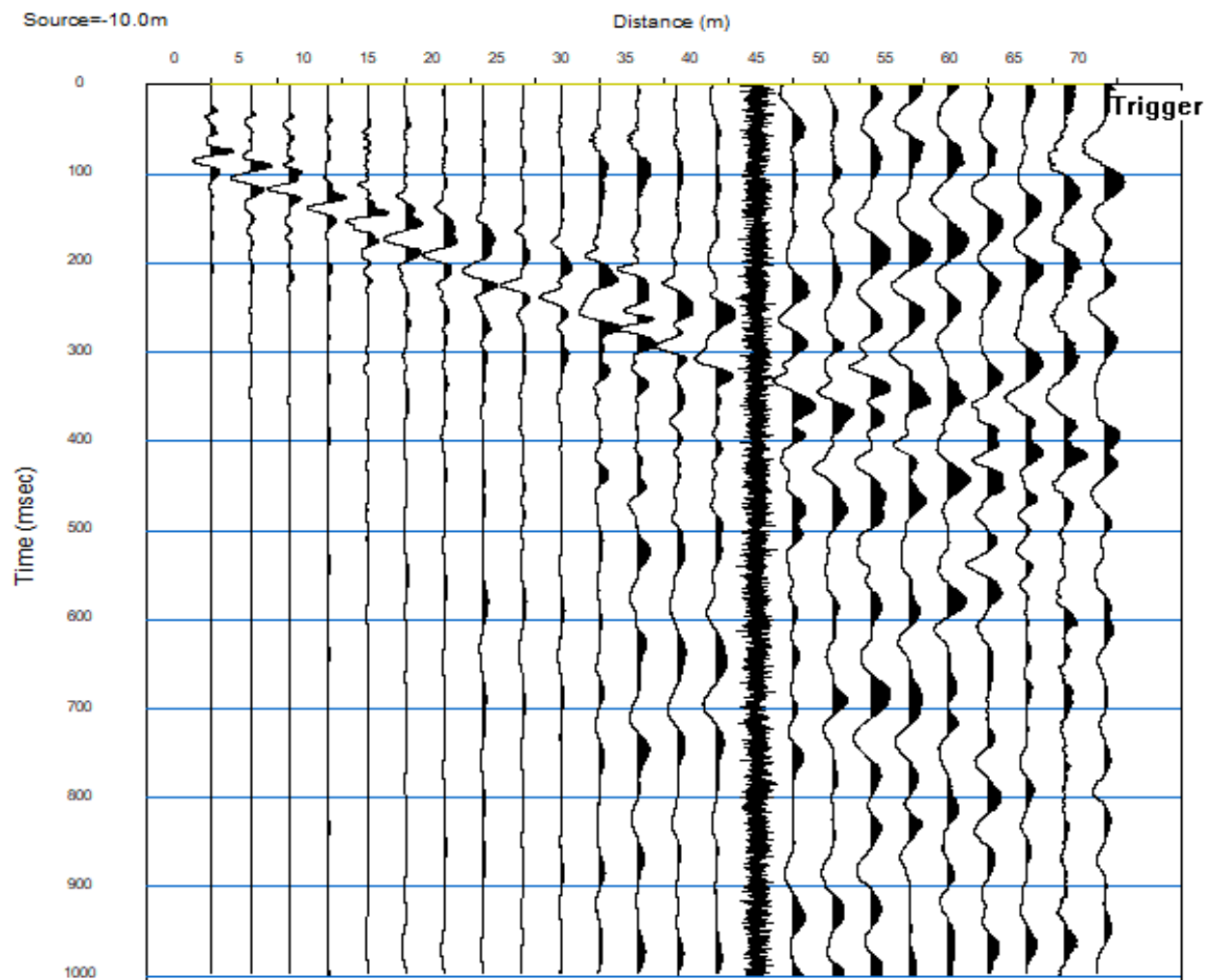
# TEST REPORT

2/4

## MASW

CLIENTE:	ANAS S.p.A.	
LAVORO:	UC16-A2 Adeguamento Svincolo di Eboli	
UBICAZIONE:	Eboli (Sa)	
NOME TEST:	MASW	
DATA DI ESECUZIONE	04/03/2021	
COORDINATE	Y	4495086.00 m N
	X	504024.00 m E

### SISMOGRAMMA







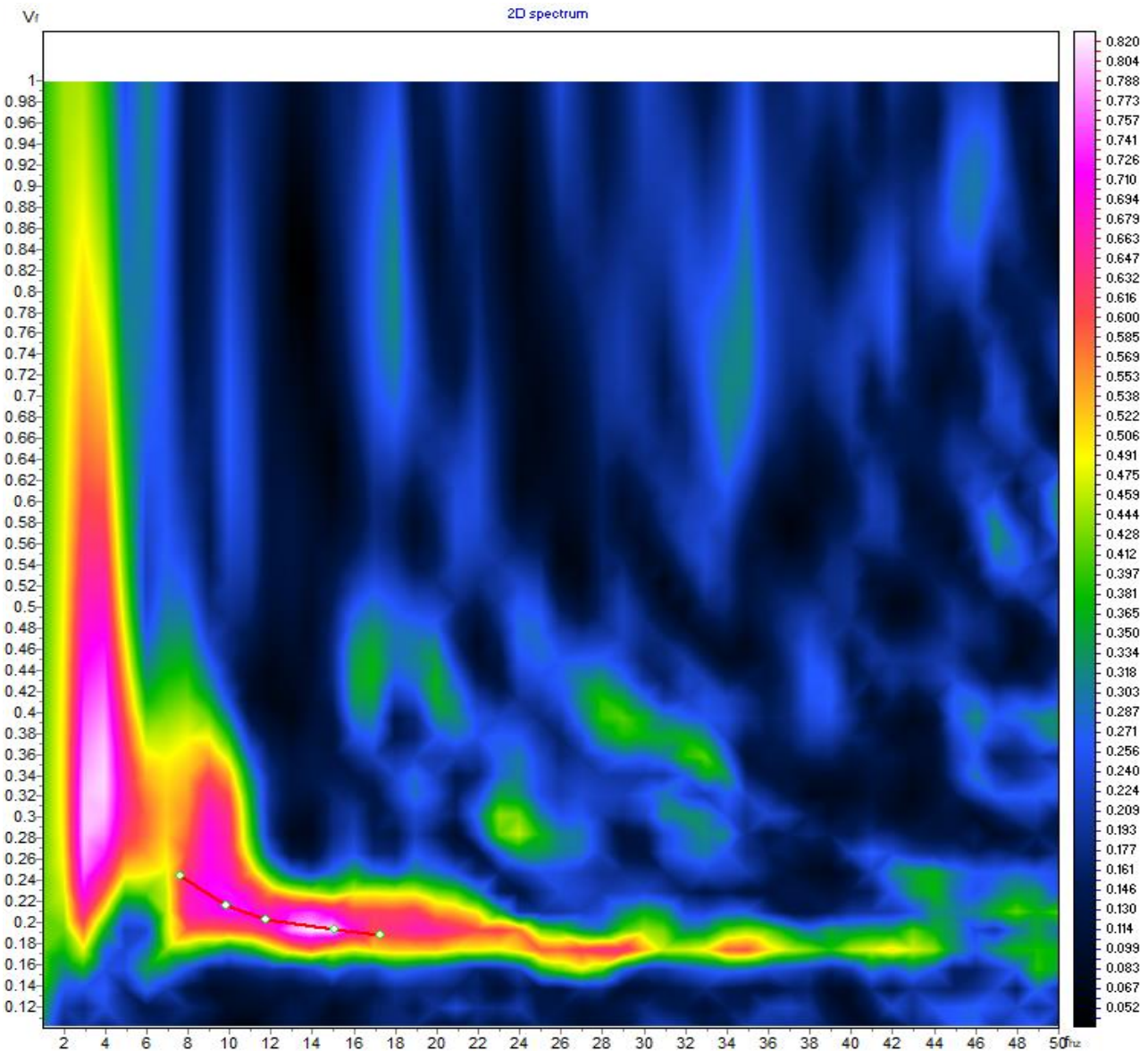
# TEST REPORT


3/4

## MASW

CLIENTE:	ANAS S.p.A.		
LAVORO:	UC16-A2 Adeguamento Svincolo di Eboli		
UBICAZIONE:	Eboli (Sa)		
NOME TEST:	MASW		
DATA DI ESECUZIONE	04/03/2021		
COORDINATE	Y	4495086.00 m N	
	X	504024.00 m E	

### SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE

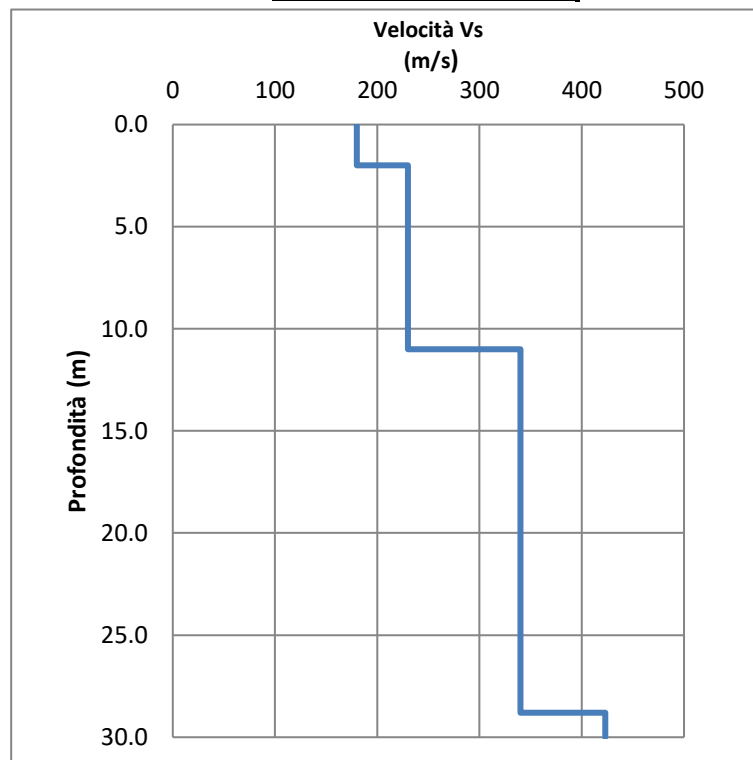


	<b>TEST REPORT</b>	4/4
	<b>MASW</b>	

<b>CLIENTE:</b>	ANAS S.p.A.		
<b>LAVORO:</b>	UC16-A2 Adeguamento Svincolo di Eboli		
<b>UBICAZIONE:</b>	Eboli (Sa)		
<b>NOME TEST:</b>	MASW		
<b>DATA DI ESECUZIONE</b>	04/03/2021		
<b>COORDINATE</b>	Y	4495086.00 m N	
	X	504024.00 m E	

<b>GRAFICO &amp; TABELLA Vs - h</b>				
Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.00	2.00	180.00
2	2.00	11.00	9.00	230.00
3	11.00	28.80	17.80	340.00
4	28.80	inf.	inf.	423.00

Vs eq (0 - 30)	<b>285</b>
<b>Suolo</b>	<b>C</b>





# TEST REPORT

1/4

## ReMi

CLIENTE:	ANAS S.p.A.		
LAVORO:	UC16-A2 Adeguamento Svincolo di Eboli		
UBICAZIONE:	Eboli (Sa)		
NOME TEST:	MASW		
DATA DI ESECUZIONE	04/03/2021		
COORDINATE	Y	4495086.00 m N	
	X	504024.00 m E	





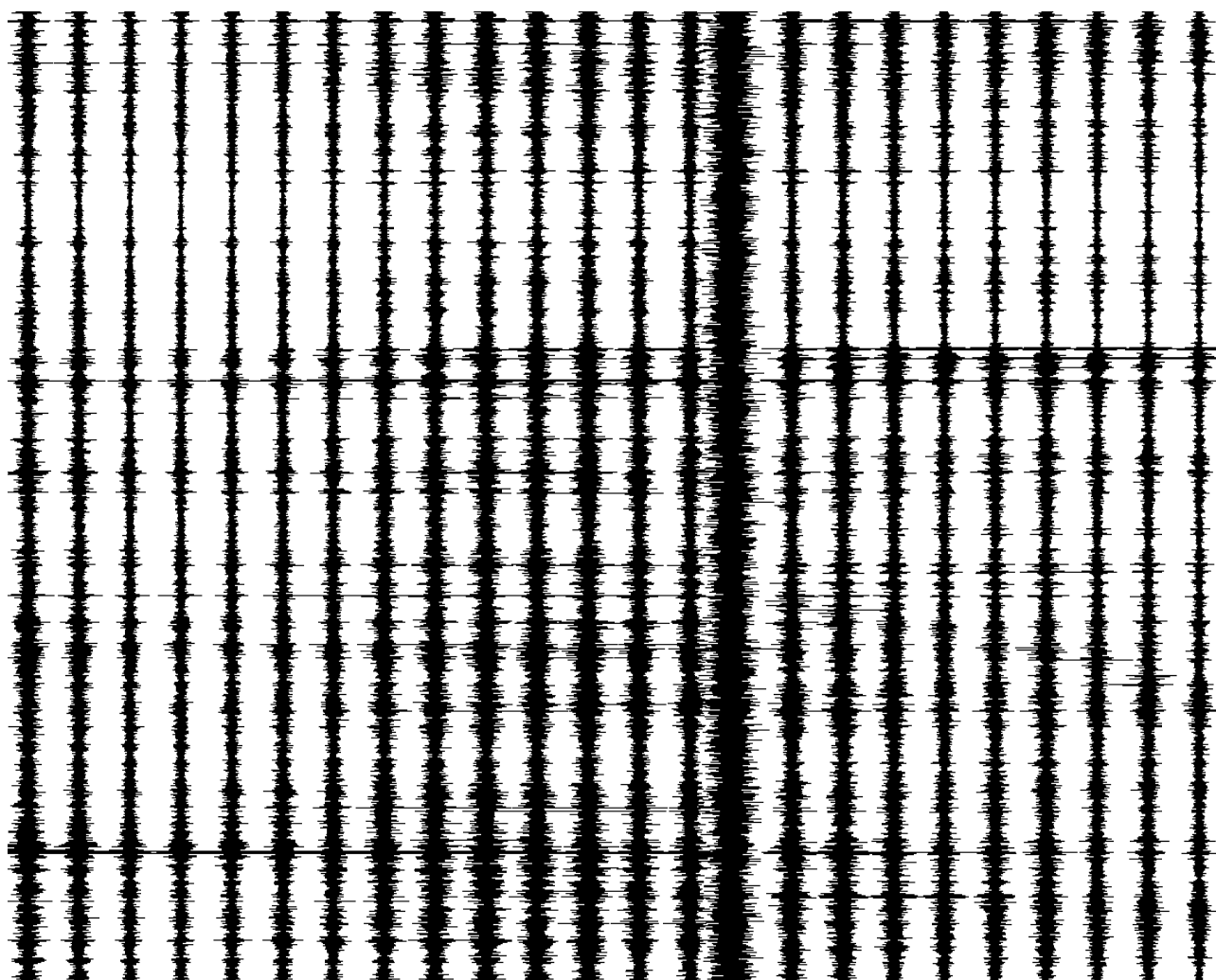
# TEST REPORT

2/4

*ReMi*

CLIENTE:	ANAS S.p.A.		
LAVORO:	UC16-A2 Adeguamento Svincolo di Eboli		
UBICAZIONE:	Eboli (Sa)		
NOME TEST:	MASW		
DATA DI ESECUZIONE	04/03/2021		
COORDINATE	Y	4495086.00 m N	
	X	504024.00 m E	

## SISMOGRAMMA





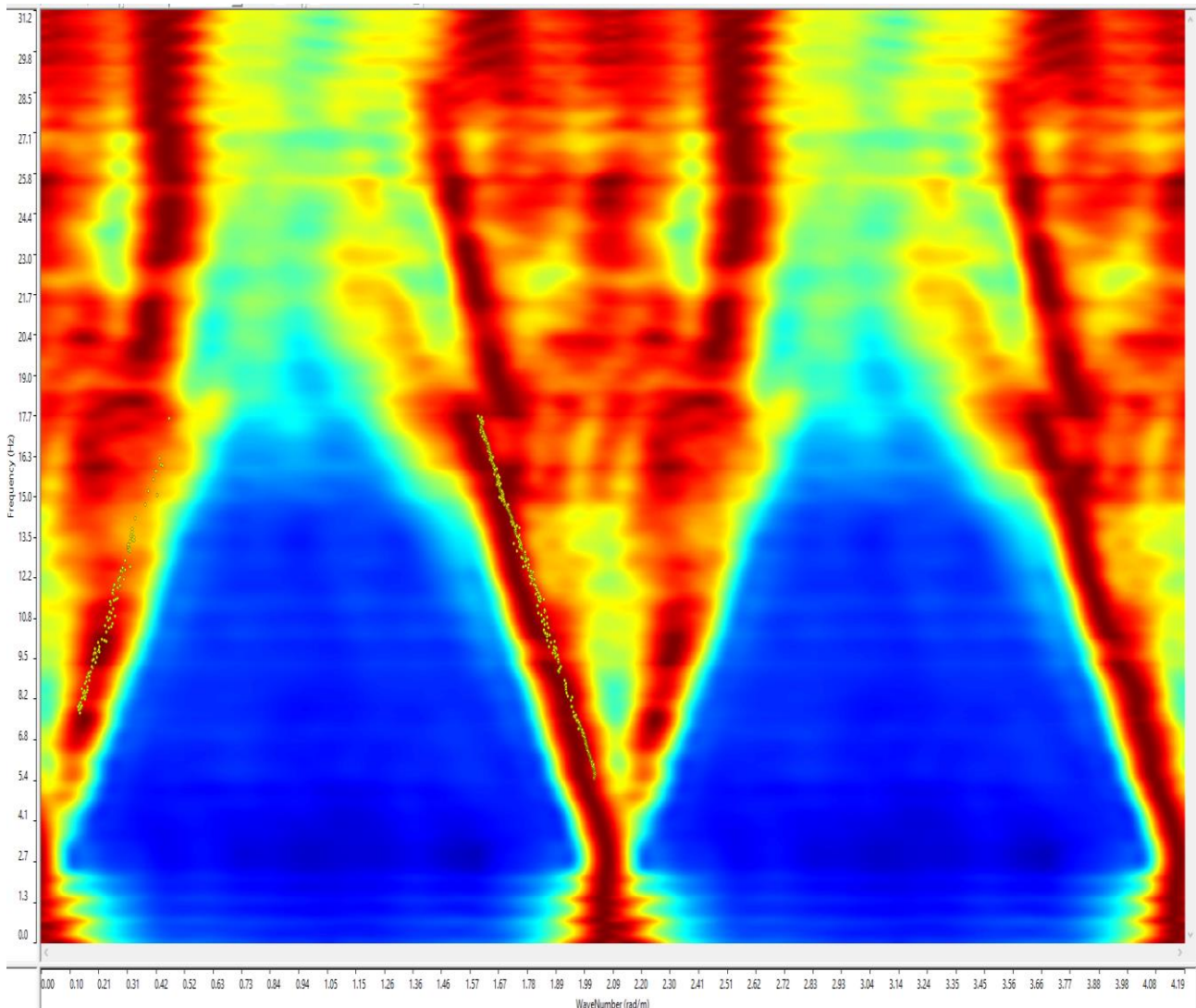
# TEST REPORT

3/4

*ReMi*

CLIENTE:	ANAS S.p.A.		
LAVORO:	UC16-A2 Adeguamento Svincolo di Eboli		
UBICAZIONE:	Eboli (Sa)		
NOME TEST:	MASW		
DATA DI ESECUZIONE	04/03/2021		
COORDINATE	Y	4495086.00 m N	
	X	504024.00 m E	

## SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





# TEST REPORT

4/4

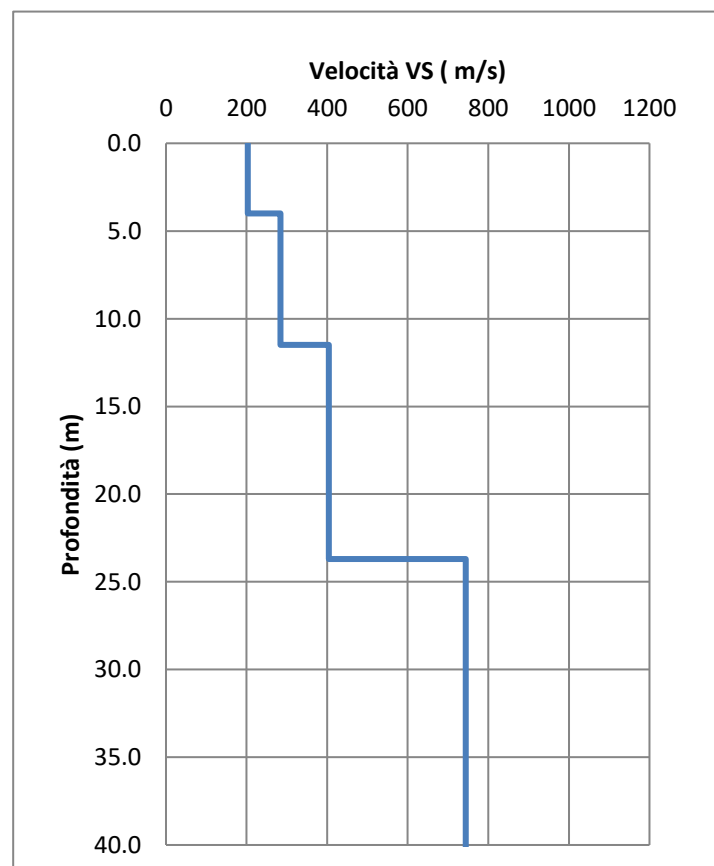
*ReMi*

CLIENTE:	ANAS S.p.A.		
LAVORO:	UC16-A2 Adeguamento Svincolo di Eboli		
UBICAZIONE:	Eboli (Sa)		
NOME TEST:	MASW		
DATA DI ESECUZIONE	04/03/2021		
COORDINATE	Y	4495086.00 m N	
	X	504024.00 m E	

## GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	4.00	4.00	203.00
2	4.00	11.50	7.50	264.00
3	4.79	23.70	18.91	391.00
4	44.00	inf	inf	503.00

<b>VS<sub>30</sub></b>	<b>275</b>
<b>Suolo</b>	<b>C</b>



# GRILLA20 4-MAR-2021 18-43-17 140, EBOLI HVSR 01

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 10:33:14 End recording: 04/03/21 10:57:14

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 100% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

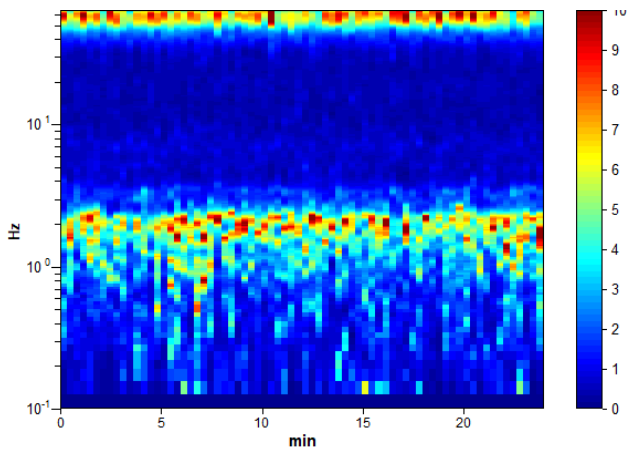
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

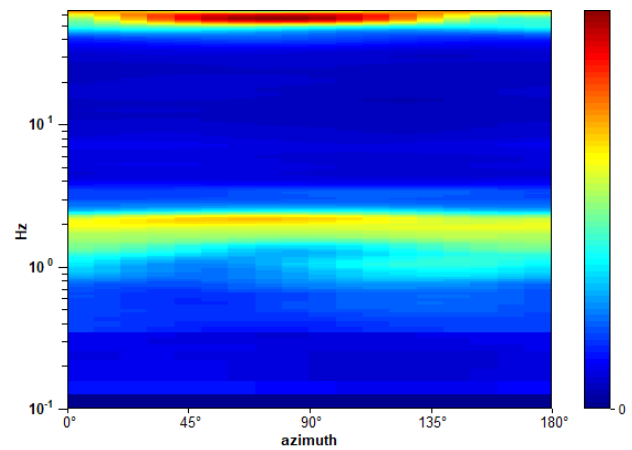
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

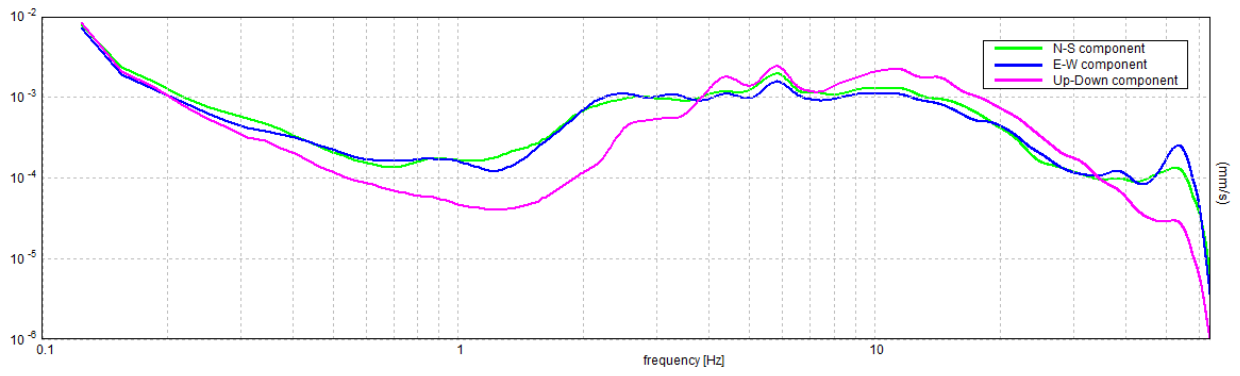
H/V TIME HISTORY



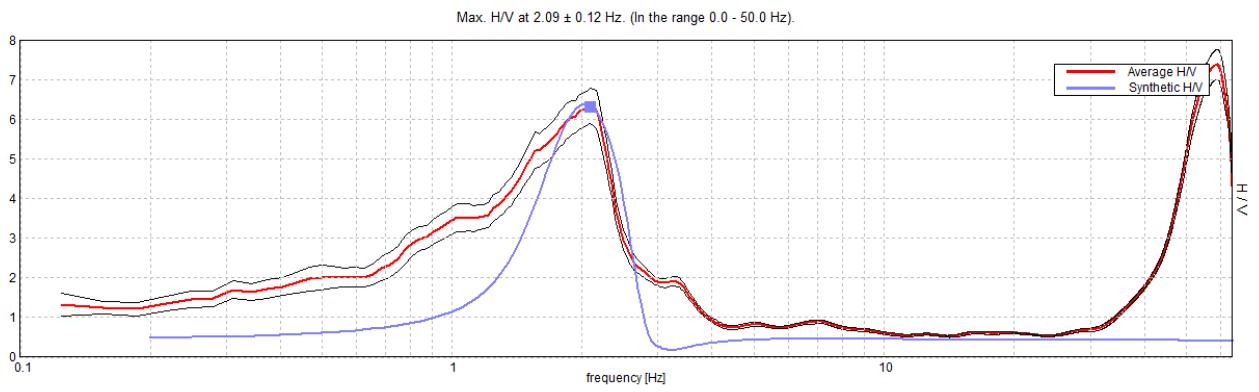
DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V





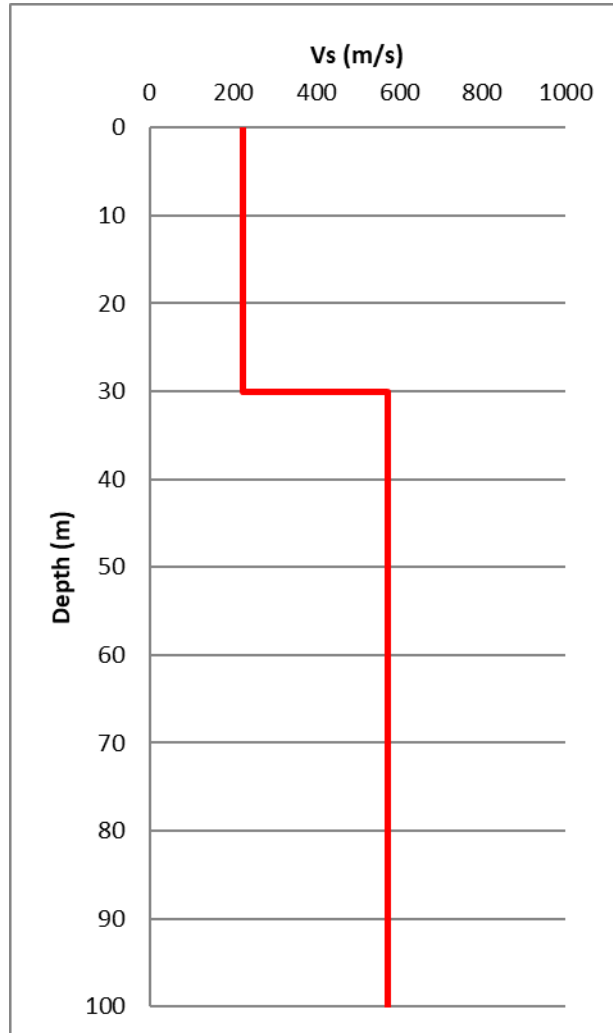
**Depth at the bottom of the layer [m]**  
30.00  
inf.

**Thickness [m]**  
30.00  
inf.

**Vs [m/s]**  
225  
573

**Poisson ratio**  
0.42  
0.42

Vs\_eq(0.0-30.0)=225m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 2.09 ± 0.12 Hz (in the range 0.0 - 50.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	2.09 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	3015.0 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 102 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	0.875 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	2.469 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	6.33 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.05823  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.12192 < 0.10469$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.4532 < 1.58$	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**GRILLA21 4-MAR-2021 18-43-41 650, EBOLI HVSR 02**

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 11:00:52 End recording: 04/03/21 11:24:52

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 100% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

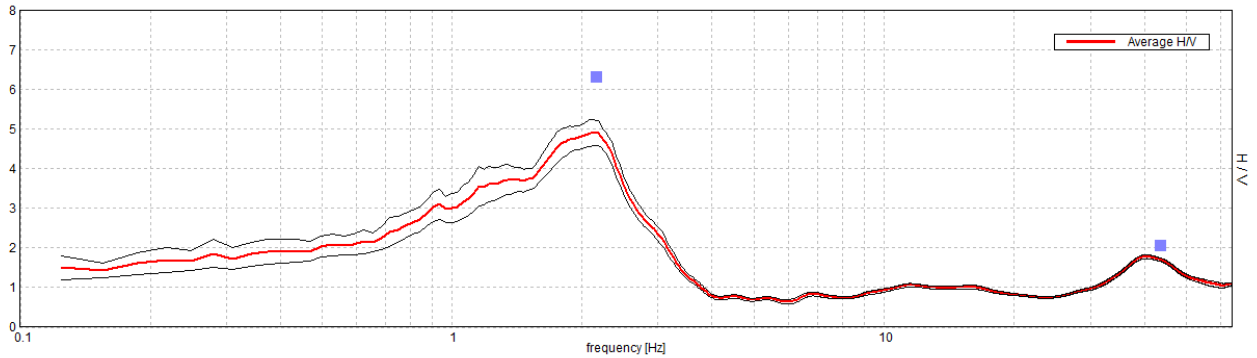
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

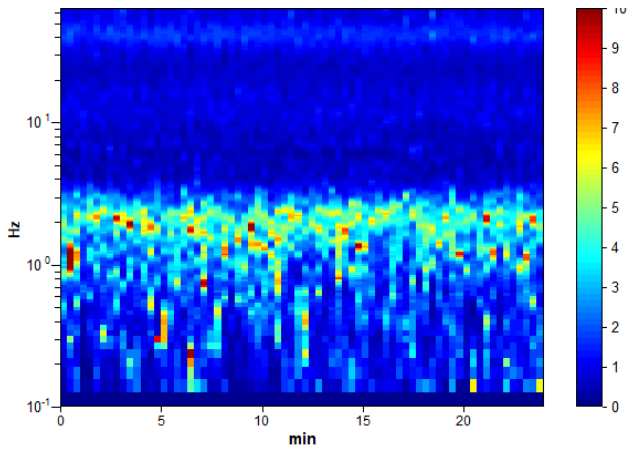
Smoothing: 10%

**HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO**

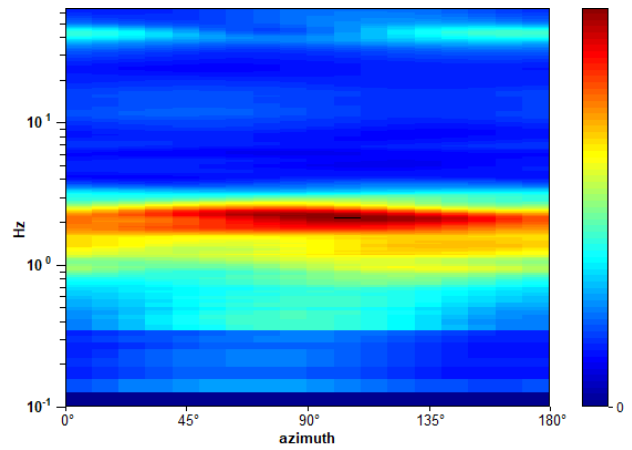
Max. H/V at  $2.13 \pm 0.26$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



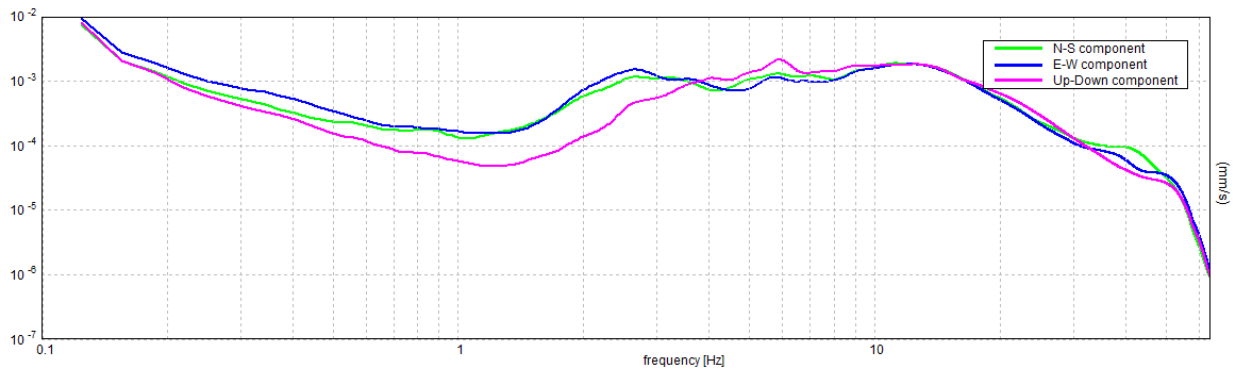
**H/V TIME HISTORY**



**DIRECTIONAL H/V**

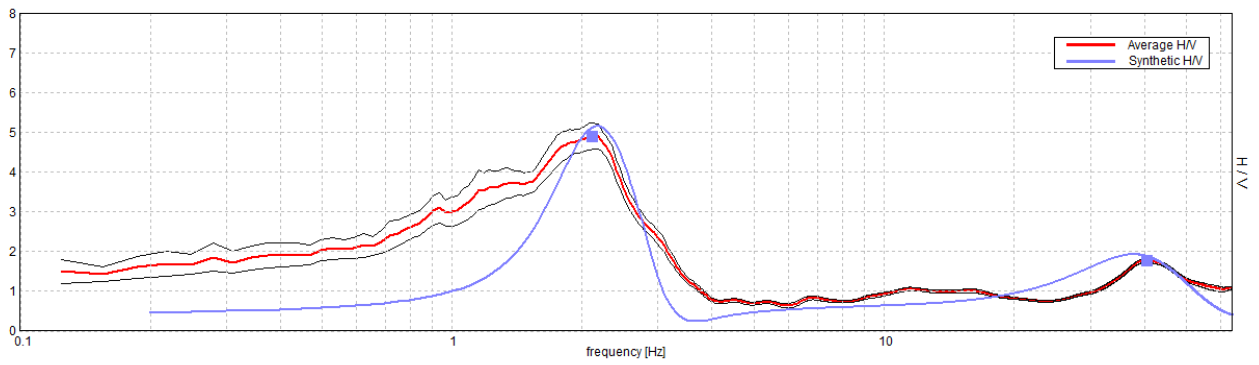


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $2.13 \pm 0.26$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



**Depth at the bottom of the layer [m]**

0.80  
27.80  
inf.

**Thickness [m]**

0.80  
27.00  
inf.

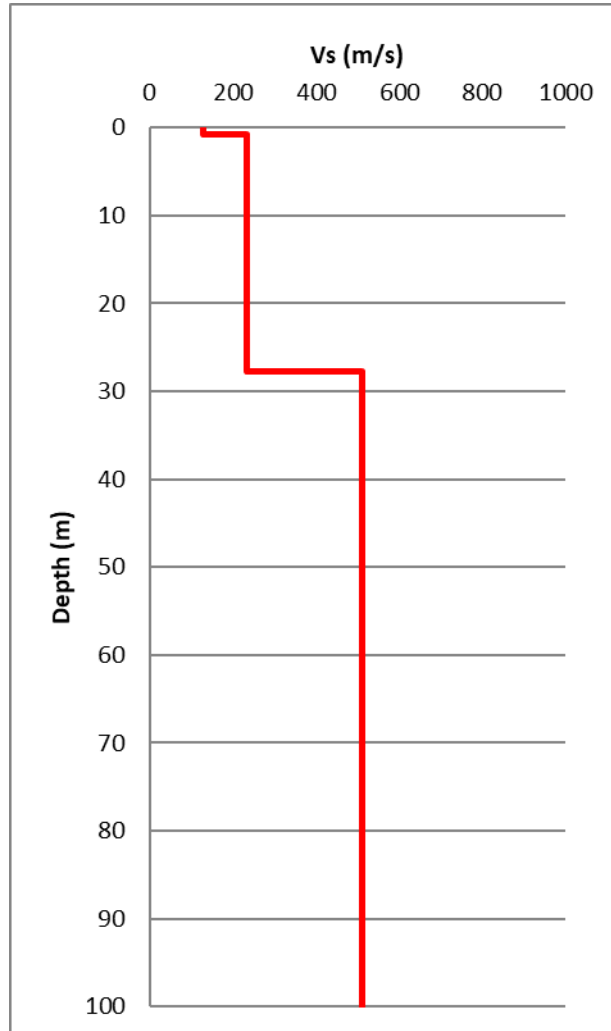
**Vs [m/s]**

129  
233  
511

**Poisson ratio**

0.45  
0.45  
0.45

Vs\_eq(0.0-30.0)=237 m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 2.13 ± 0.26 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	2.13 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3060.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 103 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.719 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.90 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.1227  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.26073 < 0.10625$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3307 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA22 4-MAR-2021 18-44-02 302, EBOLI HVSR 03

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 11:28:41 End recording: 04/03/21 11:52:41

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 100% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

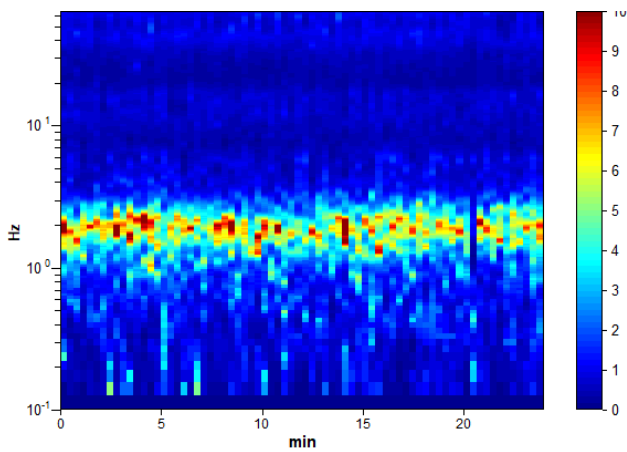
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

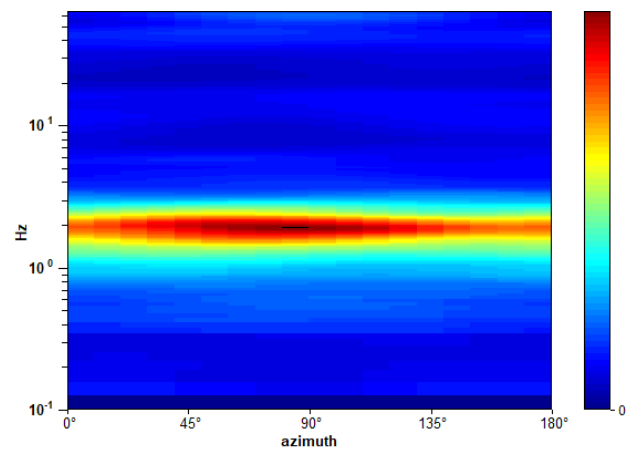
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

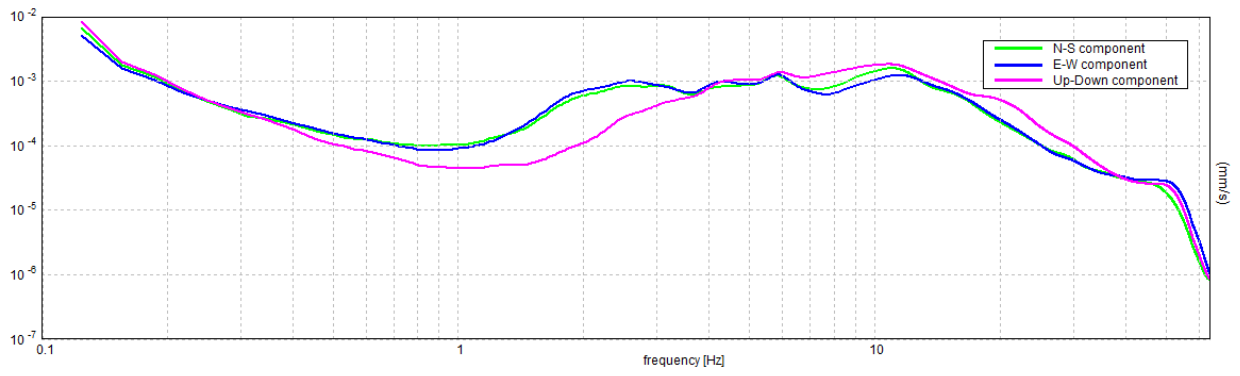
H/V TIME HISTORY



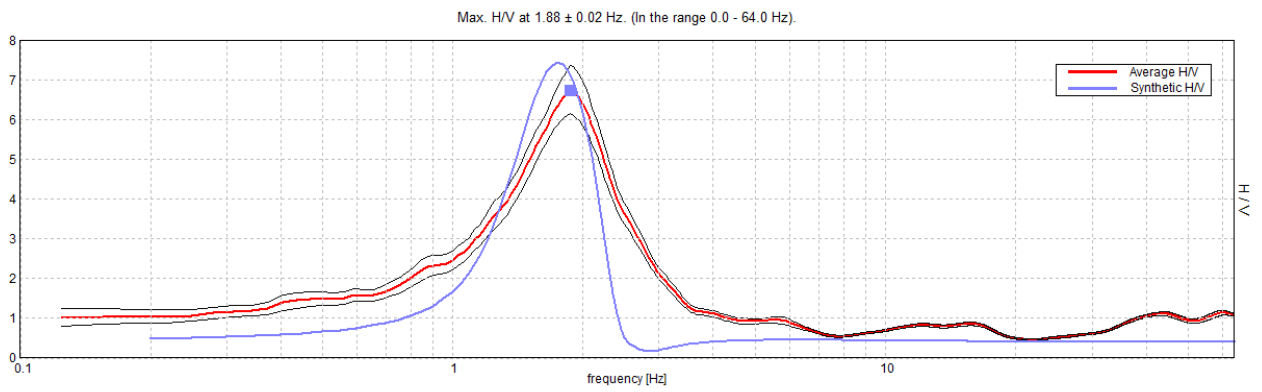
DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V





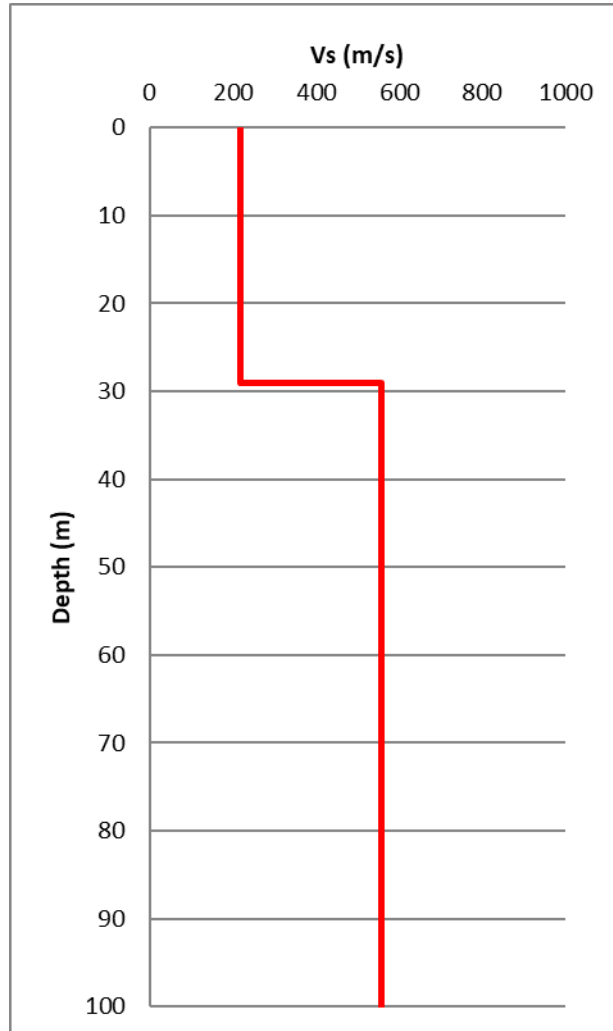
**Depth at the bottom of the layer [m]**  
29.00  
inf.

**Thickness [m]**  
29.00  
inf.

**Vs [m/s]**  
218  
556

**Poisson ratio**  
0.45  
0.45

Vs\_eq(0.0-30.0)=223m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 1.88 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.88 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	2700.0 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 91 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.188 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	2.594 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	6.75 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.00921  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	0.01727 < 0.1875	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	0.6031 < 1.78	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA23 4-MAR-2021 18-44-23 447, EBOLI HVSR 04

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 11:55:38 End recording: 04/03/21 12:19:38

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 99% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

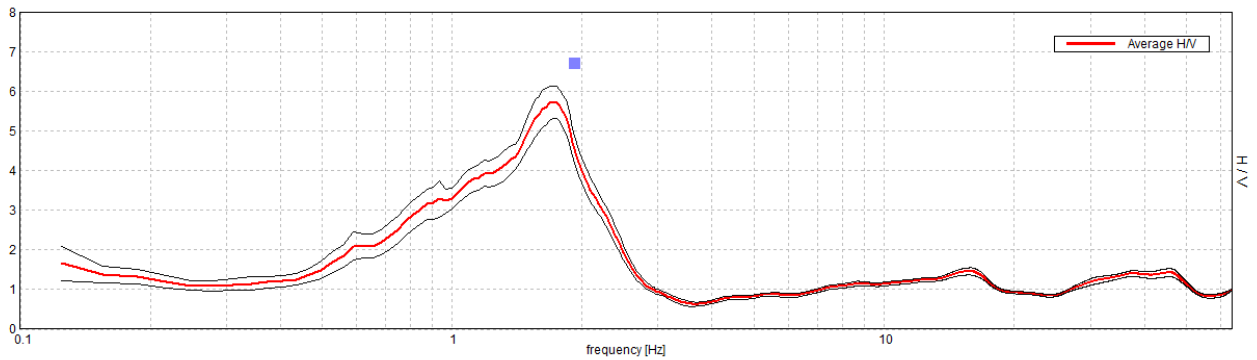
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

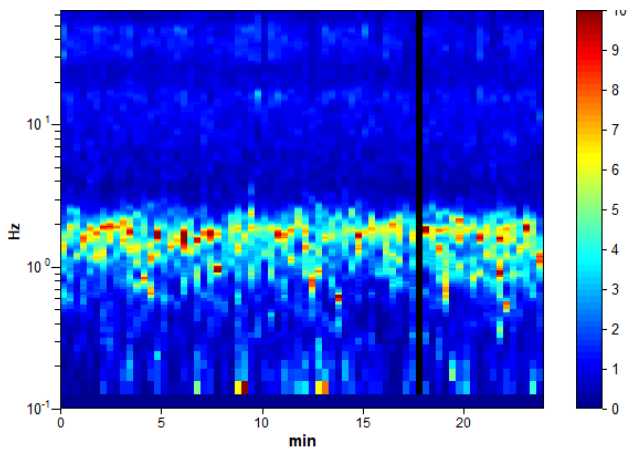
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

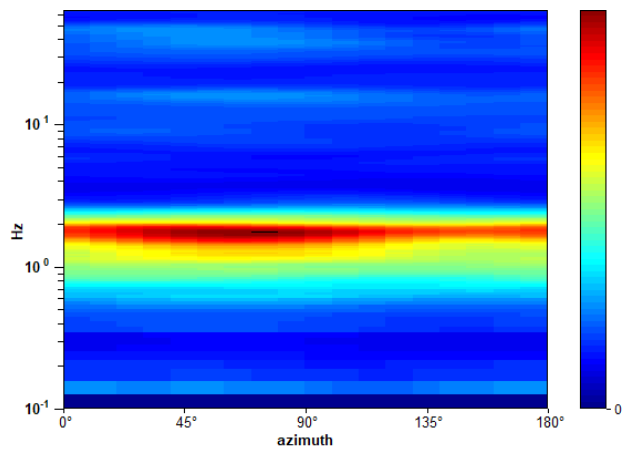
Max. H/V at  $1.72 \pm 0.08$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



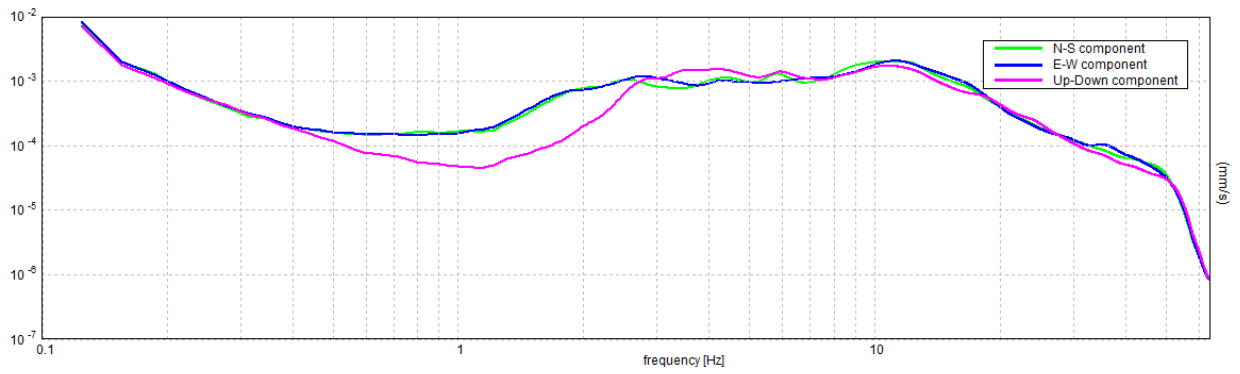
## H/V TIME HISTORY



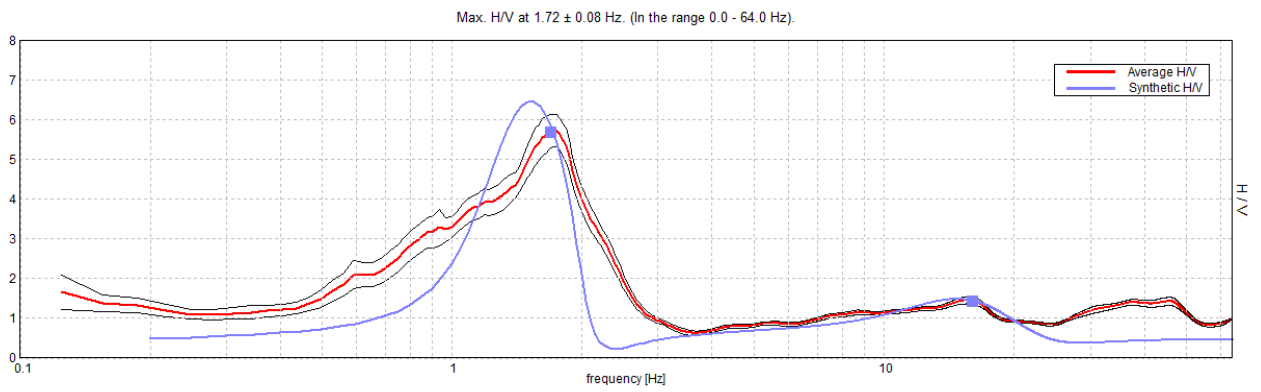
## DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

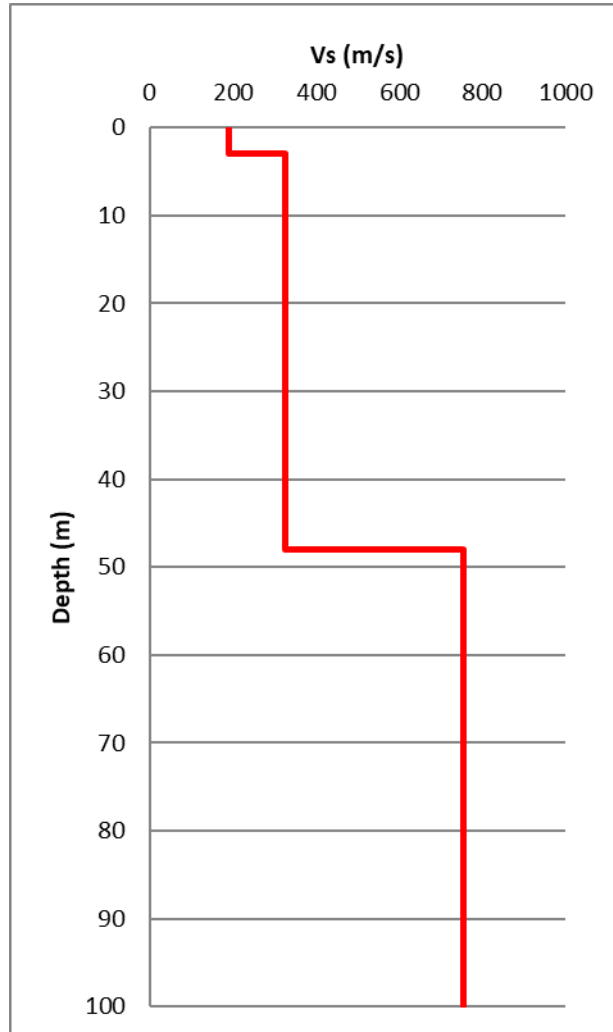


### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	192	0.42
48.00	45.00	326	0.42
inf.	inf.	755	0.45

Vs\_eq(0.0-30.0)=305m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 1.72 ± 0.08 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	1.72 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	2440.6 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 84 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.781 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.281 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.73 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04868  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.08367 < 0.17188$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4096 < 1.78$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA24 4-MAR-2021 18-44-45 157, EBOLI HVSR 05

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 12:23:39 End recording: 04/03/21 12:47:39

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 97% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

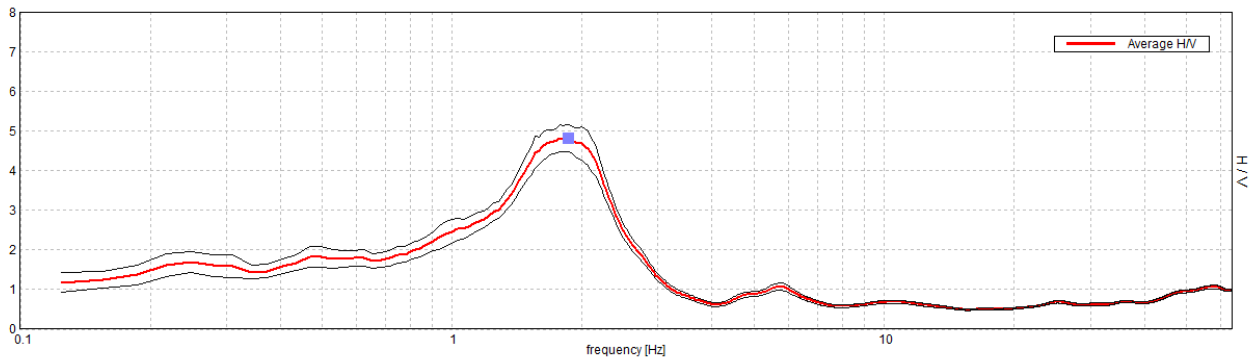
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

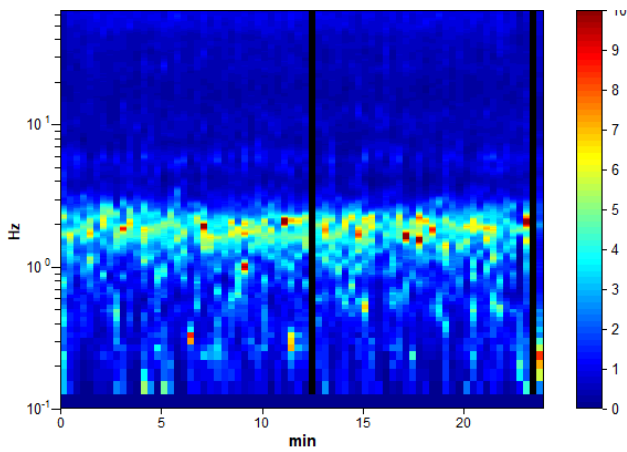
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

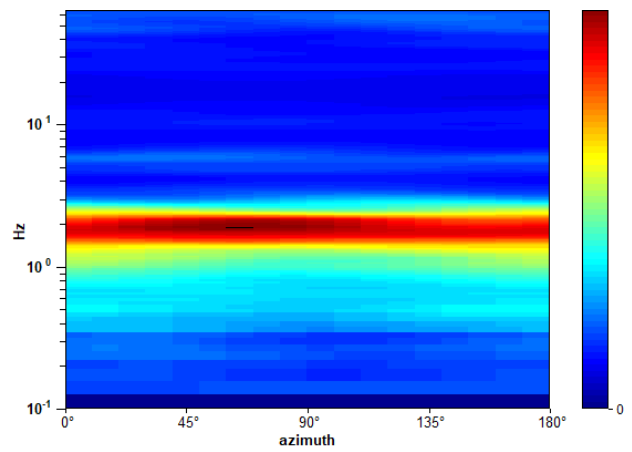
Max. H/V at  $1.88 \pm 0.18$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



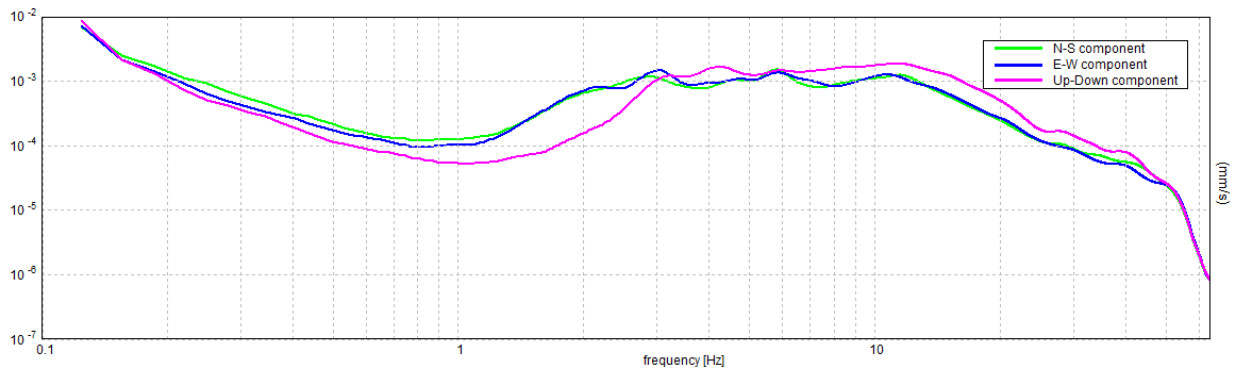
## H/V TIME HISTORY



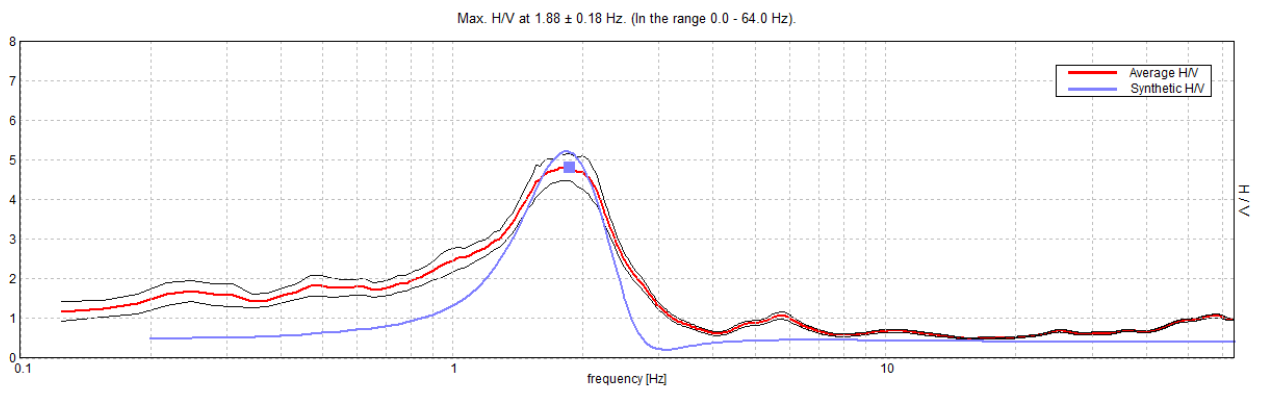
## DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V





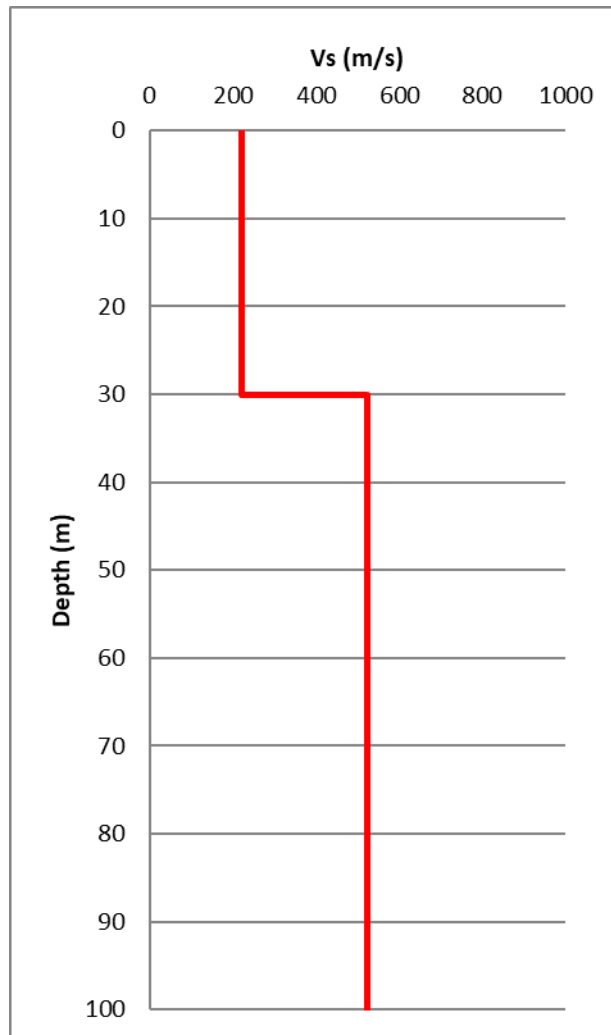
**Depth at the bottom of the layer [m]**  
30.00  
inf.

**Thickness [m]**  
30.00  
inf.

**Vs [m/s]**  
223  
524

**Poisson ratio**  
0.45  
0.45

$V_{s\_eq}(0.0-30.0)=223\text{m/s}$



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $1.88 \pm 0.18$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.88 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	2625.0 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 91 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	0.969 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	2.531 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	4.82 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.09763  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	0.18306 < 0.1875	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	0.3512 < 1.78	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA25 4-MAR-2021 18-45-04 401, EBOLI HVSR 06

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 12:56:28 End recording: 04/03/21 13:20:28

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 100% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

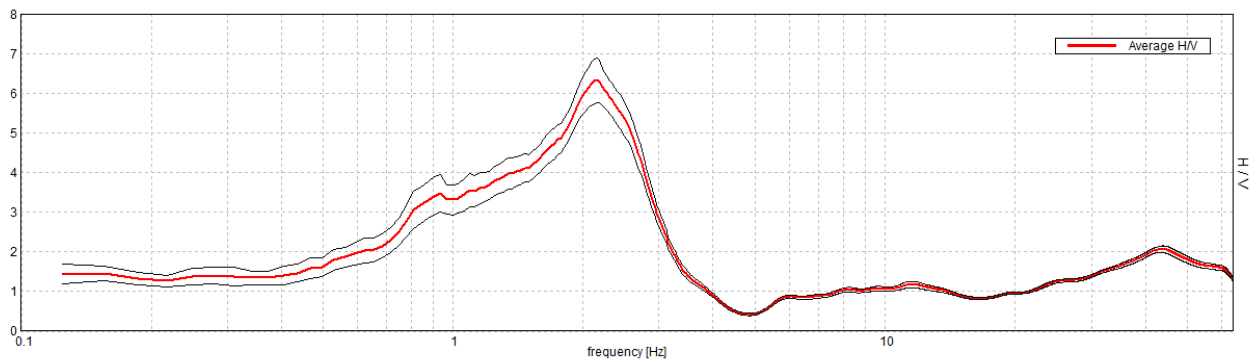
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

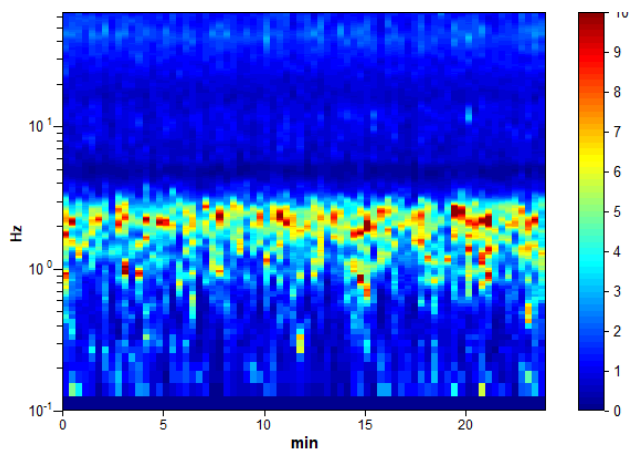
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

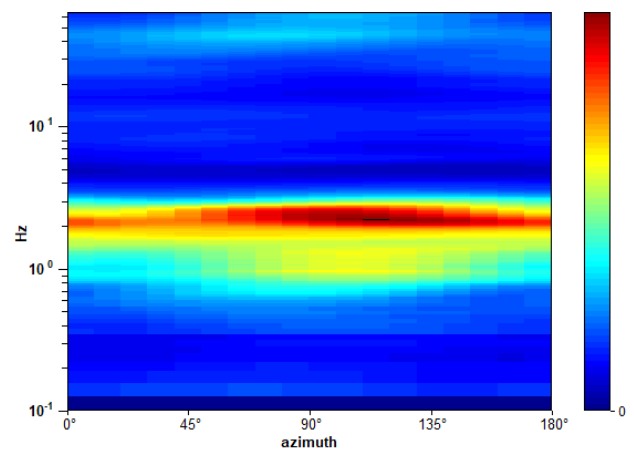
Max. H/V at  $2.16 \pm 0.06$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



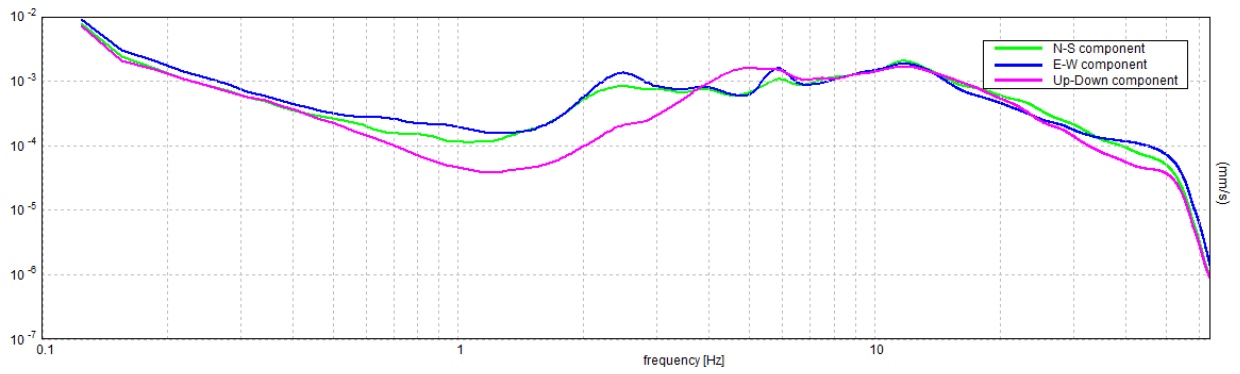
## H/V TIME HISTORY



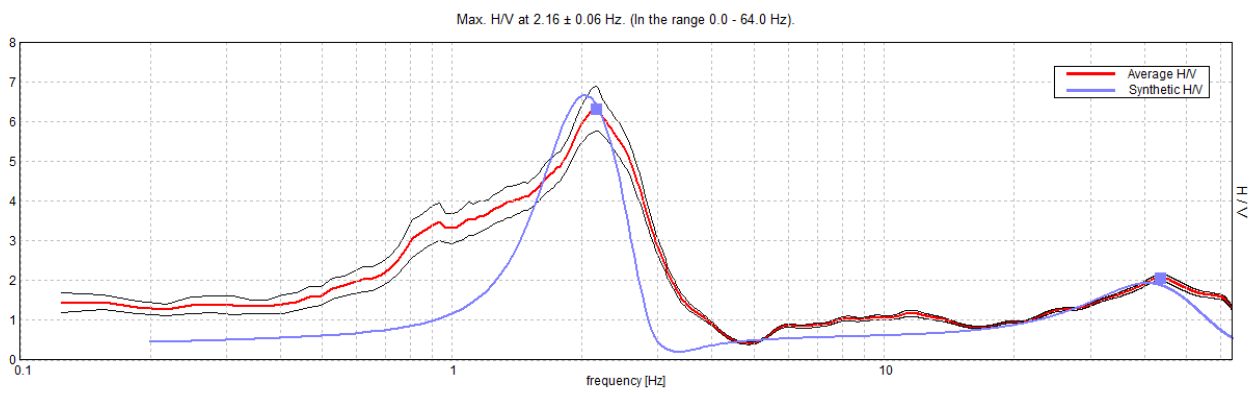
## DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA

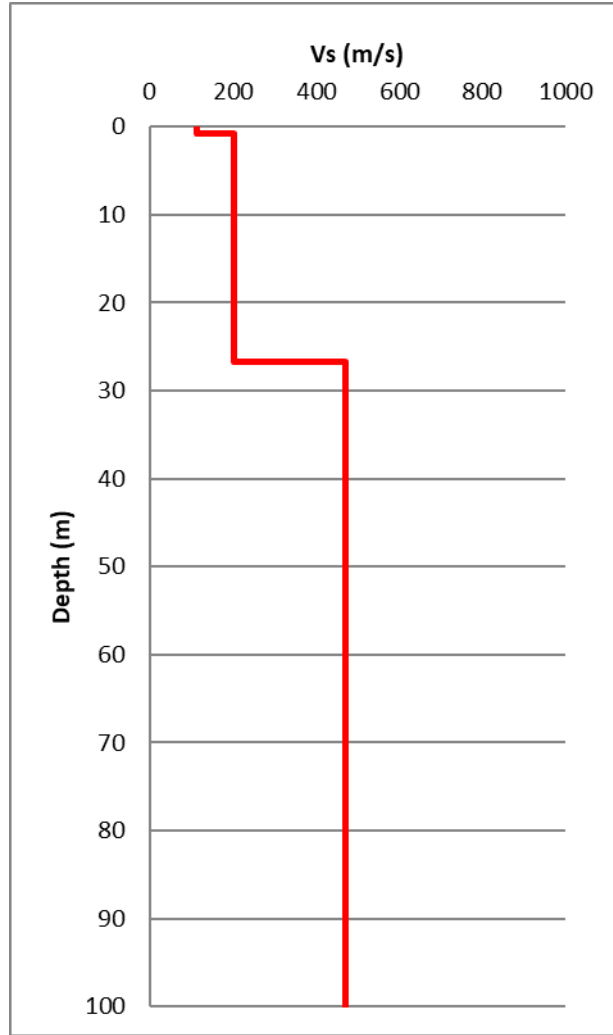


### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.70	0.70	113	0.45
26.70	26.00	204	0.45
inf.	inf.	471	0.45

$V_{s\_eq}(0.0-30.0)=216$  m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 2.16 ± 0.06 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	2.16 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3105.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 104 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.813 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.938 Hz	OK	
$A_0 > 2$	6.32 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02695  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.05811 < 0.10781$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.556 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA26 4-MAR-2021 18-45-24 631, EBOLI HVSR 07

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 13:23:45 End recording: 04/03/21 13:47:45

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 100% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

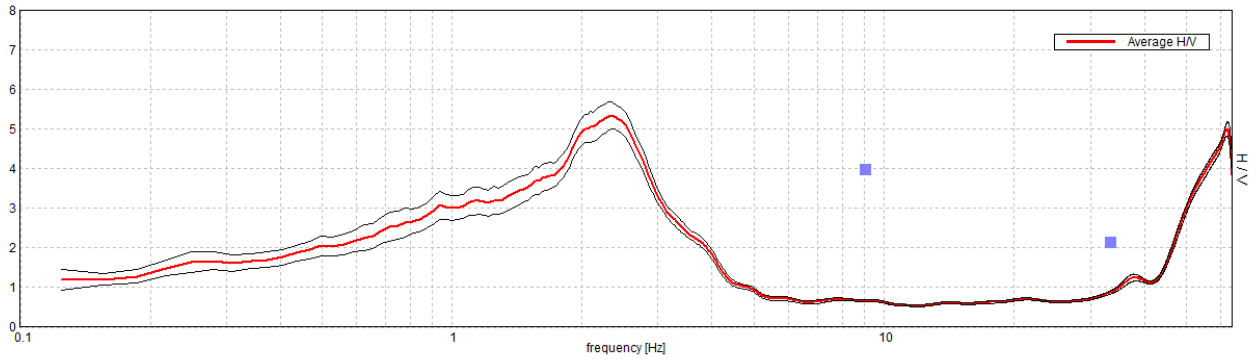
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

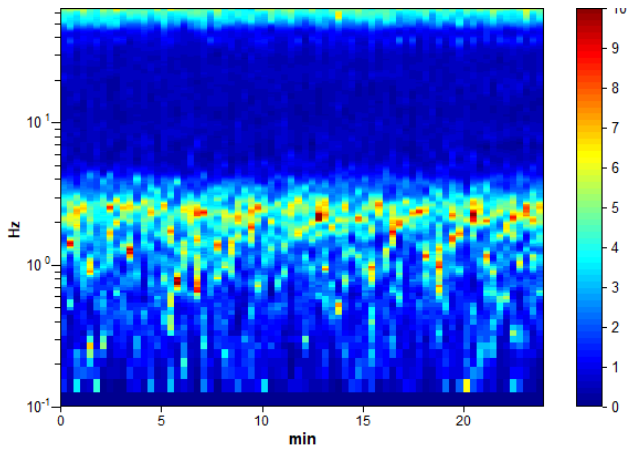
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

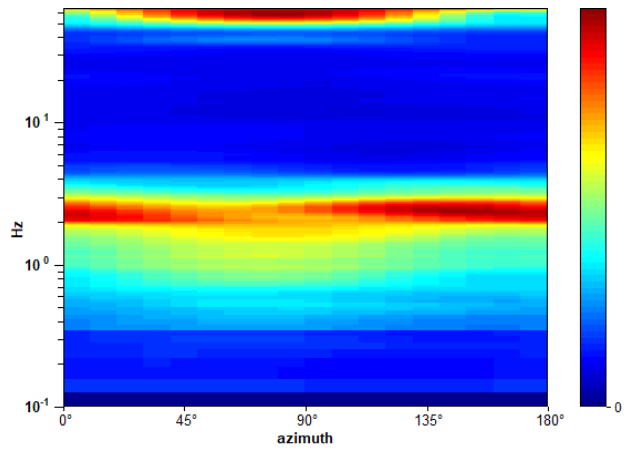
Max. H/V at  $2.34 \pm 7.03$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



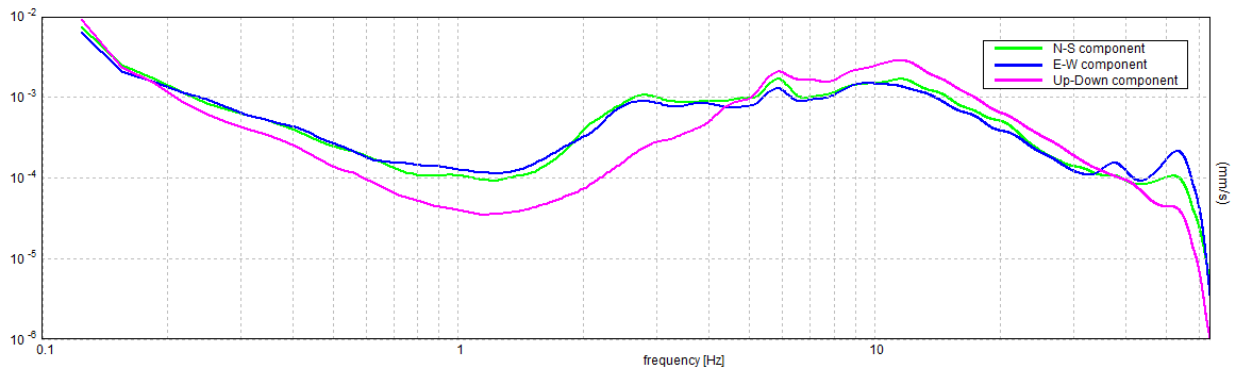
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V

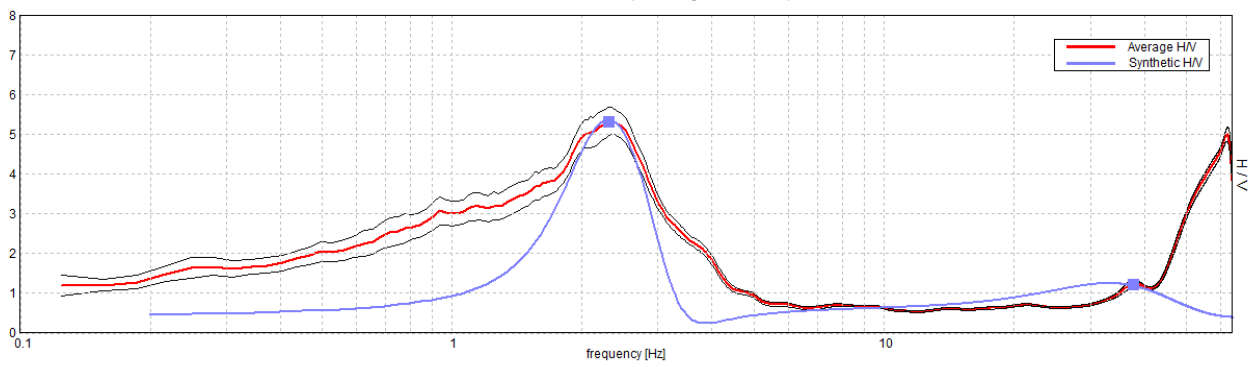


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $2.34 \pm 7.03$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).





Depth at the bottom of the layer [m]

1.00  
27.00  
inf.

Thickness [m]

1.00  
26.00  
inf.

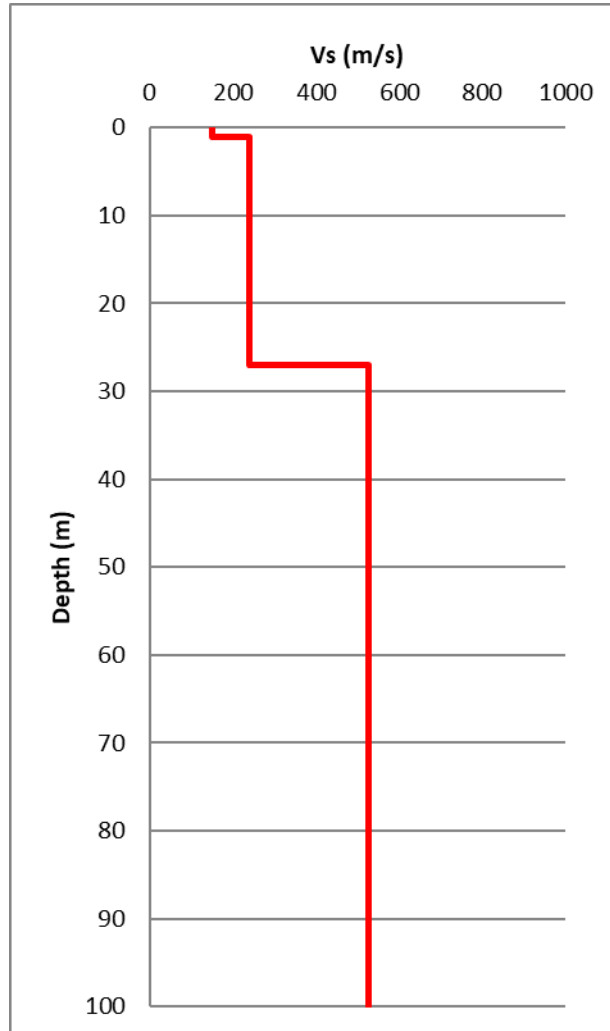
Vs [m/s]

151  
239  
527

Poisson ratio

0.45  
0.45  
0.45

Vs\_eq(0.0-30.0)=247 m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 2.34 ± 7.03 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	2.34 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	3375.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 114 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.813 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.34 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 2.99874  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$7.02829 < 0.11719$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3321 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA27 4-MAR-2021 18-45-49 25, EBOLI HVSR 08

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 13:50:57 End recording: 04/03/21 14:14:57

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 100% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

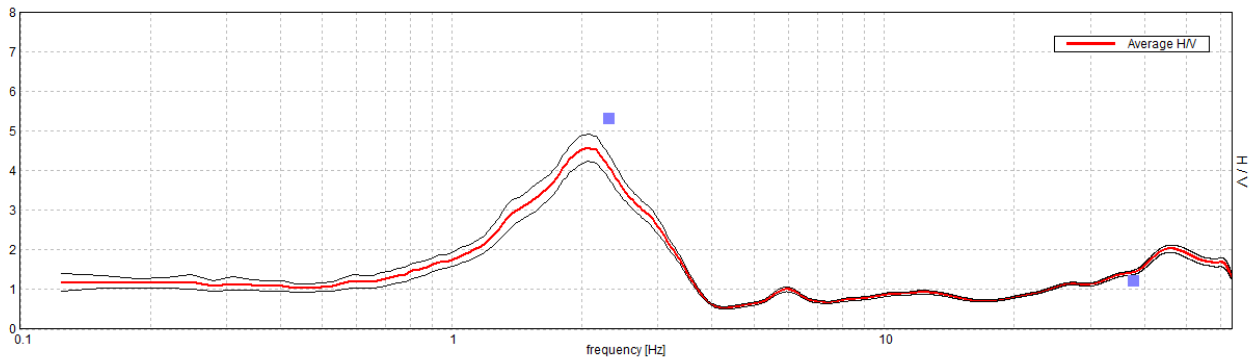
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

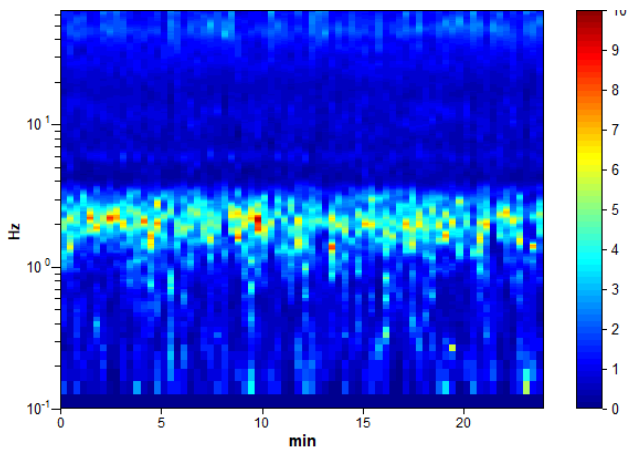
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

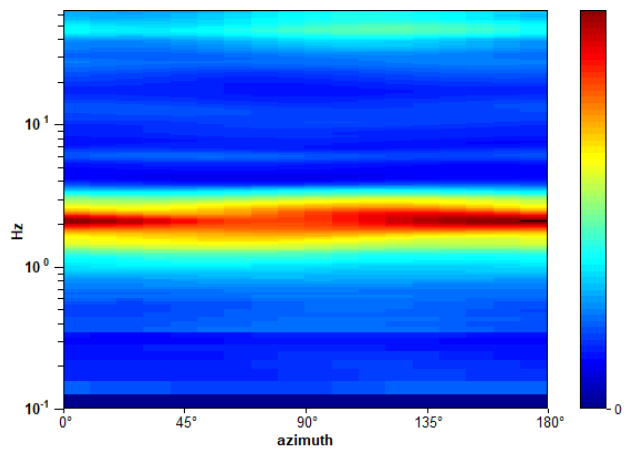
Max. H/V at  $2.06 \pm 0.05$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



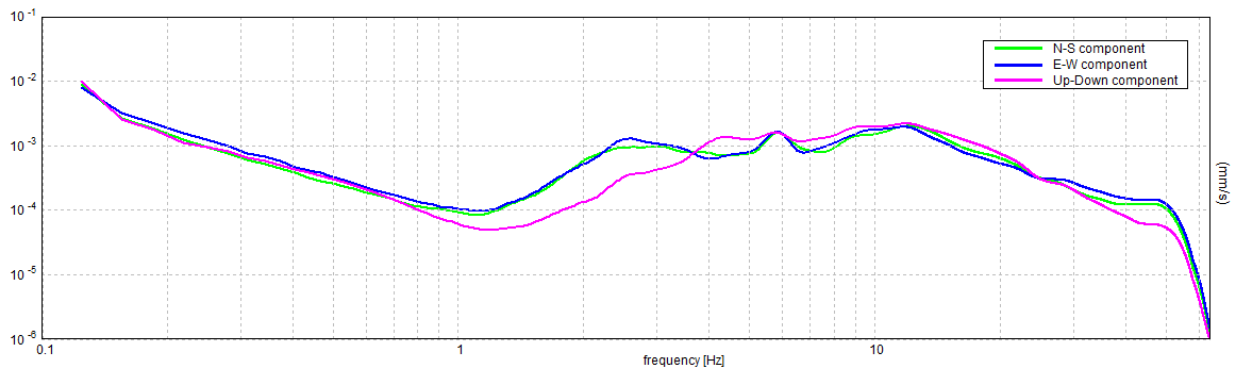
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V

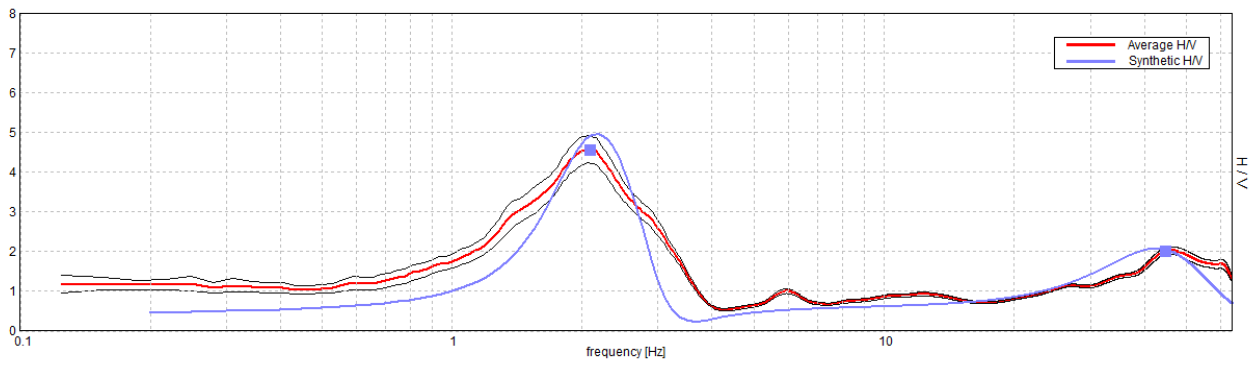


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



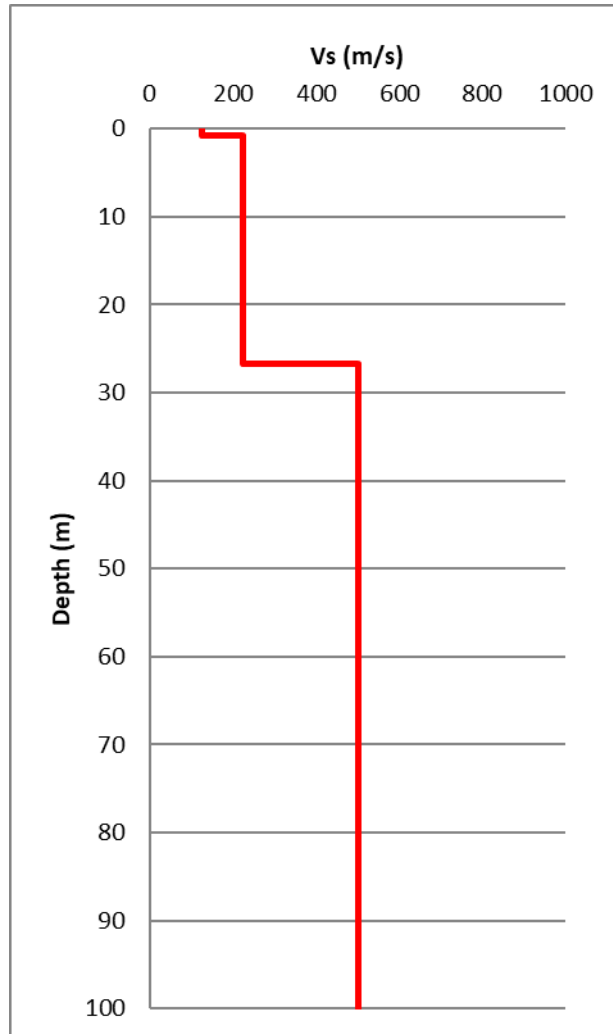
### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 2.06 ± 0.05 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.70	0.70	125	0.45
26.70	26.00	224	0.45
inf.	inf.	501	0.45

$V_{s\_eq}(0.0-30.0)=234 \text{ m/s}$



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 2.06 ± 0.05 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	2.06 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	2970.0 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 100 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.219 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	3.156 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	4.57 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.02667  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	0.055 < 0.10313	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	0.3461 < 1.58	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA28 4-MAR-2021 18-46-09 780, EBOLI HVSR 09

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 14:17:24 End recording: 04/03/21 14:41:24

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 99% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

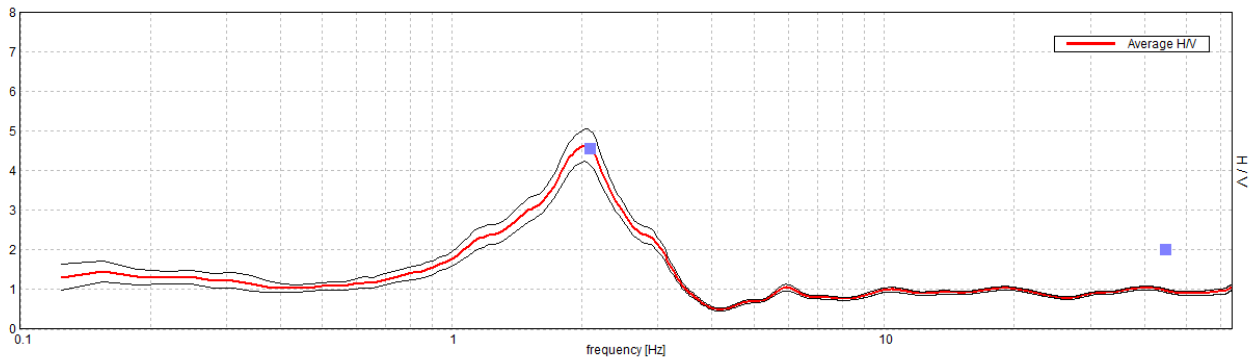
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

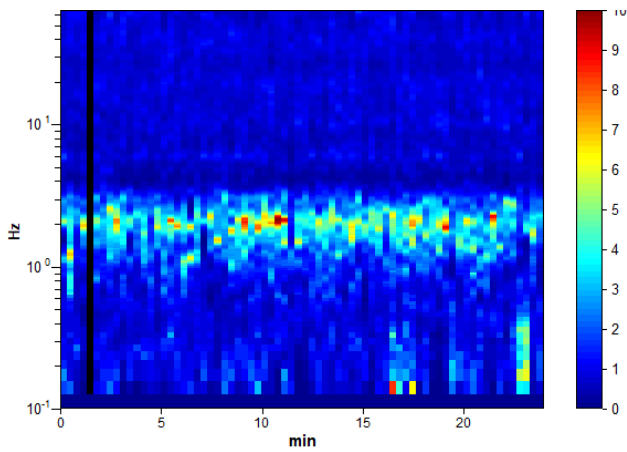
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

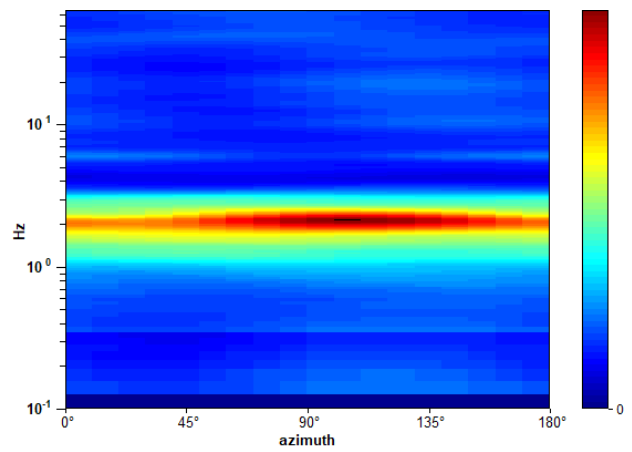
Max. H/V at  $2.03 \pm 0.03$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



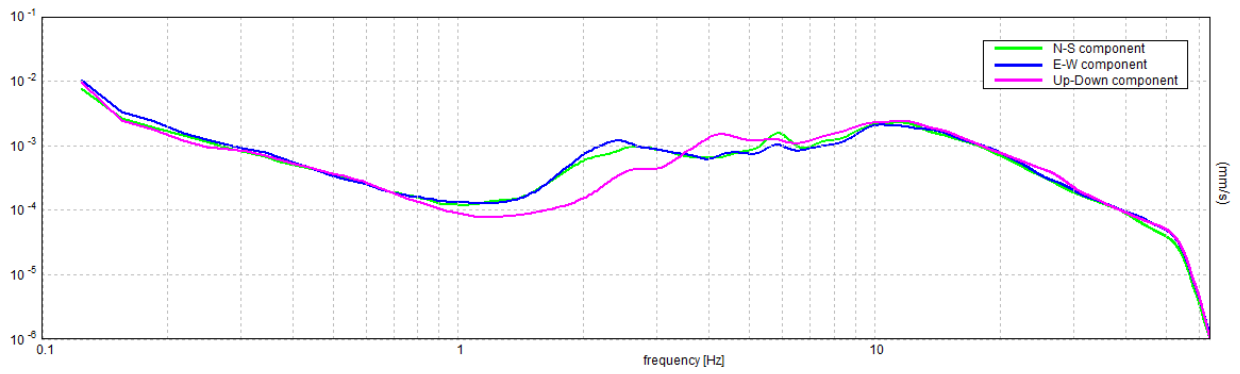
## H/V TIME HISTORY



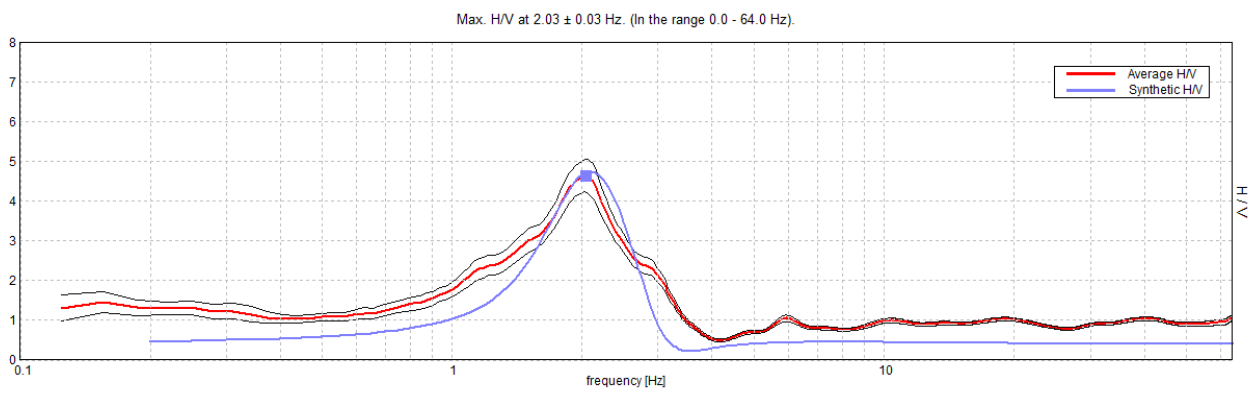
## DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V





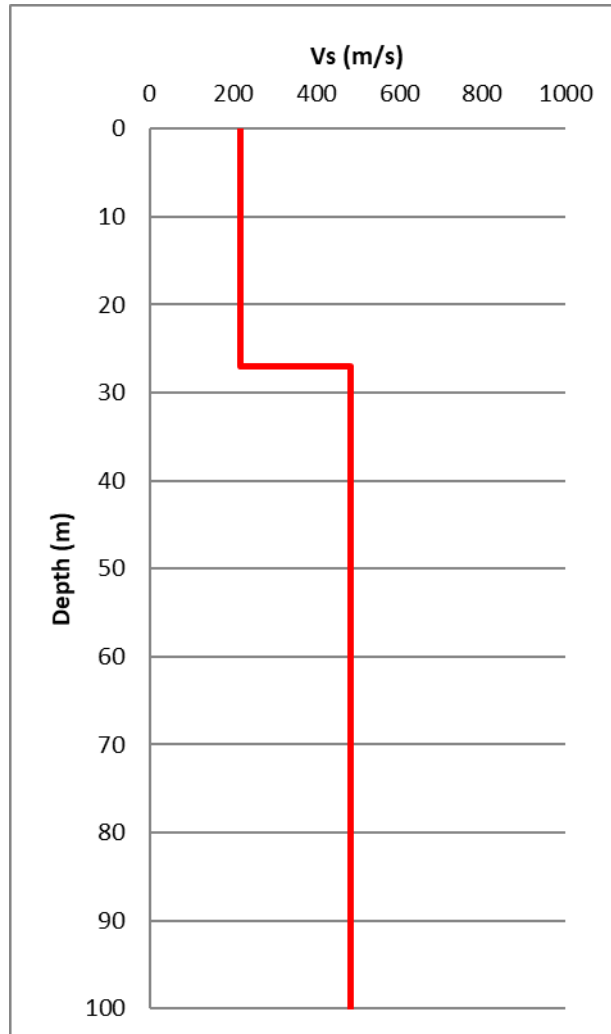
**Depth at the bottom of the layer [m]**  
27.00  
inf.

**Thickness [m]**  
27.00  
inf.

**Vs [m/s]**  
220  
483

**Poisson ratio**  
0.45  
0.45

$V_{s\_eq}(0.0-30.0)=288$  m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 2.03 ± 0.03 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	2.03 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	2884.4 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 98 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.156 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	2.906 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	4.63 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.01304  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	0.02649 < 0.10156	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	0.4075 < 1.58	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA29 4-MAR-2021 18-46-33 817, EBOLI HVSR 10

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 14:43:08 End recording: 04/03/21 15:07:08

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 97% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

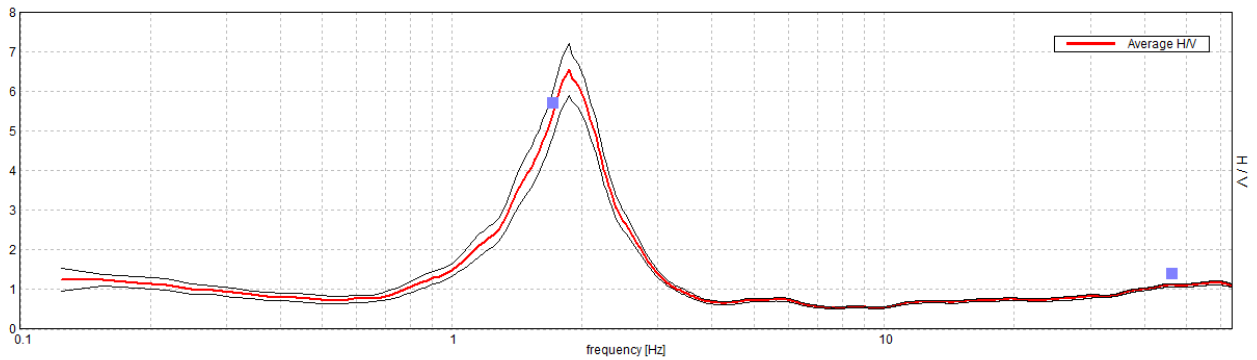
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

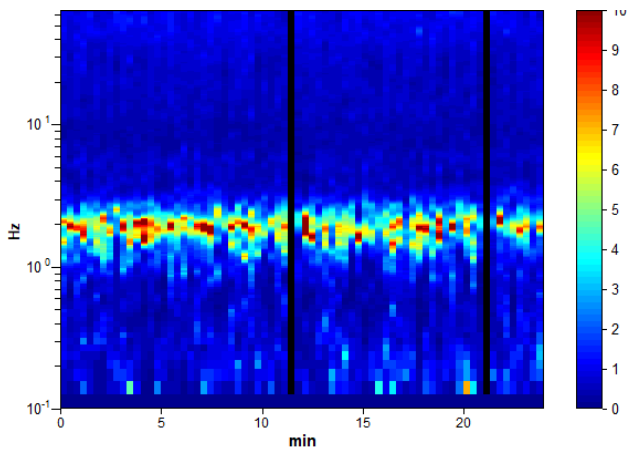
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

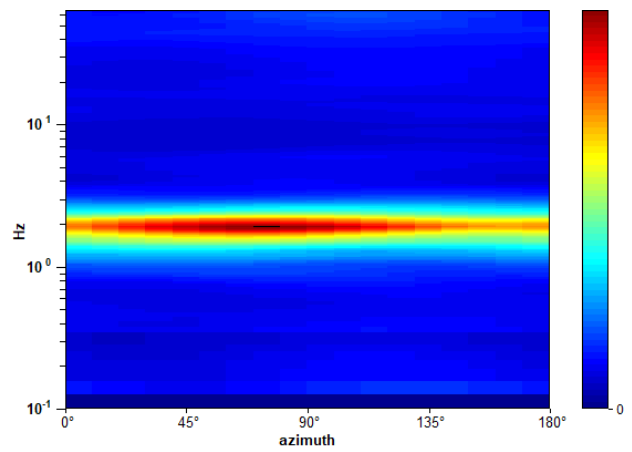
Max. H/V at  $1.88 \pm 0.02$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



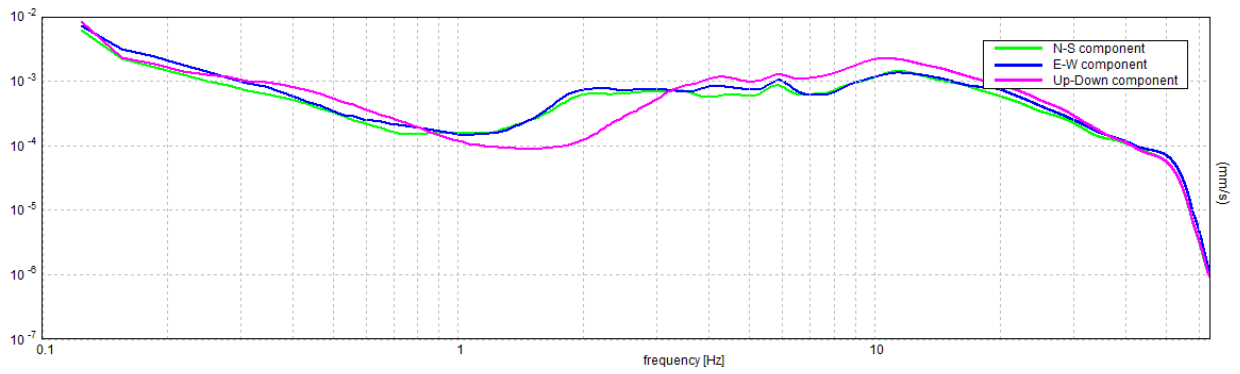
## H/V TIME HISTORY



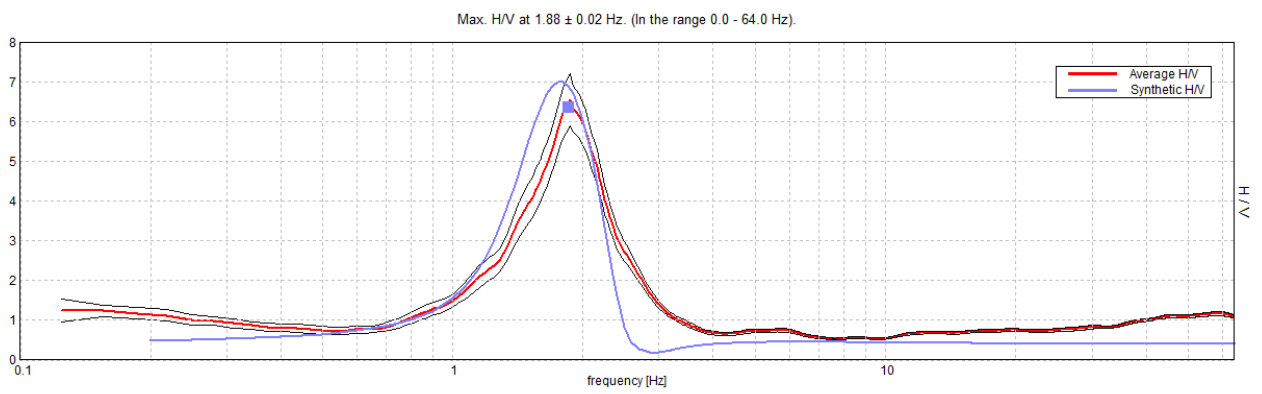
## DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



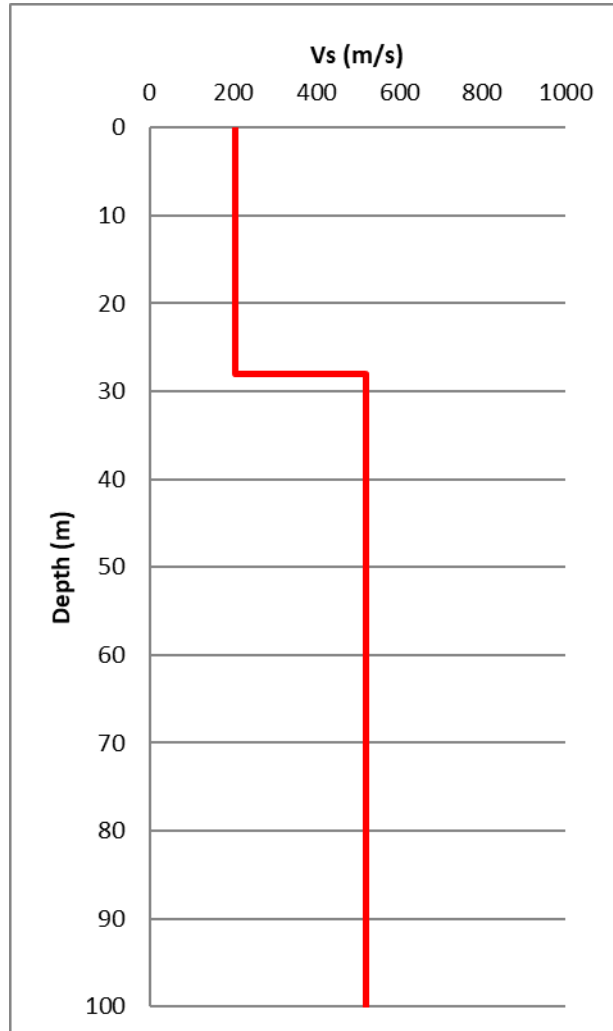
**Depth at the bottom of the layer [m]**  
28.00  
inf.

**Thickness [m]**  
28.00  
inf.

**Vs [m/s]**  
207  
520

**Poisson ratio**  
0.45  
0.45

$V_{s\_eq}(0.0-30.0)=272$  m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 1.88 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.88 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	2625.0 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 91 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.375 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	2.375 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	6.55 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.01306  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.02449 < 0.1875$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.6584 < 1.78$	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA30 4-MAR-2021 18-46-50 562, EBOLI HVSR 11

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 15:11:19 End recording: 04/03/21 15:35:19

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 100% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

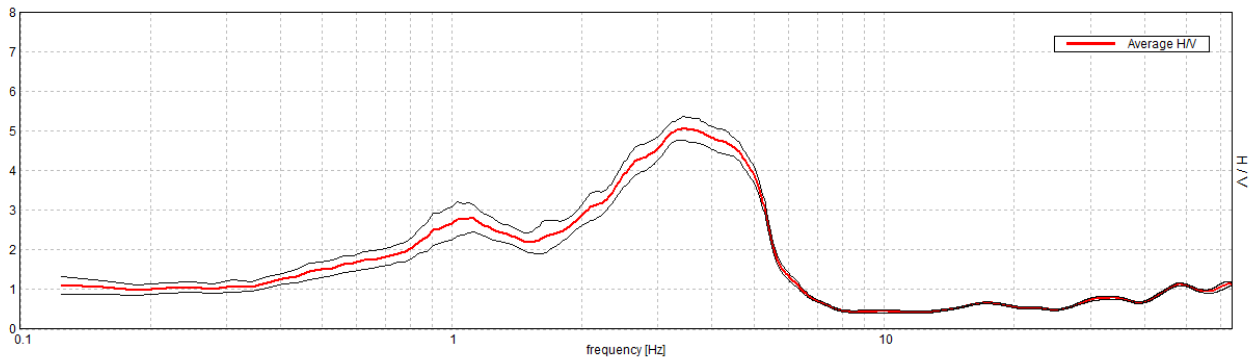
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

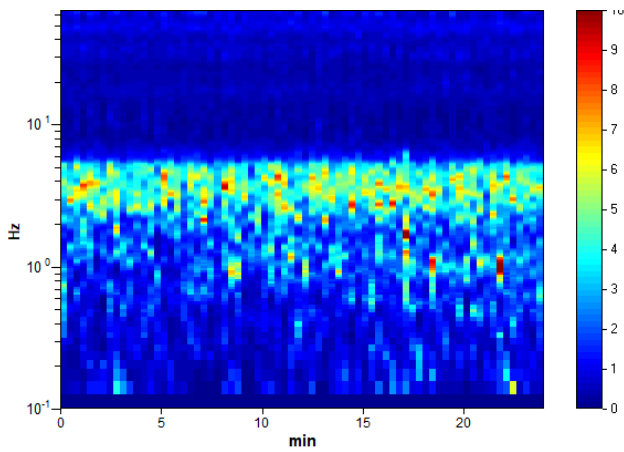
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

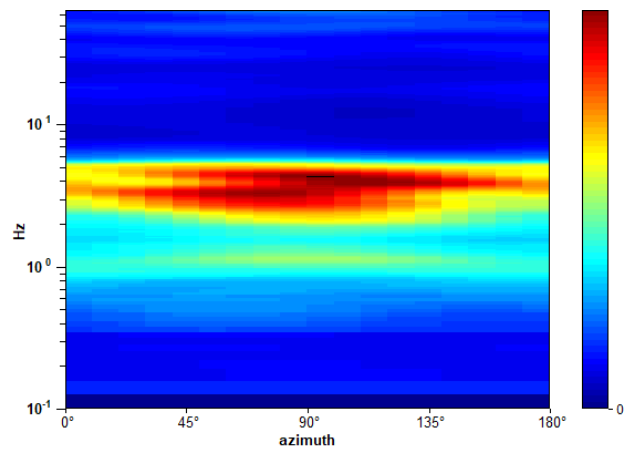
Max. H/V at  $3.44 \pm 0.25$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



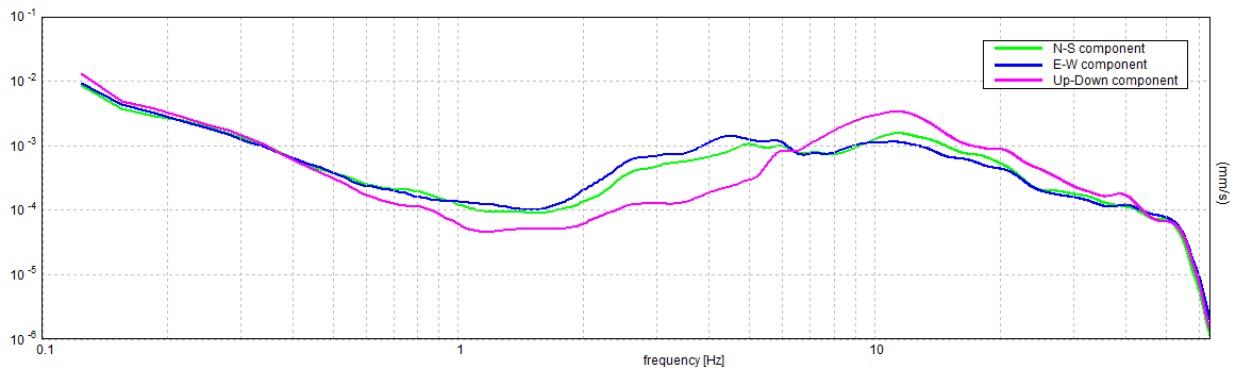
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V

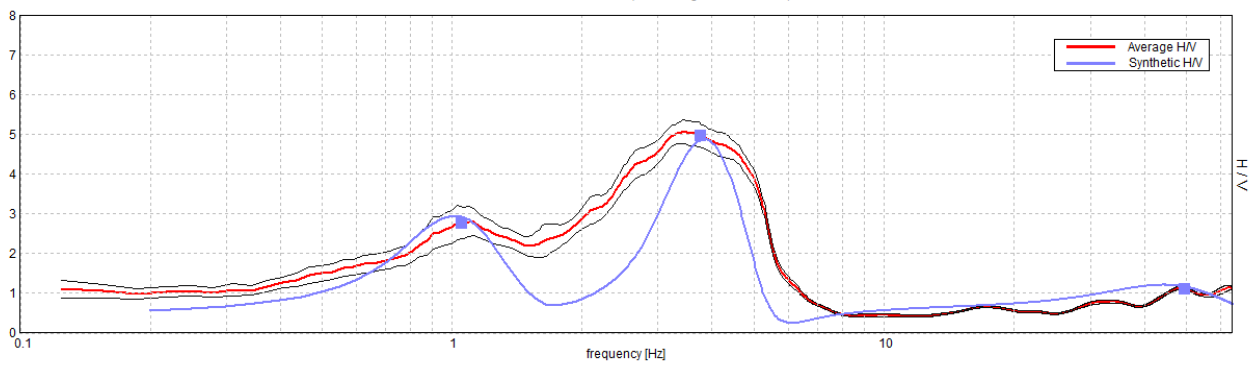


# SINGLE COMPONENT SPECTRA



# EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

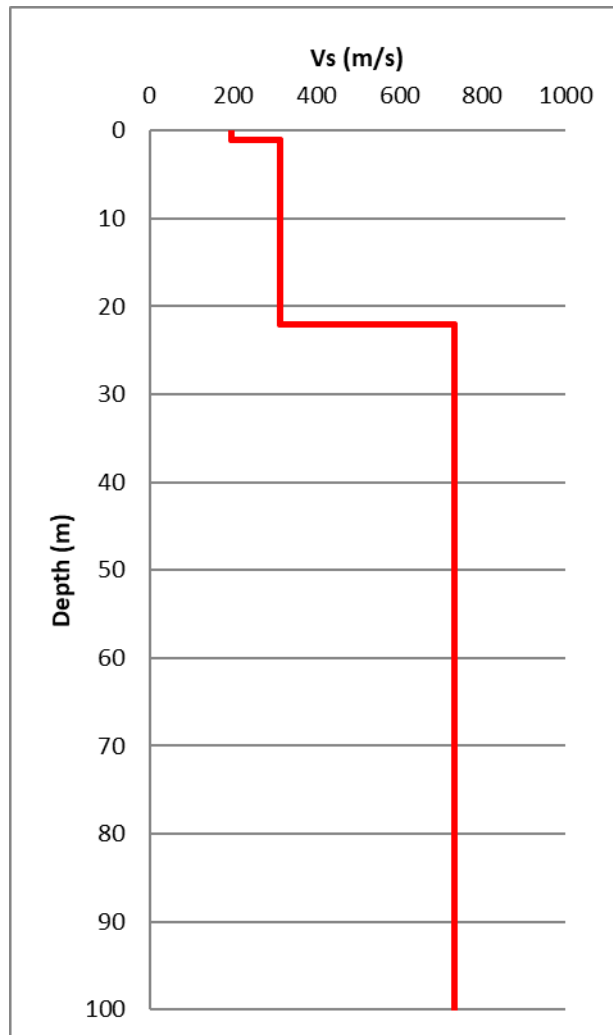
Max. H/V at  $3.44 \pm 0.25$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).





Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	197	0.42
22.00	21.00	314	0.42
182.00	160.00	732	0.42
inf.	inf.	1331	0.42

Vs\_eq(0.0-30.0)=362m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 3.44 ± 0.25 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	3.44 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	4950.0 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 166 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.844 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	5.438 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	5.06 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.07185  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	0.247 < 0.17188		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	0.301 < 1.58	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA31 4-MAR-2021 18-47-08 781, EBOLI HVSR 12

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 15:37:47 End recording: 04/03/21 16:01:47

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analysis performed on the entire trace.

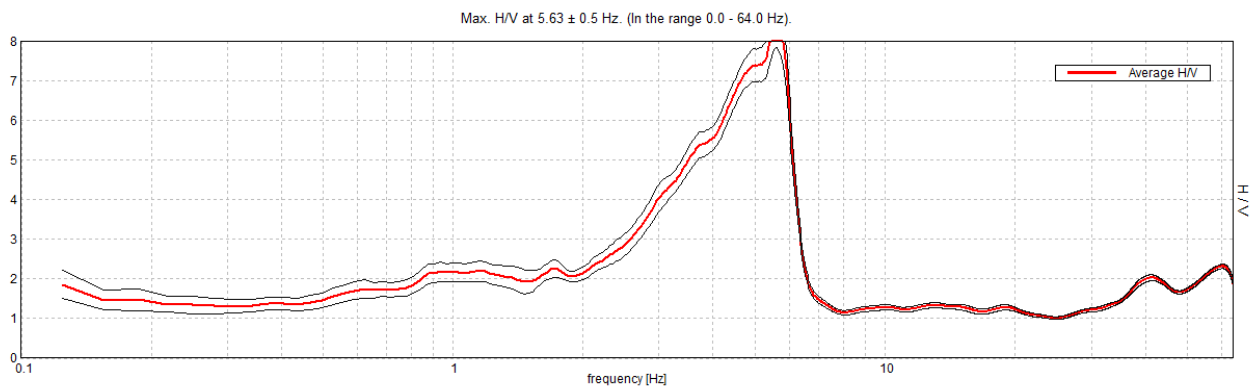
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

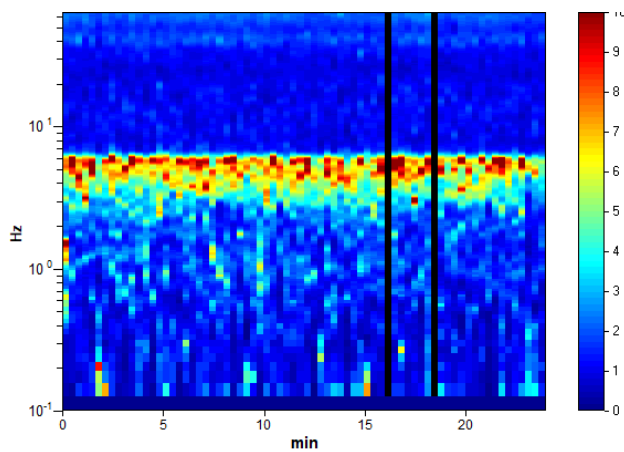
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

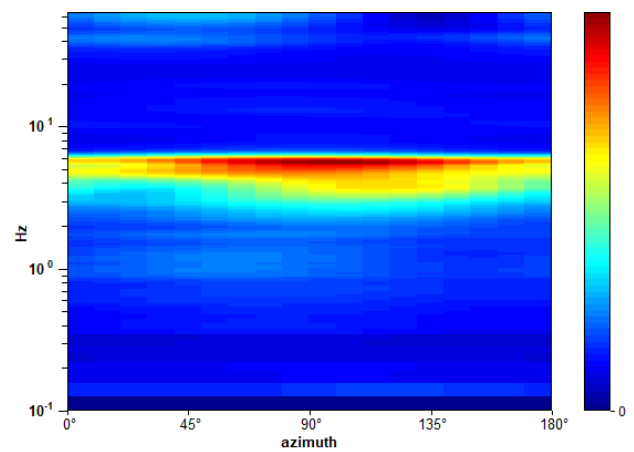
## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



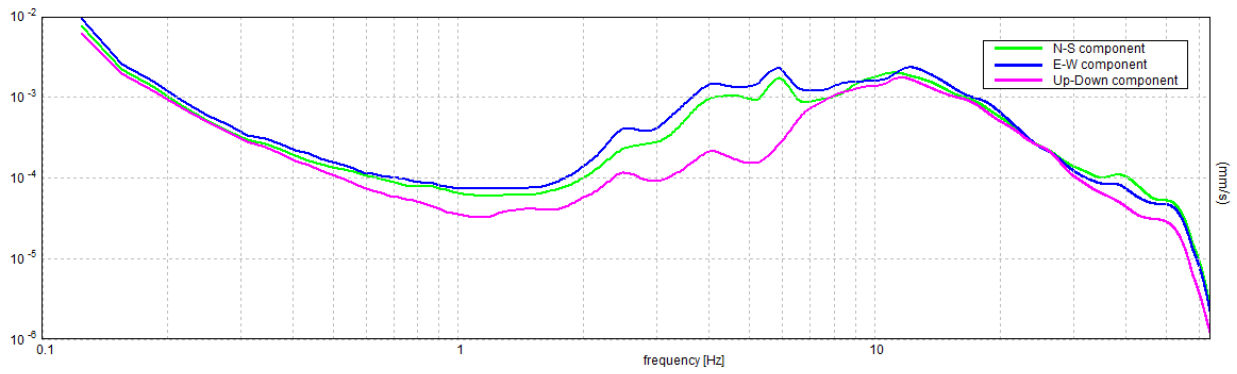
## H/V TIME HISTORY



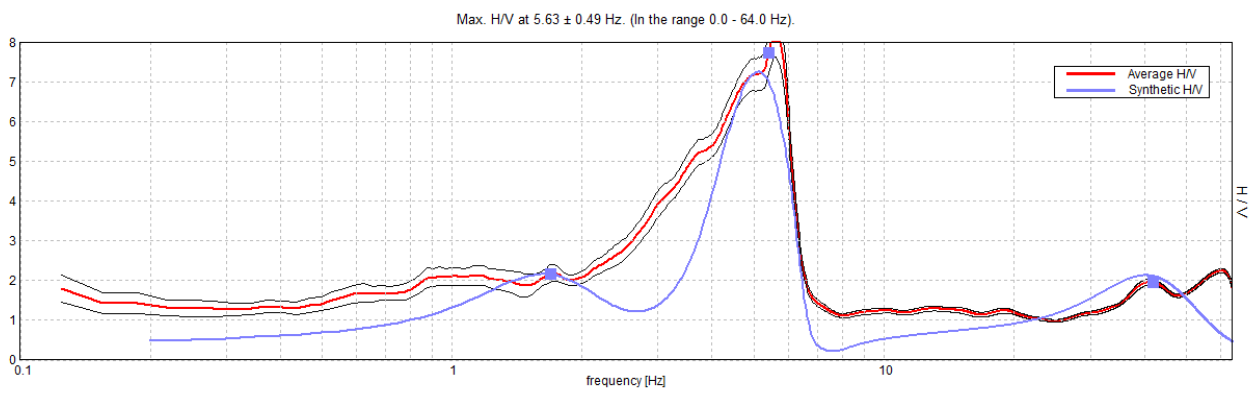
## DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



**Depth at the bottom of the layer [m]**

**Thickness [m]**

**Vs [m/s]**

**Poisson ratio**

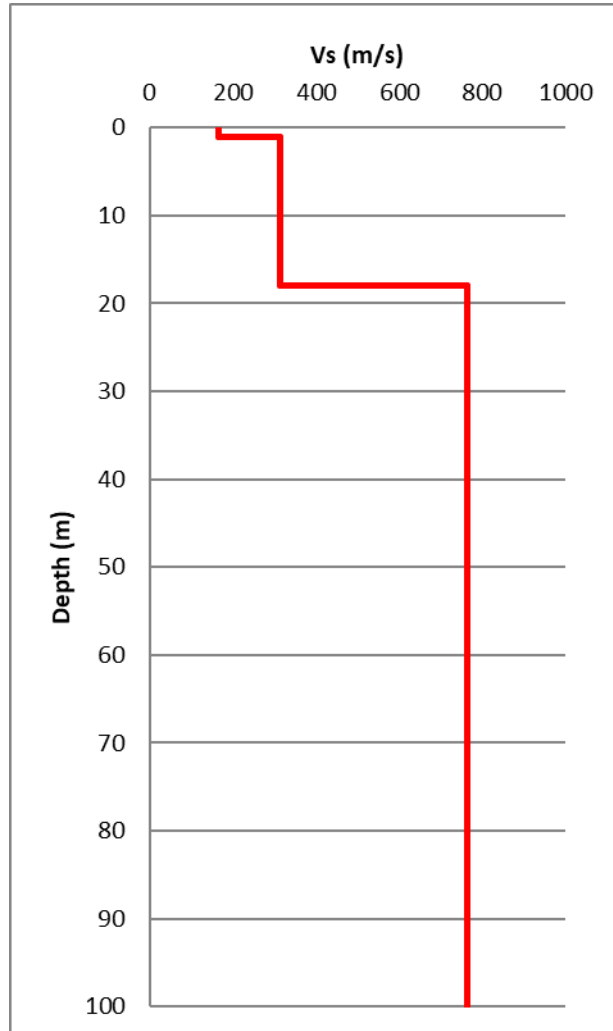
1.00  
18.00  
118.00  
inf.

1.00  
17.00  
100.00  
inf.

167  
315  
763  
1217

0.42  
0.42  
0.45  
0.45

Vs\_eq(0.0-30.0)=396m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 5.63 ± 0.49 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	5.63 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	8100.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 271 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.125 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	6.219 Hz	OK	
$A_0 > 2$	8.27 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.08774  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.49356 < 0.28125		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6527 < 1.58	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA32 4-MAR-2021 18-47-25 560, EBOLI HVSR 13

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 16:03:36 End recording: 04/03/21 16:27:36

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 97% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

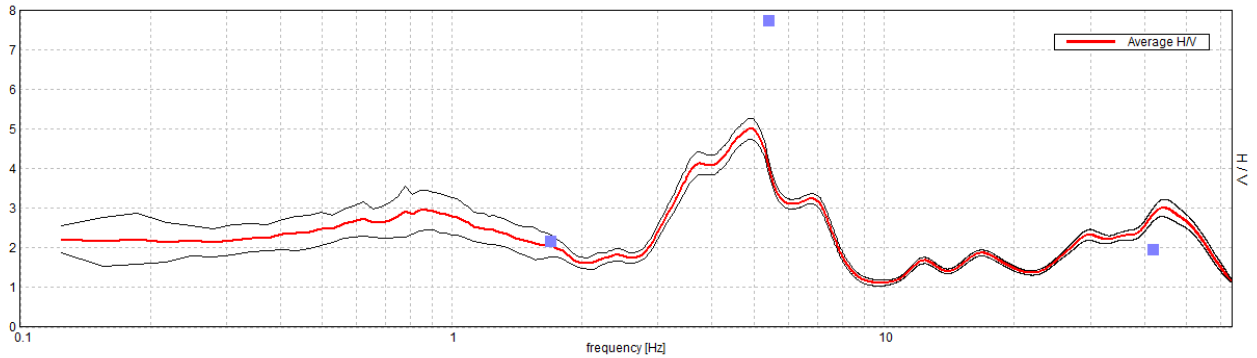
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

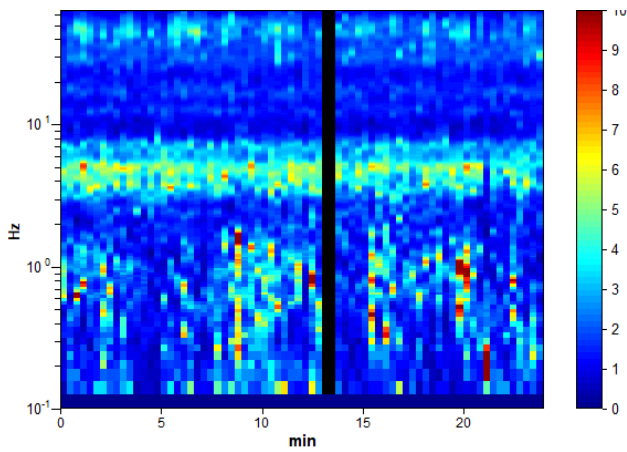
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

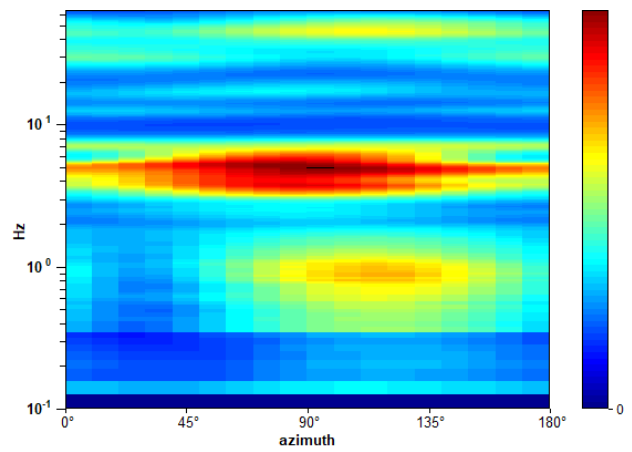
Max. H/V at  $4.91 \pm 0.73$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



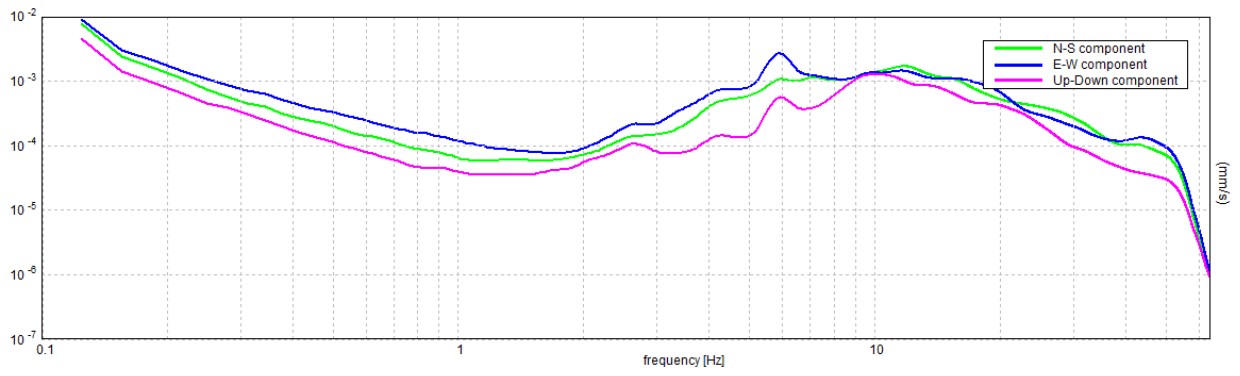
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V

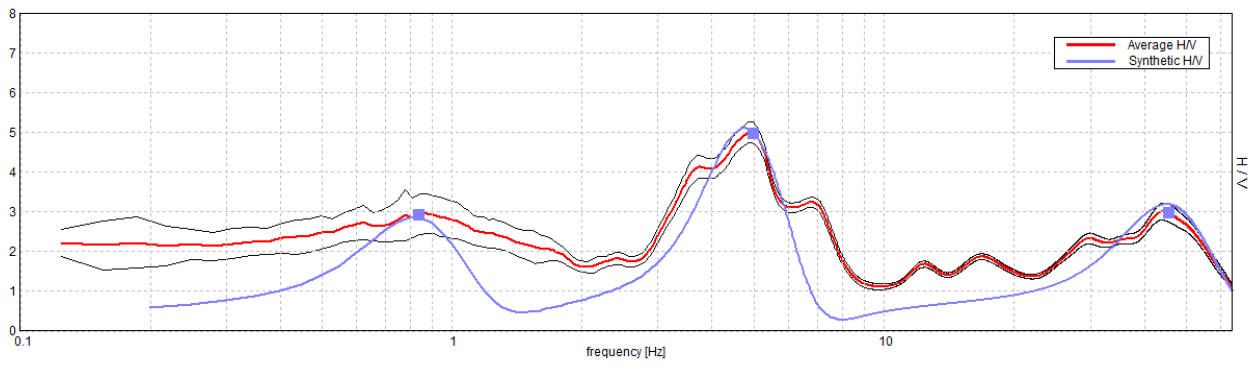


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

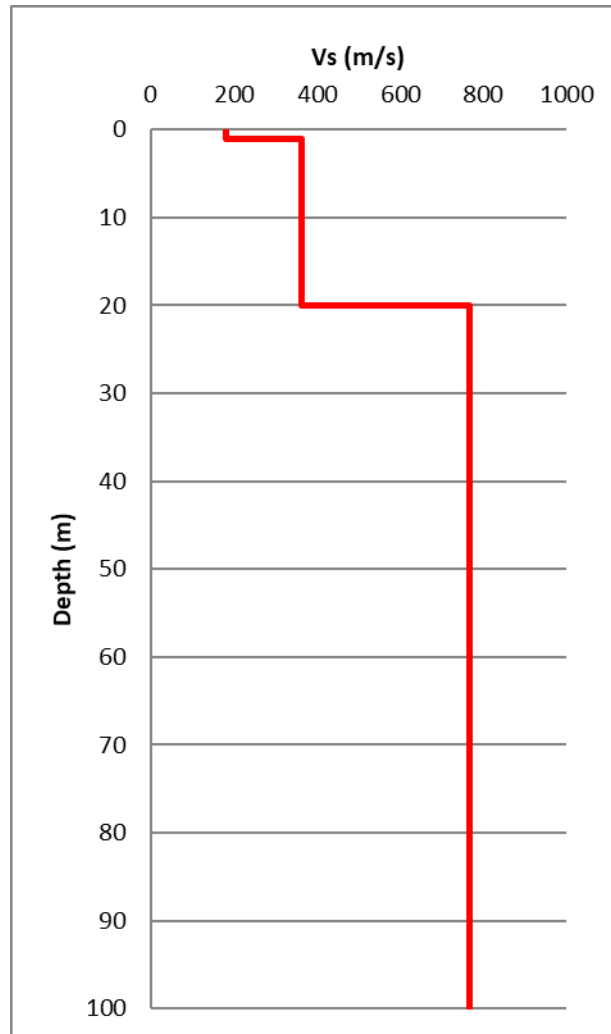
Max. H/V at 4.91 ± 0.73 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).





Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	182	0.45
20.00	19.00	363	0.45
230.00	210.00	768	0.45
inf.	inf.	1464	0.45

Vs\_eq(0.0-30.0)=423m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 4.91 ± 0.73 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	4.91 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	6868.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 236 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.031 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	7.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.00 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.14851  < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.72865 < 0.24531$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2668 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA33 4-MAR-2021 18-47-43 46, EBOLI HVSR 14

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 16:35:37 End recording: 04/03/21 16:59:37

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 94% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

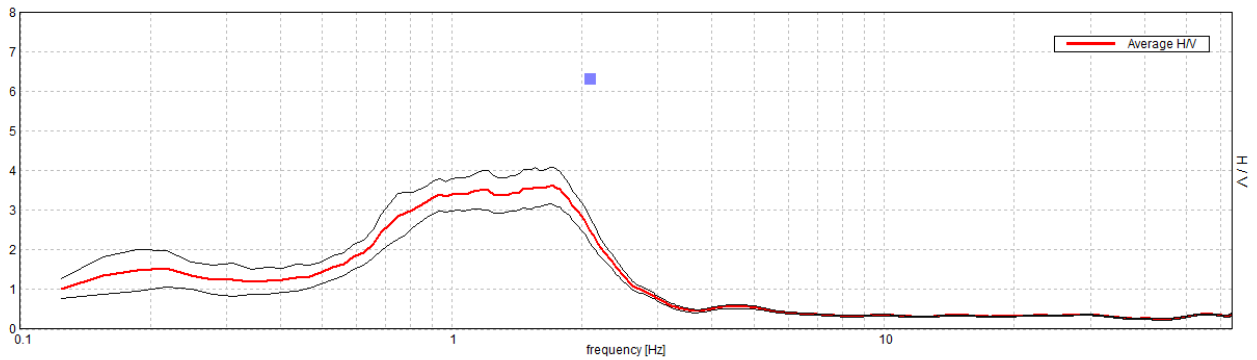
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

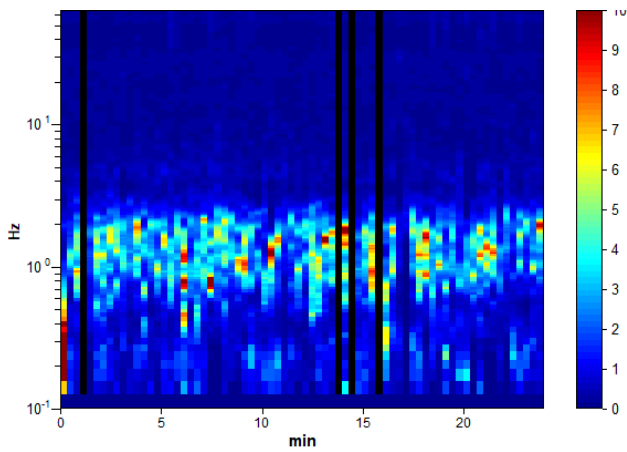
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

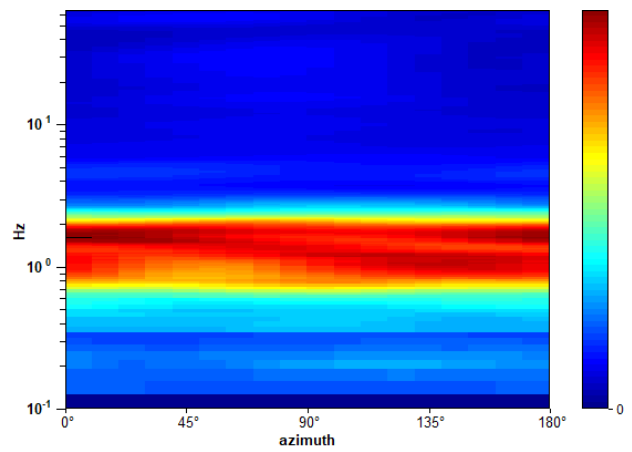
Max. H/V at  $1.69 \pm 0.57$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



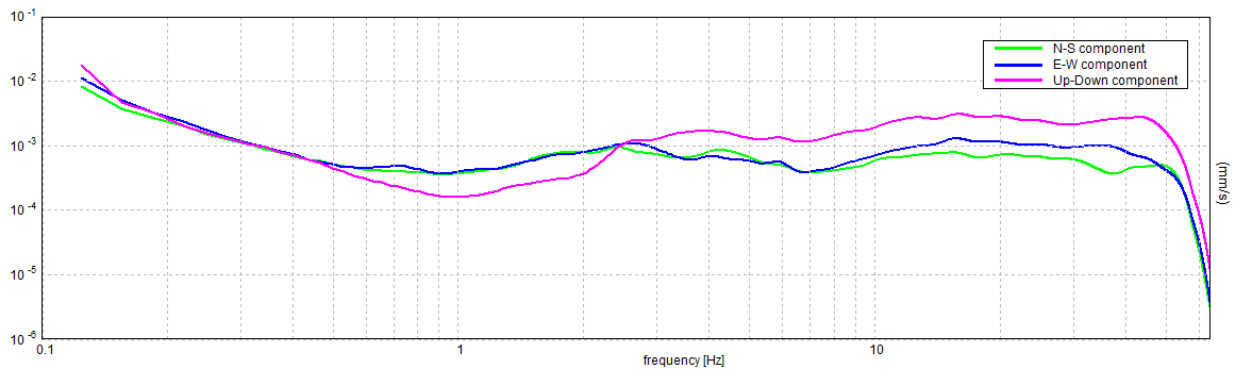
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V

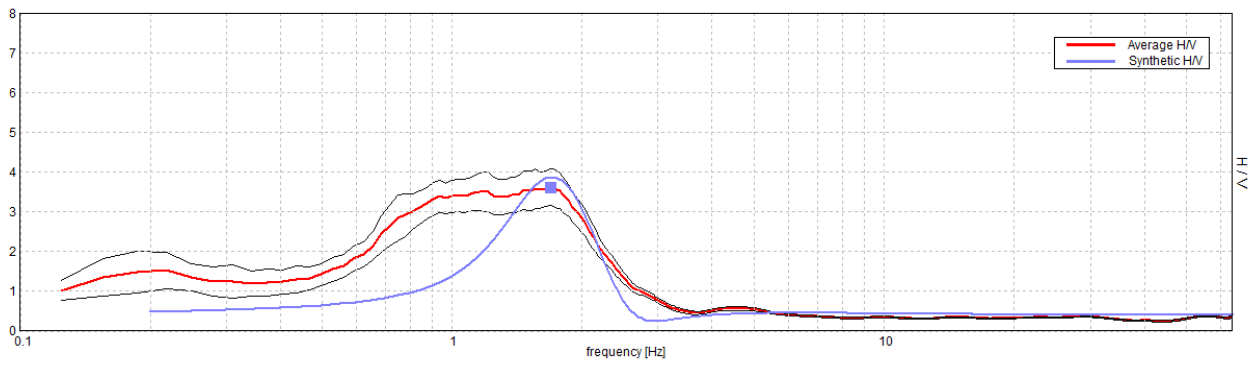


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 1.69 ± 0.57 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



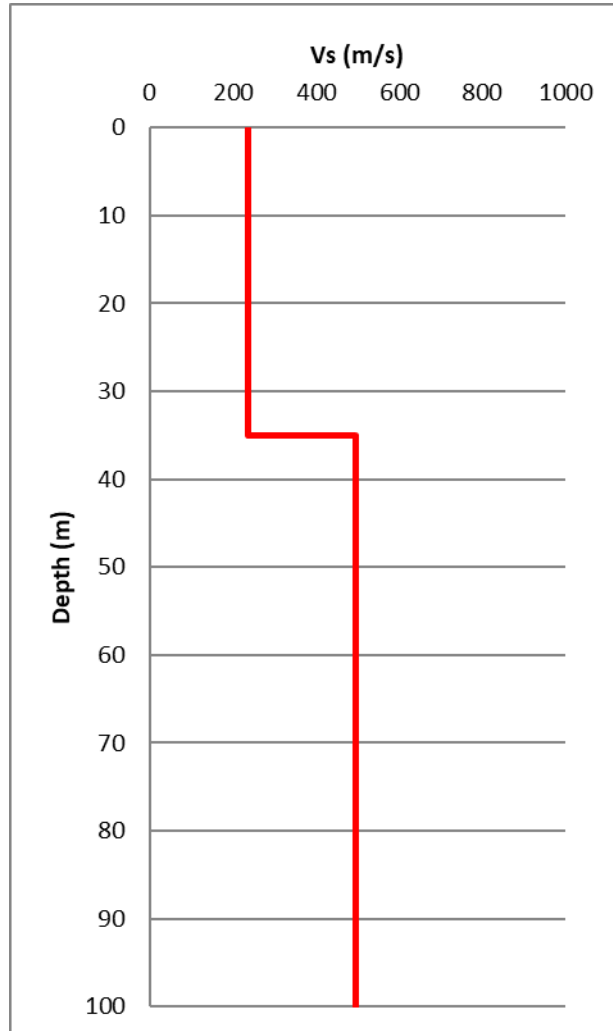
**Depth at the bottom of the layer [m]**  
35.00  
inf.

**Thickness [m]**  
35.00  
inf.

**Vs [m/s]**  
237  
496

**Poisson ratio**  
0.45  
0.45

Vs\_eq(0.0-30.0)=237m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at  $1.69 \pm 0.57$  Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	$1.69 > 0.50$	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	$2295.0 > 200$	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 82 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	0.563 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	2.313 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	$3.61 > 2$	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.33536  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.56592 < 0.16875$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.4605 < 1.78$	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA34 4-MAR-2021 18-48-04 898, EBOLI HVSR 15

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 17:07:14 End recording: 04/03/21 17:31:14

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 99% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

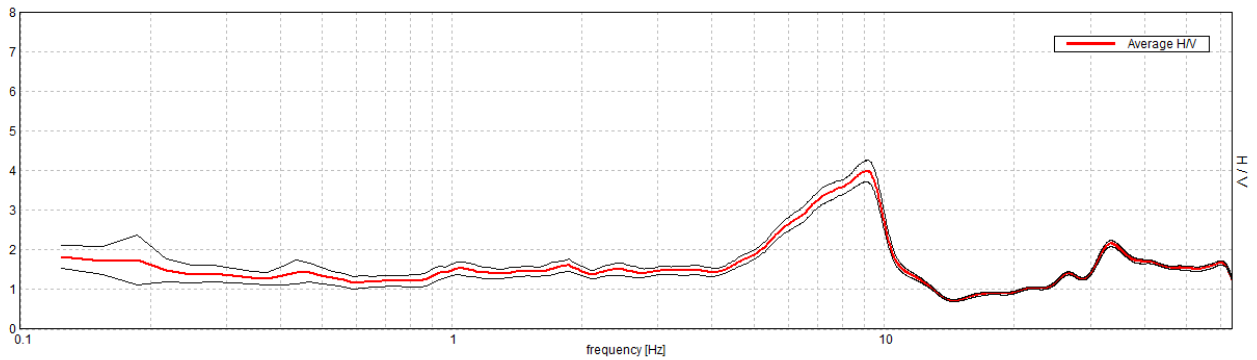
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

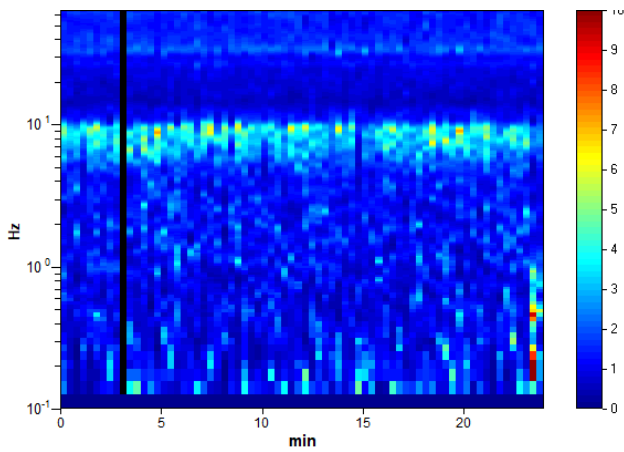
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

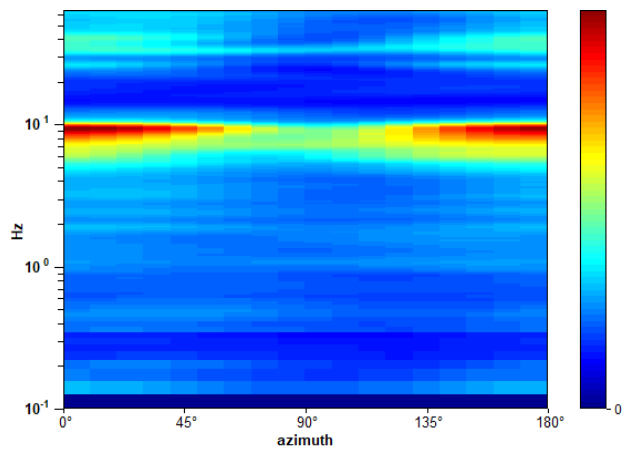
Max. H/V at  $9.16 \pm 0.21$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



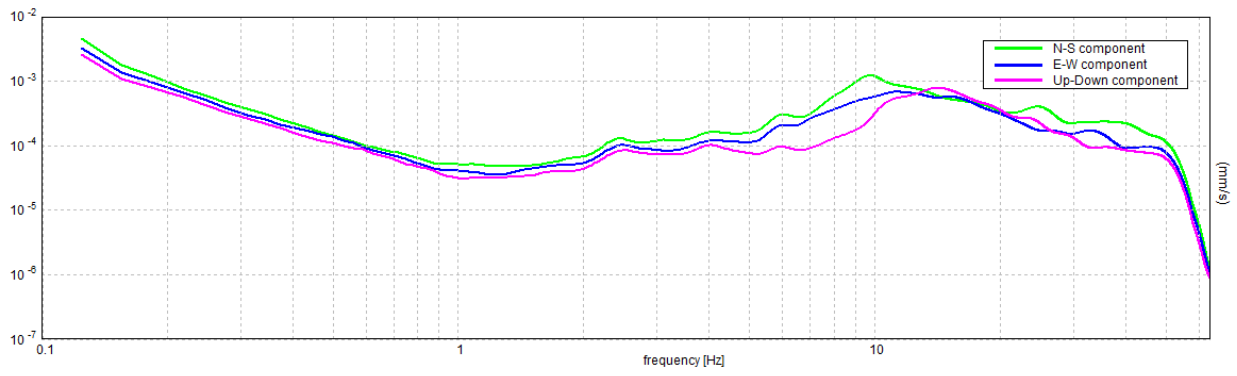
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V

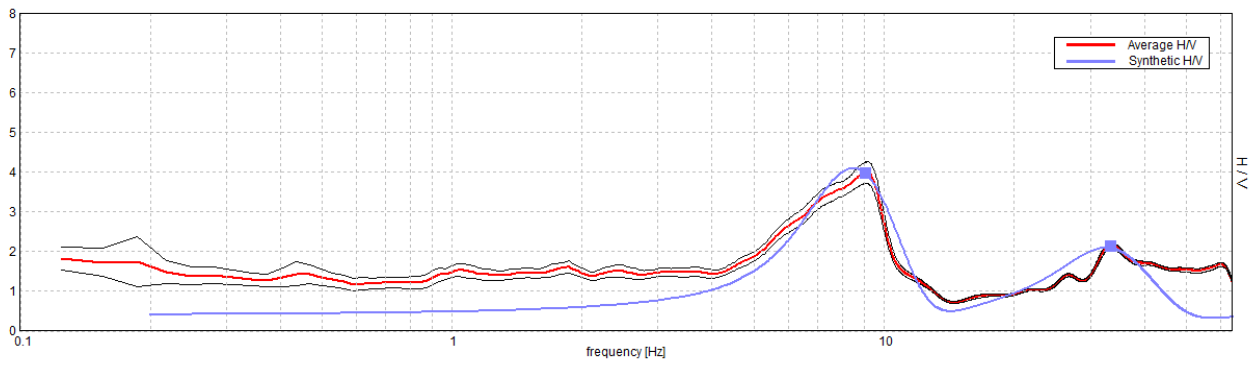


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 9.16 ± 0.21 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).





**Depth at the bottom of the layer [m]**

1.00  
8.00  
inf.

**Thickness [m]**

1.00  
7.00  
inf.

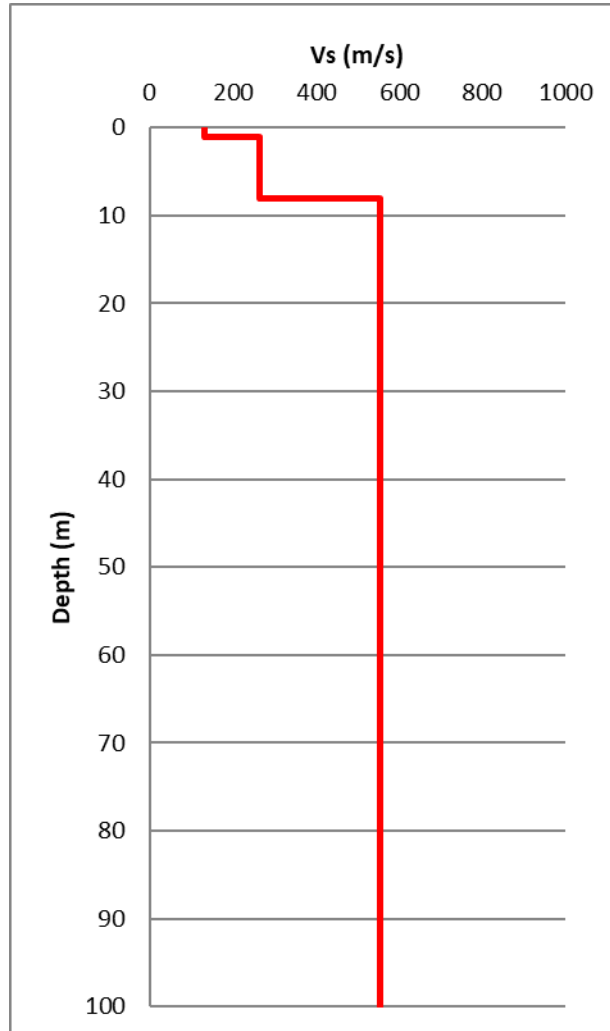
**Vs [m/s]**

133  
266  
555

**Poisson ratio**

0.42  
0.42  
0.45

$V_{s\_eq}(0.0-30.0) = 408 \text{ m/s}$



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 9.16 ± 0.21 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	9.16 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	13001.9 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 440 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	5.156 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	10.438 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	3.98 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	0.02284  < 0.05	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	0.20911 < 0.45781	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	0.2746 < 1.58	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA35 4-MAR-2021 18-49-07 991, EBOLI HVSR 16

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 17:32:55 End recording: 04/03/21 17:56:55

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; north south; east west ; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 96% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

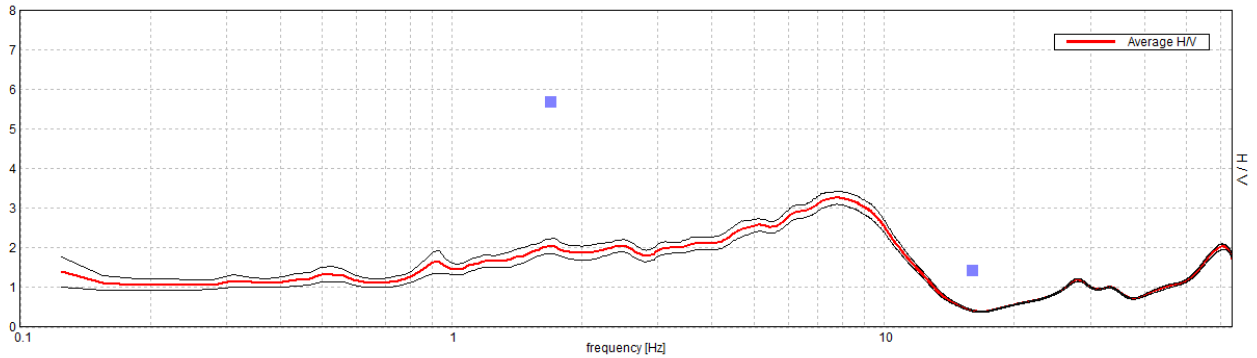
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

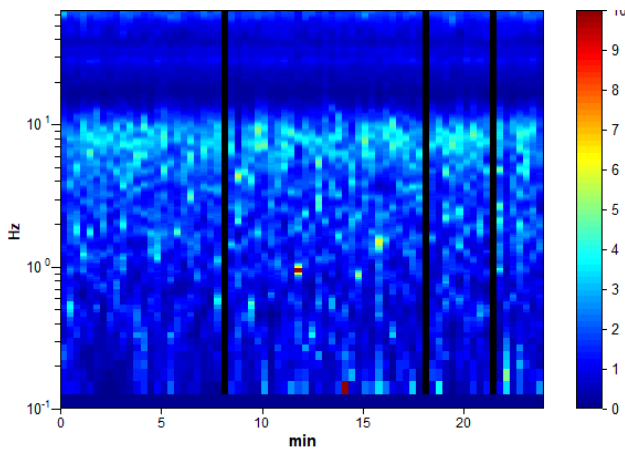
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

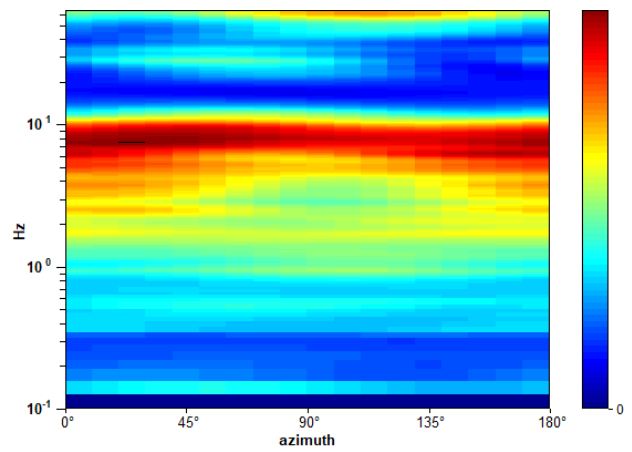
Max. H/V at  $7.81 \pm 6.34$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



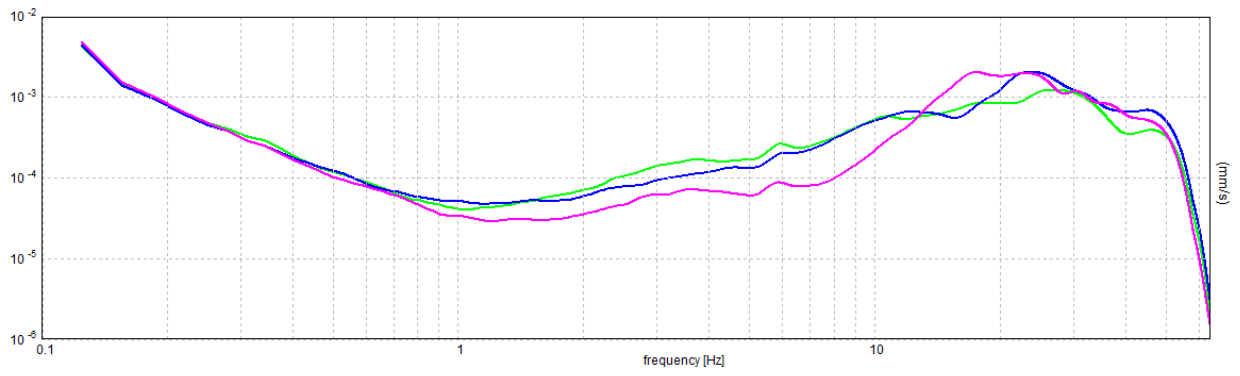
## H/V TIME HISTORY



## DIRECTIONAL H/V

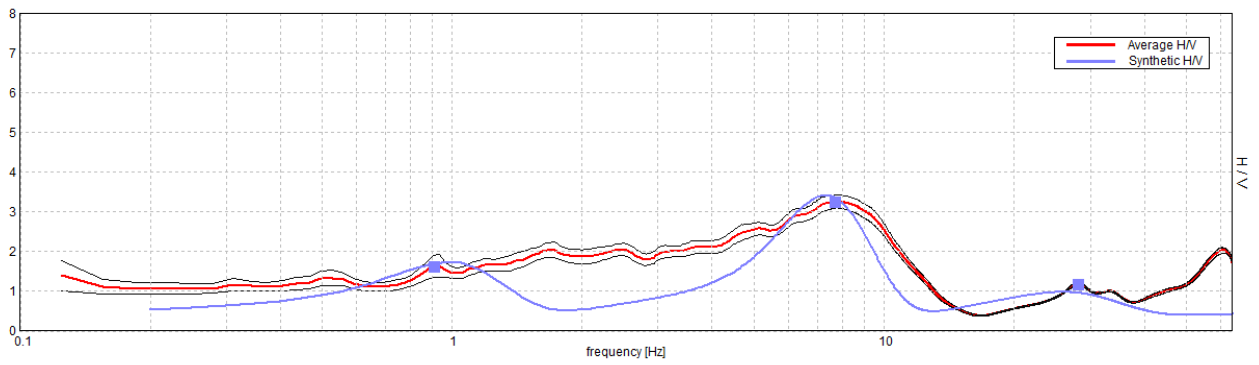


### SINGLE COMPONENT SPECTRA



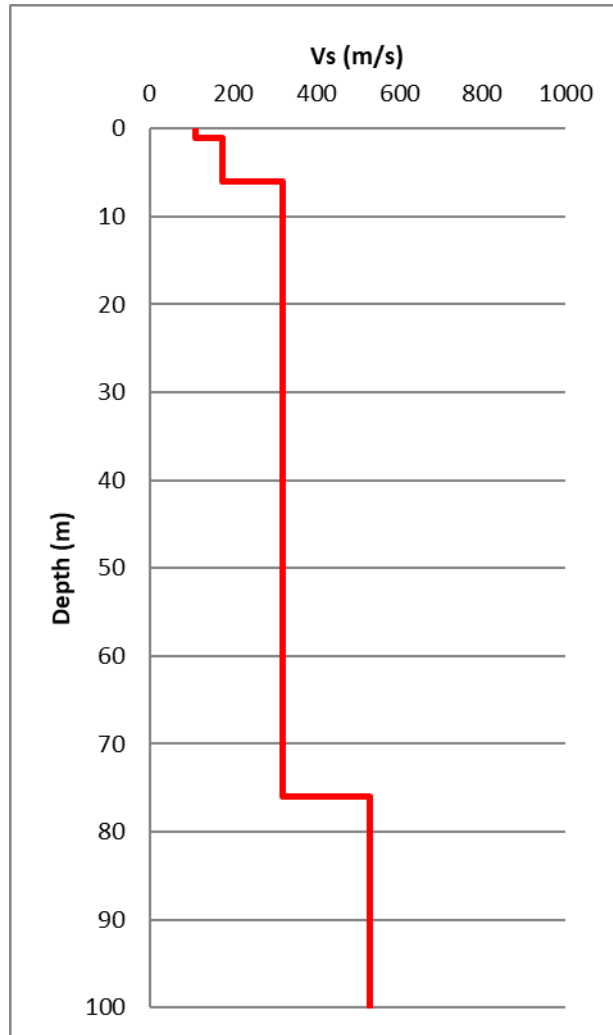
### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at  $7.81 \pm 6.34$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	112	0.45
6.00	5.00	175	0.45
76.00	70.00	319	0.45
inf.	inf.	529	0.45

Vs\_eq(0.0-30.0)=266m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 7.81 ± 6.34 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	7.81 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	10781.3 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 376 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>			<b>NO</b>
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	11.594 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	3.26 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.81108  < 0.05$		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	6.33655 < 0.39063		<b>NO</b>
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	0.165 < 1.58	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA36 4-MAR-2021 18-49-27 239, EBOLI HVSR 17

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 17:59:46 End recording: 04/03/21 18:23:46

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analyzed 97% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

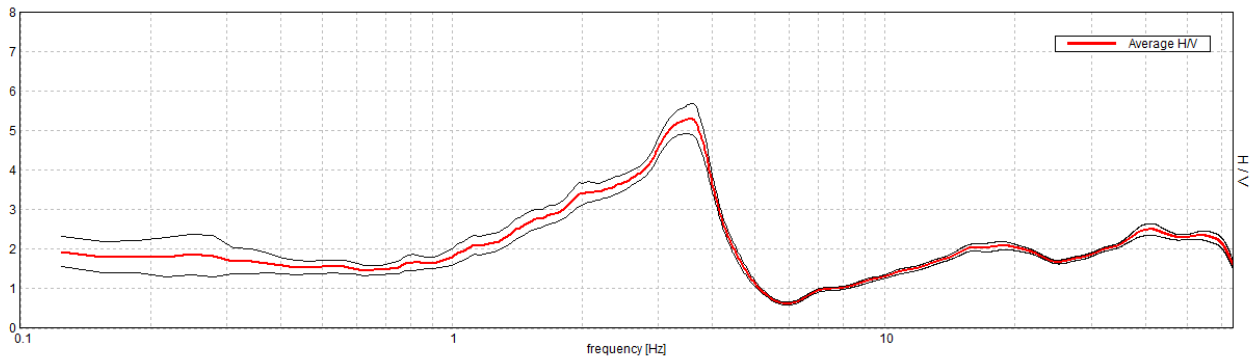
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

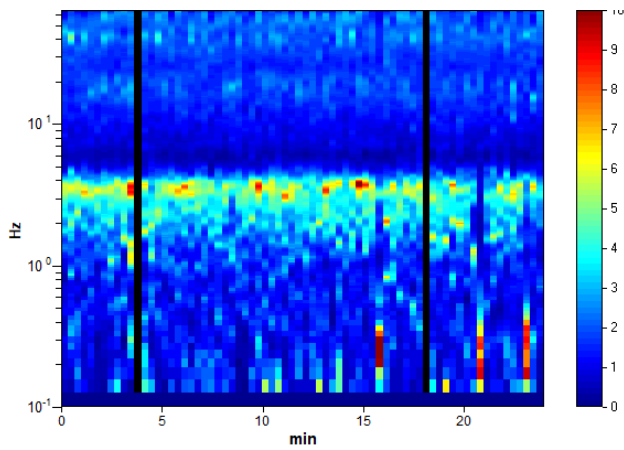
Smoothing: 11%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

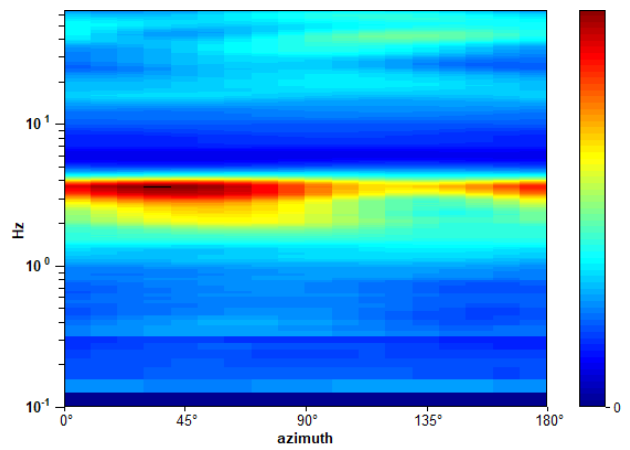
Max. H/V at  $3.53 \pm 0.1$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



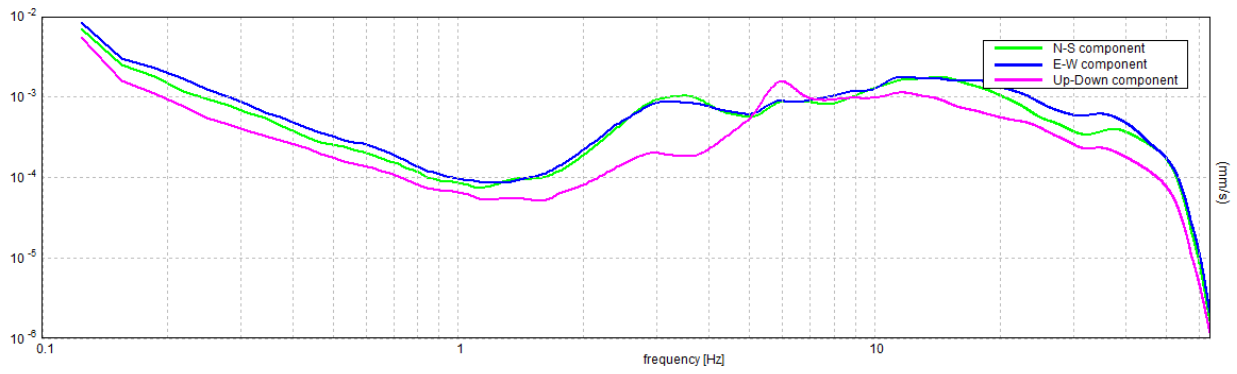
## H/V TIME HISTORY



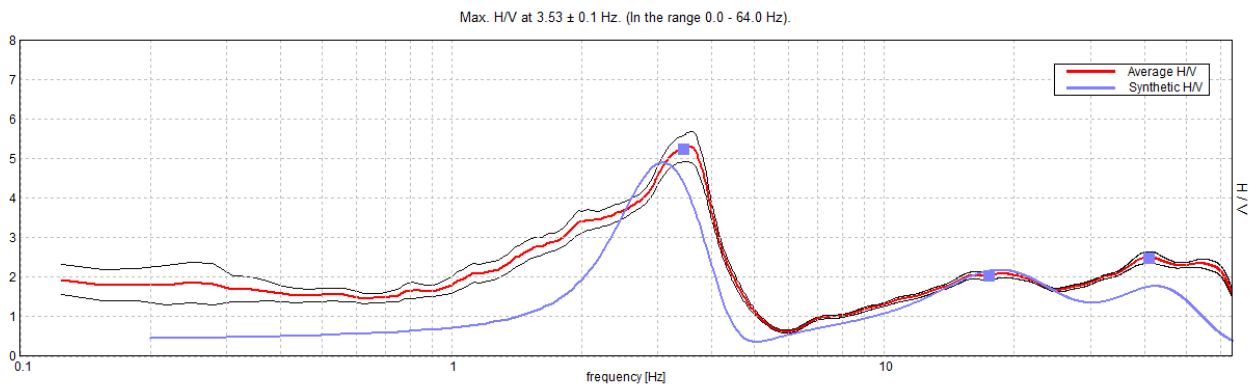
## DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



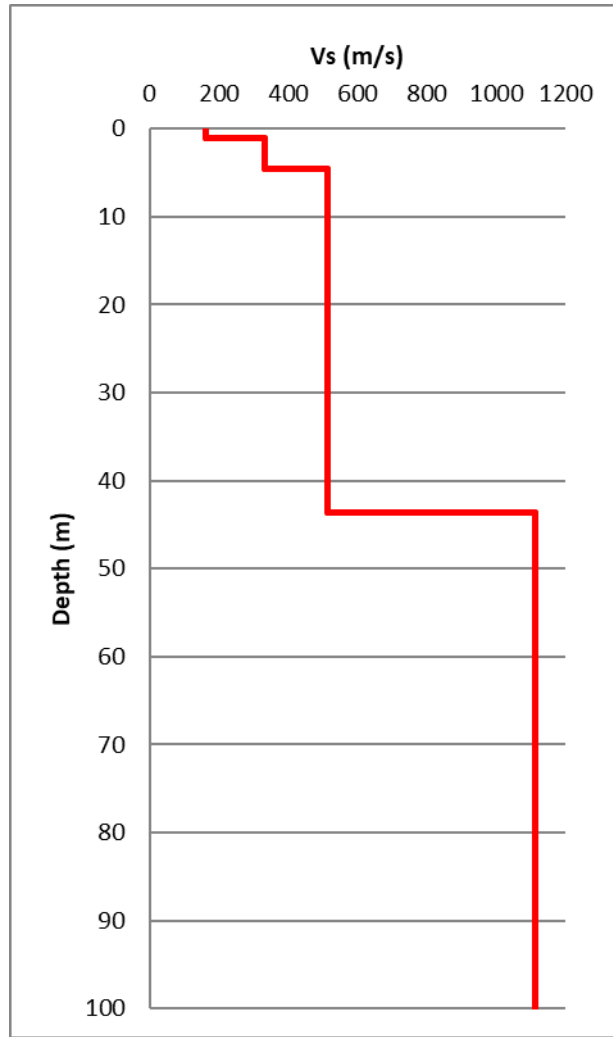
### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V





Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	164	0.42
4.60	3.60	332	0.42
43.60	39.00	513	0.42
inf.	inf.	1111	0.42

Vs\_eq(0.0-30.0)=451m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 3.53 ± 0.1 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

**Criteria for a reliable H/V curve**

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	3.53 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4943.8 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 170 times	OK	

**Criteria for a clear H/V peak**

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.469 Hz	OK	
Exists $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.29 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.02744  < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0969 < 0.17656$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3721 < 1.58$	OK	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

**Threshold values for  $\sigma_f$  and  $\sigma_A(f_0)$**

Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

# GRILLA37 4-MAR-2021 18-49-46 905, EBOLI HVSR 18

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 04/03/21 18:28:27 End recording: 04/03/21 18:52:27

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down

GPS data not available

Trace length: 0h24'00". Analysis performed on the entire trace.

Sampling rate: 128 Hz

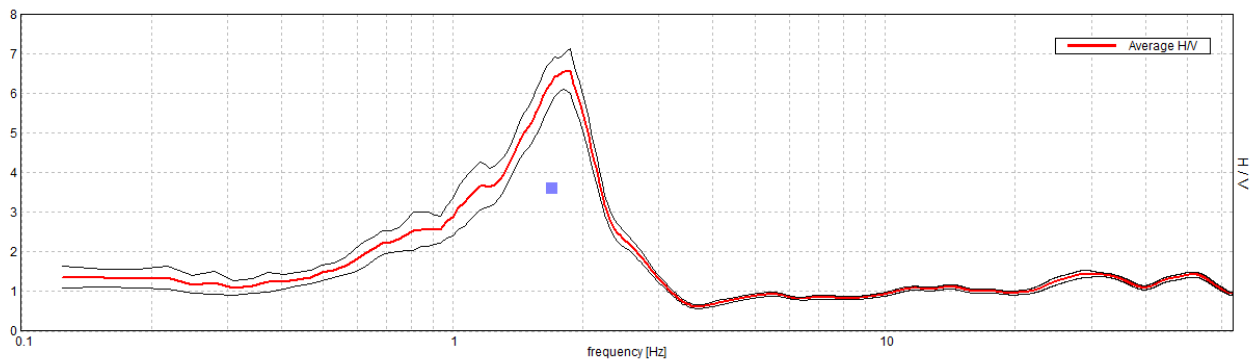
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

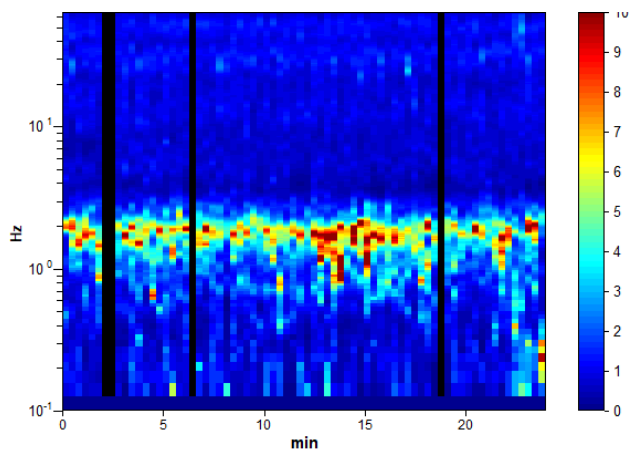
Smoothing: 10%

## HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

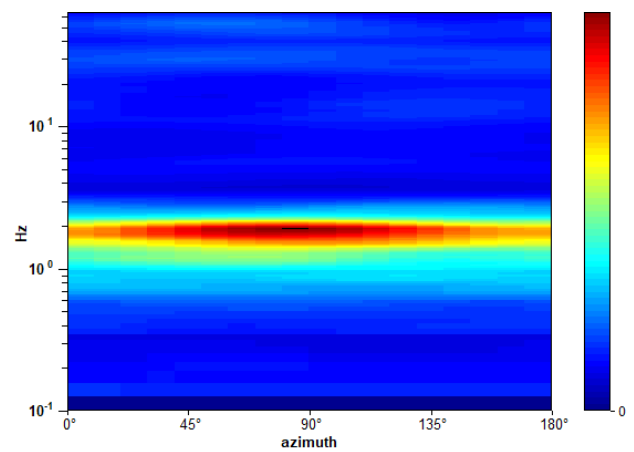
Max. H/V at  $1.88 \pm 0.03$  Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



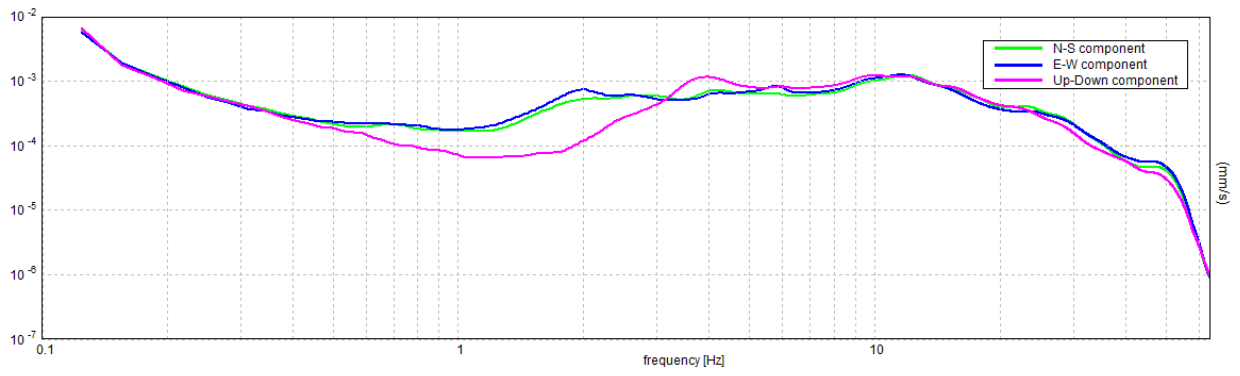
## H/V TIME HISTORY



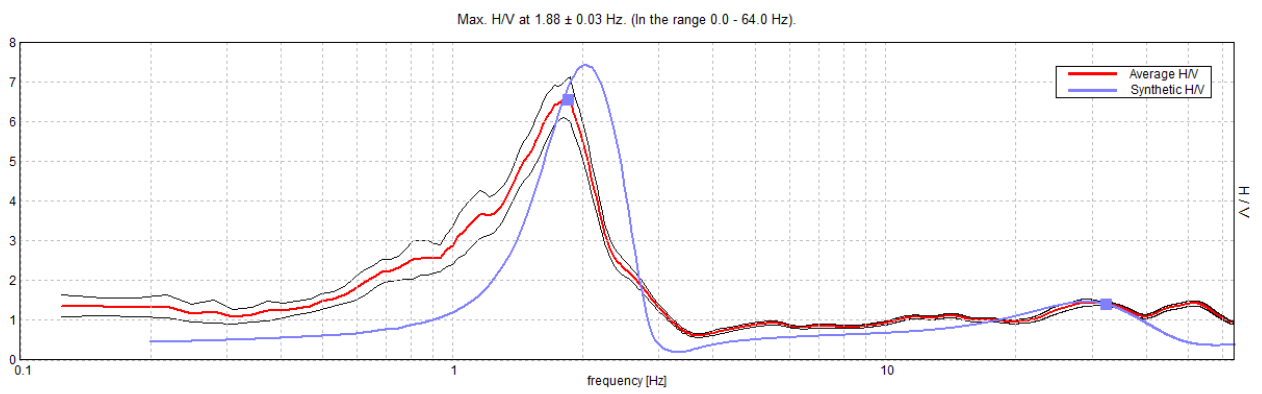
## DIRECTIONAL H/V



### SINGLE COMPONENT SPECTRA



### EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]

1.00  
26.00  
inf.

Thickness [m]

1.00  
25.00  
inf.

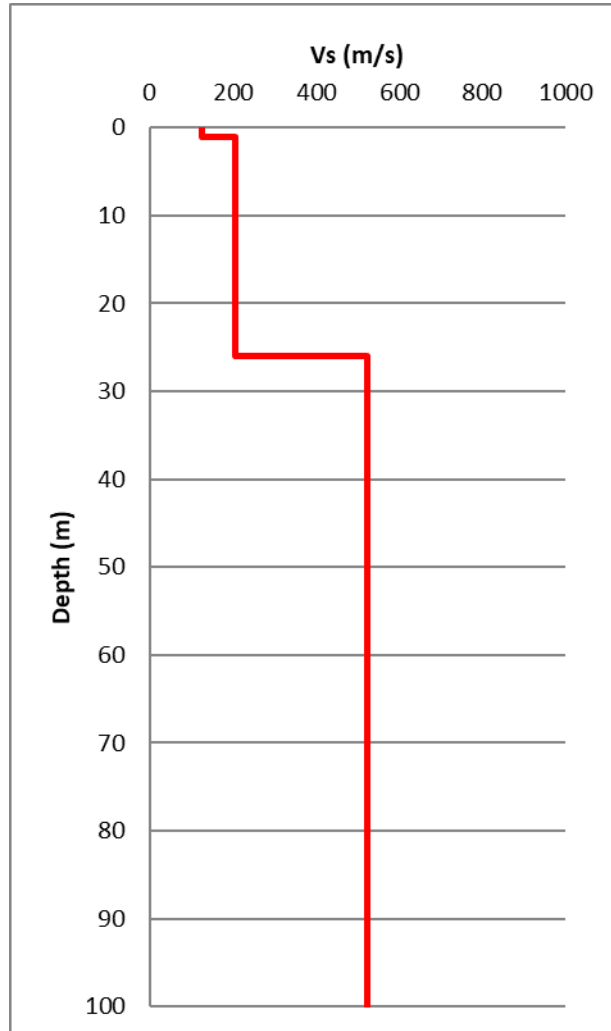
Vs [m/s]

126  
206  
525

Poisson ratio

0.45  
0.45  
0.45

Vs\_eq(0.0-30.0)=219m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

**Max. H/V at 1.88 ± 0.02 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).**

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	1.88 > 0.50	<b>OK</b>	
$n_c(f_0) > 200$	2700.0 > 200	<b>OK</b>	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 91 times	<b>OK</b>	
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
<b>Exists <math>f^-</math> in <math>[f_0/4, f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^-) &lt; A_0 / 2</math></b>	1.063 Hz	<b>OK</b>	
<b>Exists <math>f^+</math> in <math>[f_0, 4f_0]</math>   <math>A_{H/V}(f^+) &lt; A_0 / 2</math></b>	2.25 Hz	<b>OK</b>	
<b><math>A_0 &gt; 2</math></b>	6.20 > 2	<b>OK</b>	
<b><math>f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%</math></b>	$ 0.01318  < 0.05$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></b>	$0.02471 < 0.1875$	<b>OK</b>	
<b><math>\sigma_A(f_0) &lt; \theta(f_0)</math></b>	$0.547 < 1.78$	<b>OK</b>	

$L_w$	window length
$n_w$	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
$f$	current frequency
$f_0$	H/V peak frequency
$\sigma_f$	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
$A_0$	H/V peak amplitude at frequency $f_0$
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency $f$
$f^-$	frequency between $f_0/4$ and $f_0$ for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
$f^+$	frequency between $f_0$ and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$ , $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [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 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

**ALLEGATO 2 – INDAGINI GEOFISICHE A CORREDO DEL P.U.C.**

## **DOWN HOLE DH4-S9**

### **Dati iniziali**

Offset scoppio (m)	Numero di ricezioni	Posizione primo geofono (m)	Interdistanza (m)
1,5	17	2	2

### **Dati misure down hole**

Registrazione Nr.	Z (m)	Tp (msec)	Ts (msec)
1	2,00	2,20	6,80
2	4,00	5,70	14,60
3	6,00	8,90	22,30
4	8,00	10,70	37,70
5	10,00	11,60	44,50
6	12,00	13,40	52,40
7	14,00	14,50	57,80
8	16,00	16,00	69,10
9	18,00	17,00	75,50
10	20,00	18,10	84,30
11	22,00	19,50	92,00
12	24,00	20,60	106,00
13	26,00	22,20	115,90
14	28,00	23,10	119,30
15	30,00	24,70	126,90
16	32,00	26,20	131,90
17	34,00	27,30	139,30

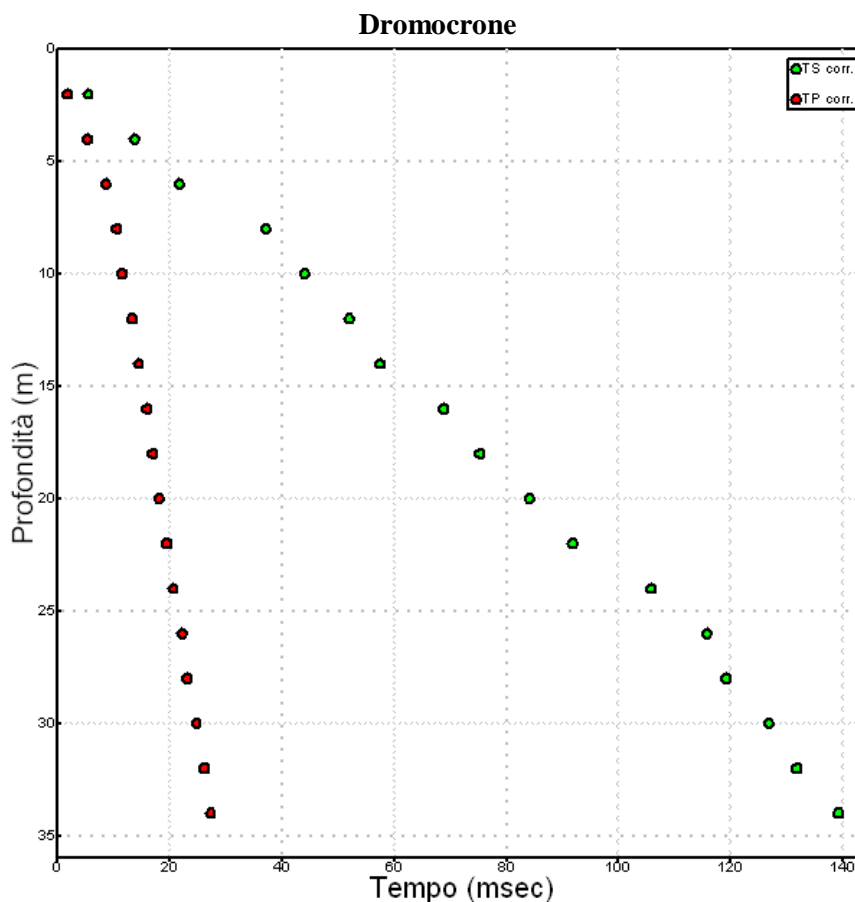
### **Risultati**

SR (m)	Tpcorr (msec)	Tscorr (msec)
2,50	1,76	5,44
4,272	5,3371	13,6704
6,1847	8,6343	21,6342
8,1394	10,5167	37,0543
10,1119	11,4717	44,0077



12,0934	13,2965	51,9954
14,0801	14,4175	57,4711
16,0702	15,9302	68,7983
18,0624	16,9413	75,2392
20,0562	18,0493	84,0639
22,0511	19,4548	91,7869
24,0468	20,5599	105,7936
26,0432	22,1632	115,7076
28,0402	23,0669	119,1292
30,0375	24,6692	126,7417
32,0351	26,1713	131,7553
34,0331	27,2735	139,1646

Vp (m/s)	Vs (m/s)	g (kN/mc)	ni	G (MPa)	Ed (MPa)	E (MPa)	Ev (MPa)
1136,36	367,65	22,24	0,4415	306,54	2928,51	883,75	2519,79
559,11	243,00	19,67	0,3836	118,44	627,02	327,75	469,10
606,58	251,14	19,30	0,3966	124,13	724,12	346,72	558,62
1062,47	129,70	16,38	0,4924	28,10	1885,50	83,87	1848,04
2094,24	287,63	19,31	0,4904	162,90	8636,04	485,57	8418,83
1096,01	250,39	18,60	0,4725	118,91	2278,36	350,19	2119,81
1784,12	365,25	19,93	0,4781	271,12	6468,96	801,48	6107,47
1322,14	176,57	16,97	0,4909	53,95	3024,94	160,87	2953,00
1978,04	310,52	19,11	0,4874	187,90	7624,48	558,96	7373,95
1805,05	226,64	17,79	0,492	93,18	5910,63	278,05	5786,39
1422,98	258,97	18,25	0,4829	124,81	3768,25	370,16	3601,84
1809,79	142,79	15,85	0,4969	32,95	5293,77	98,65	5249,83
1247,43	201,73	17,13	0,4866	71,08	2718,12	211,34	2623,34
2213,12	584,52	21,11	0,4625	735,47	10543,32	2151,25	9562,69
1248,21	262,73	18,08	0,4768	127,26	2872,45	375,88	2702,77
1331,47	398,92	19,67	0,4507	319,19	3555,88	926,10	3130,28
1814,55	269,93	18,10	0,4887	134,48	6077,09	400,40	5897,79

**Metodo intervallo**

**Profondità di riferimento:** 30 m  
**VS30:** 254,66 m/s

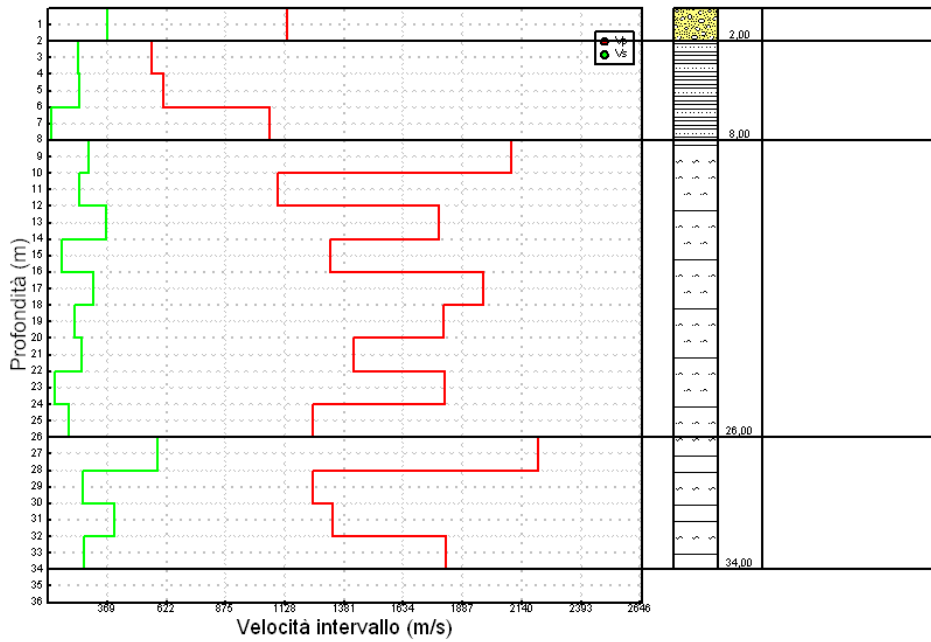
**Sismostrati con metodo Intervallo**

Descrizione (-)	Profondità (m)
	2
	8
	26
	34

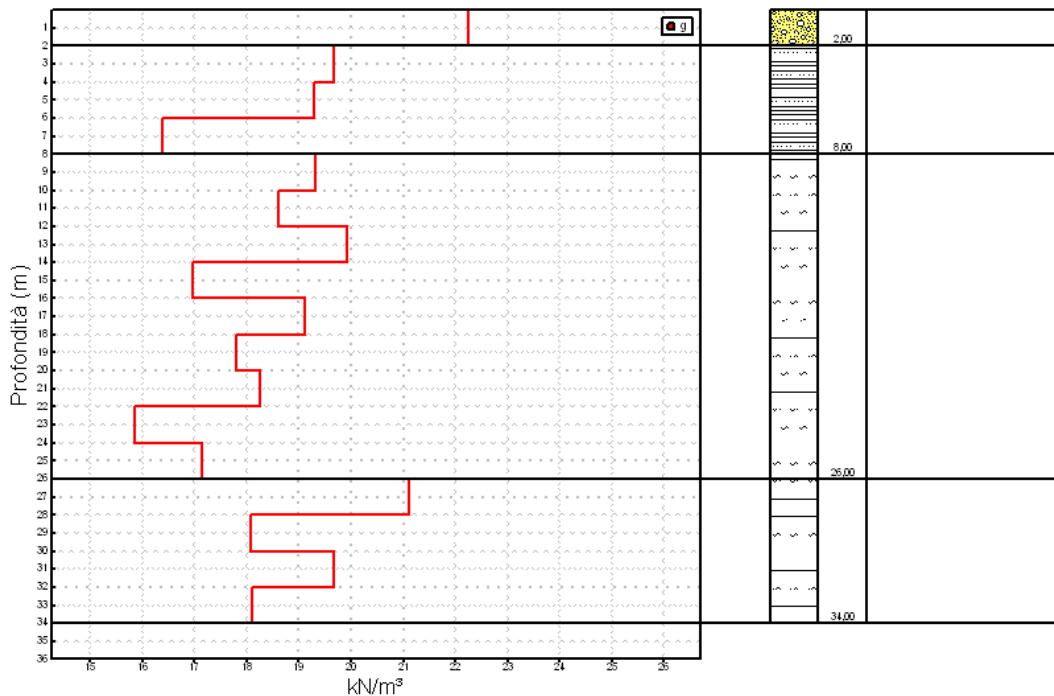
**Valori medi**

Vp medio (m/s)	Vs medio (m/s)	g medio (kN/mc)	ni medio	G medio (MPa)	Ed medio (MPa)	E medio (MPa)	Ev medio (MPa)
1136,36	367,65	22,24	0,44	306,54	2928,51	883,75	2519,79
742,72	207,95	18,45	0,42	90,22	1078,88	252,78	958,59
1617,76	246,72	18,1	0,49	124,09	5080,39	368,36	4914,94
1651,84	379,03	19,24	0,47	329,1	5762,19	963,41	5323,38

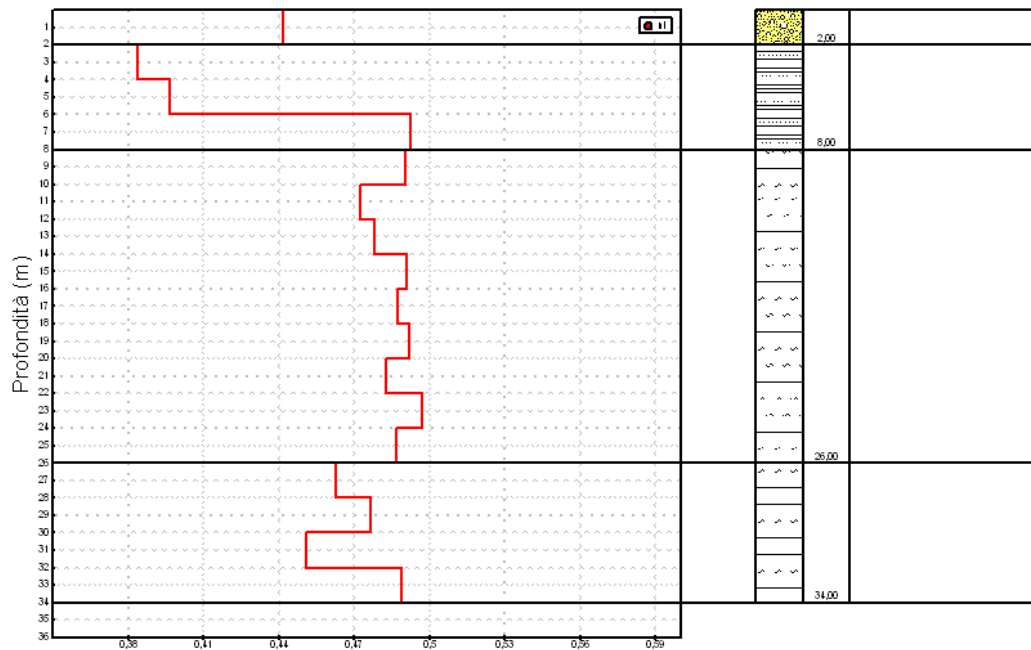
### Profilo velocità di intervallo



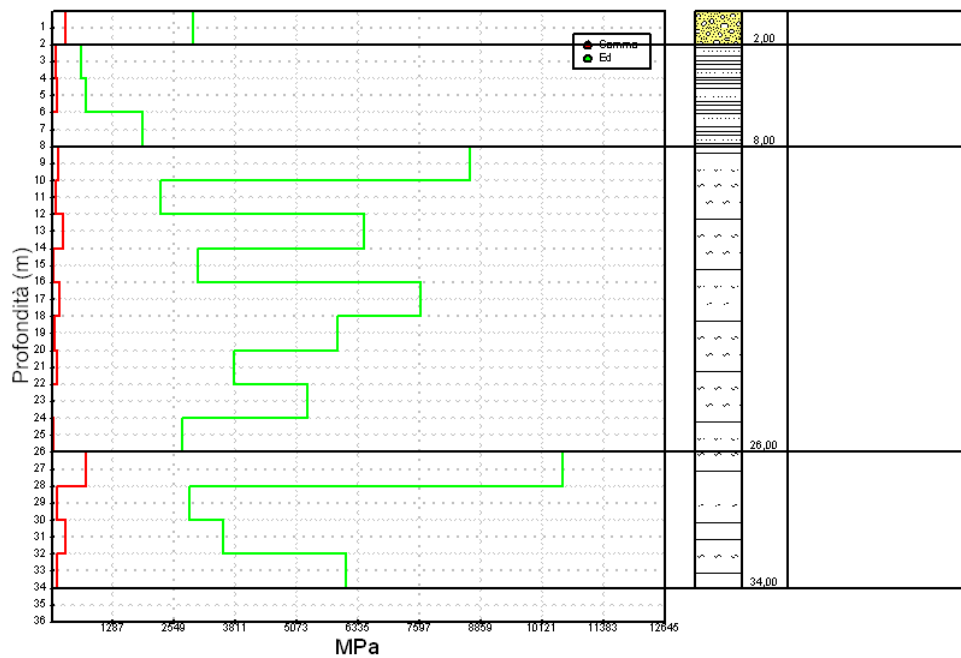
### Profilo peso di volume di intervallo



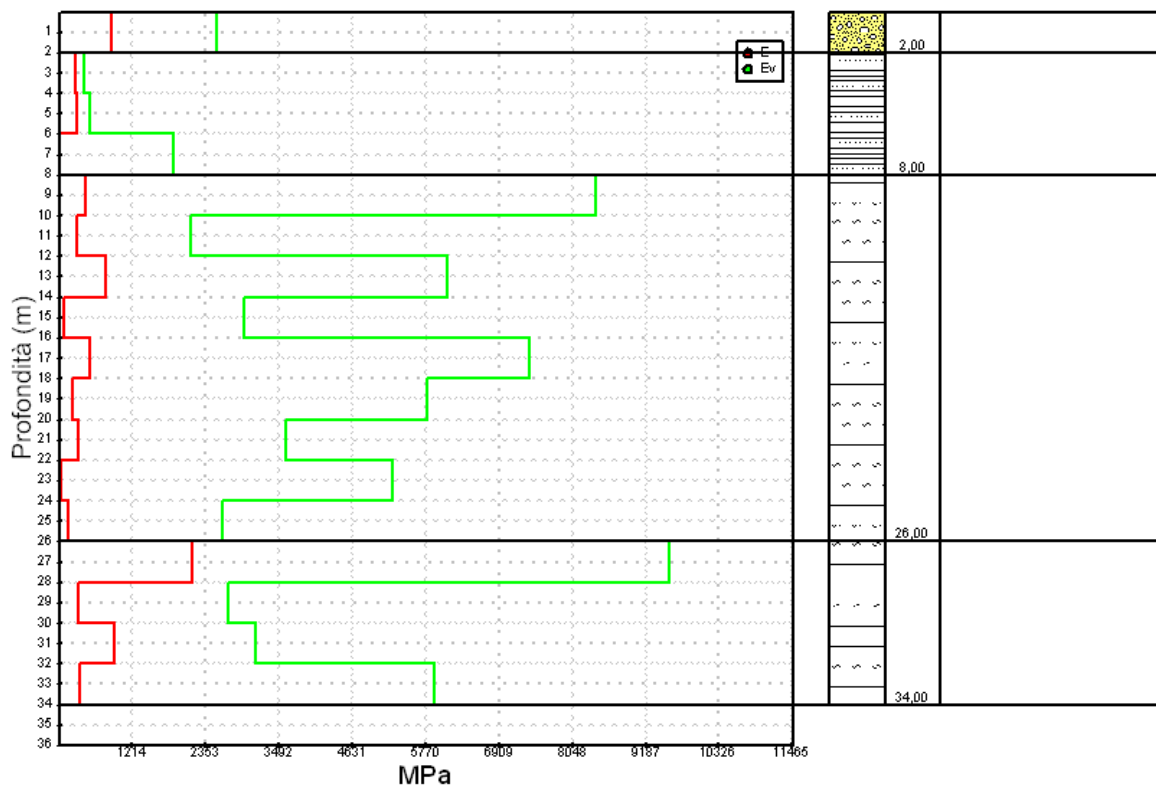
### Profilo coefficiente di Poisson di intervallo



**Profili modulo di deformazione a taglio e modulo di compressibilità edometrica**

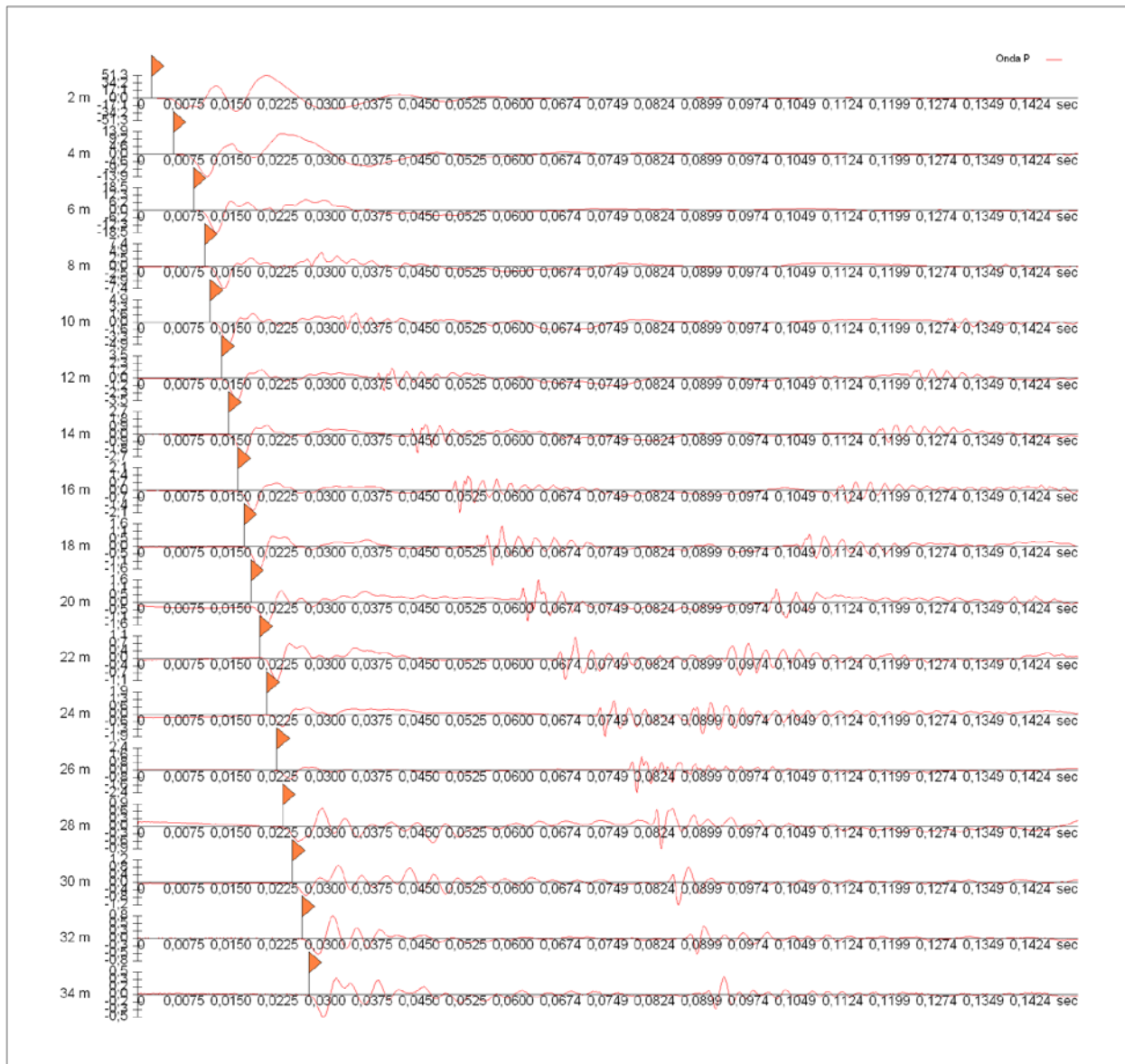


**Profili modulo di Young e modulo di compressibilità volumetrica di intervallo**



Documentazione fotografica

Sismogramma Onda P



Sismogramma comparato Onda S

