ALLEGATO H

RELAZIONE SPECIALISTICA DELLE INDAGINI GEOFISICHE

REGIONE LIGURIA

CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA

COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE

PROGETTAZIONE DEFINITIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN CANALE SCOLMATORE E SISTEMAZIONE IDRAULICA DEI TORRENTI SAN SIRO E MAGISTRATO IN COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE (GE)

COMMITTENZA :

COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE

RAPPORTO INDAGINI GEOFISICHE

Dott. Geol. VITTORIO BONARIA

Dott. Geol. MATTEO FORNAROLI

bierrevi ®
Studio Tecnico Associato
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA
Tel / Fax. 0102463472 – info@bierrevi.it
Part. IVA 03844550107

INDICE

1. PREMESSA
2. METODOLOGIA D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA
   2.1.) PROSPEZIONE SISMICA TIPO MASW
   2.2.) PROSPEZIONE SISMICA HVSR
3. MODALITA' DI ESECUZIONE DEI RILIEVI GEOFISICI DI SUPERFICIE
   3.1.) PROVA MASW
   3.2.) PROVA HVSR
4. RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE
   4.1.) ELABORAZIONE PROVE MASW
   4.2.) ELABORAZIONE PROVE HVSR
5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

ALLEGATI TECNICI:

TABULATI PROVE MASW
TABULATI PROVE HVSR
ELABORATO FOTOGRAFICO
RELAZIONE PROVE DOWNHOLE

1.) PREMESSA

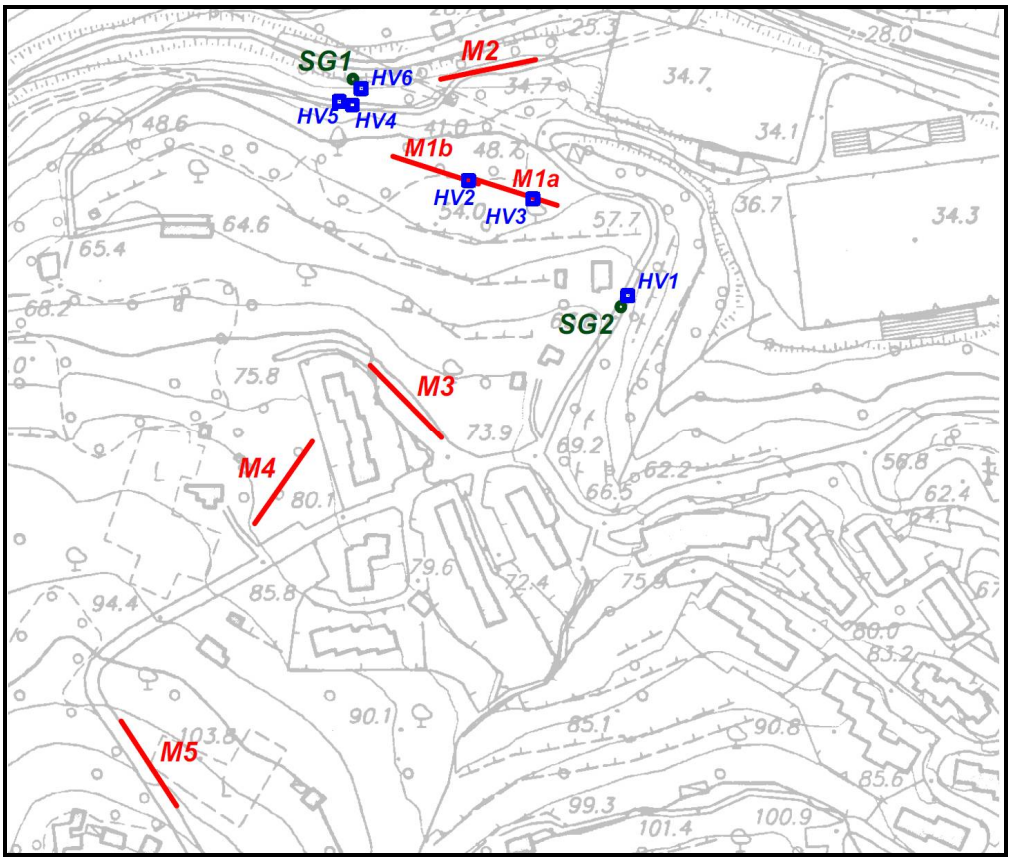
Su incarico della **BORGHI DRILL** s.r.l. con sede in Via Selaschi n.35/i, Leivi, è stata eseguita nei mesi di novembre e nicembre dallo Studio Tecnico Associato **BIERREVI** – sede in via San Siro 12/2. 16124 GENOVA – nelle persone del Dott. Vittorio Bonaria e Dott. Matteo Fornaroli, una campagna di indagini geofisiche propedeutiche alla progettazione di un canale scolmatore e sistemazione idraulica dei torrenti San Siro e Magistrato nel Comune di Santa Margherita Ligure.

L'indagine ha previsto l'esecuzione di:

n. 6 profili MASW (Multichannel Analysis Surface Waves)

n. 6 prospezioni HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

In aggiunta a tali indagini sono state condotte dal Dott. Geol. Giorgio Lombardi (coadiuvato dai Dott. Bonaria e Fornaroli) n.2 prove sismiche in foro di tipo "Down Hole" nelle verticali di perforazione SG1 e SG2 profonde rispettivamente 31 m (misura sismica in foro più profonda possibile: 30 m) e 50 m (misura sismica in foro più profonda possibile: 49 m).



Posizionamento delle indagini

2.) METODOLOGIA D'INDAGINE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Per quanto riguarda **le indagini geofisiche di superficie** sono state applicate due distinte metodologie (MASW e HVSR), delle quali vengono di seguito evidenziati i fondamenti teorici.

Le prove sismiche in foro sono diffusamente trattate nel relativo elaborato allegato al presente rapporto.

2.1.) PROSPEZIONE SISMICA TIPO MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è un'indagine sismica non invasiva che consente di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio (V_s) in relazione alla profondità, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi geofoni disposti ad intervalli regolari secondo un allineamento prestabilito.

Nel caso in specie sono state considerate le onde superficiali di Raylegh, ed in particolare la componente verticale del movimento particellare indotto dal passaggio della perturbazione elastica.

La velocità di propagazione è legata alle caratteristiche di rigidezza dei materiali attraversati ed in mezzi stratificati le onde di Raylegh risultano dispersive, cioè le diverse componenti (frequenze) che costituiscono il segnale viaggiano a diverse velocità di fase e di gruppo. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali mentre onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

L'analisi consiste nella trasformazione dei segnali registrati in uno spettro bidimensionale "*phase velocity-frequency* (v-f)" che analizza l'energia di propagazione delle onde superficiali lungo lo stendimento geofonico.

Nel grafico ottenuto è possibile distinguere il "modo fondamentale" delle onde di superficie, in quanto le onde di Rayleigh presentano un carattere marcatamente dispersivo che le differenzia da altri tipi di onde (onde riflesse, onde rifratte, onde multiple).

Sullo spettro di frequenza viene eseguito il "*picking*" attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (vedi le curve di dispersione combinate presentate in allegato). Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della

curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

Variando la geometria del modello di partenza (gli spessori) ed i valori di velocità delle onde S si modifica automaticamente la curva calcolata di dispersione fino a conseguire un buon "*fitting*" con i valori sperimentali.

L'analisi dello spettro bidimensionale v-f consente in questo modo di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo rappresentato dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità.

In ottemperanza alla Normativa in materia antisismica, a partire dal modello sismico monodimensionale è possibile anche calcolare il valore delle Vs_{30} mediante la seguente formula:

$$Vs_{30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{Vs_i}}$$

Vs_{30} rappresenta la "velocità equivalente" di propagazione delle onde di taglio entro 30 m di profondità ed h_i e Vs_i rappresentano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato iesimo per un totale di N strati presenti nei primi 30 metri.

Strumentazione utilizzata

Le misure sono state effettuate con sismografo multicanale 16 bit "*DoReMi*" della *Sara Electronic Instruments* e n. 24 geofoni verticali (sistema di ricezione) a bassa frequenza (4.5 Hz).

Il sistema di energizzazione è costituito da una mazza del peso di 8 Kg battente verticalmente su piastra circolare di diametro 25 cm o direttamente sul terreno. Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di *stacking*).

2.2.) PROSPEZIONE SISMICA HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro Vs30 attraverso un processo di inversione del problema iniziale.

Le ipotesi alla base della tecnica sono:

- una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz);
- assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze;
- le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione.

Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuate, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di *windowing*, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta *Long Period*, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Quindi si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente

in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di *windowing*.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo Vs30.

Strumentazione utilizzata

Le misure sono state effettuate con convertitore sismico "*SR04 GeoBox"* della *Sara Electronic Instruments* che consente l'esecuzione di prove HVSR secondo il metodo Nakamura con possibilità di salvare la curva H/V in tempo reale.

Di seguito si riportano le caratteristiche tecniche della strumentazione:

- Alimentazione: batteria interna ricaricabile, consumo minore di 1W Numero canali ed a/d converter: 3 (SD) dinamica di 144dB (24 bit effettivi fra 0.1 e 10Hz, ENOB)
- Sensibilità: con velocimetri da 4.5Hz: < 1 nanometro/secondo per count
- Campionamento: simultaneo sui tre canali a 10,20,50,100,200,300,400,480,600Hz
- Real Time Clock: Sincronizzato da GPS via PPS modulato
- Precisione RTC: +/-10ppm fra -20/+50°C (+/-40ms rispetto ad UTC)
- Antenna GPS: esterna con 10mt di cavo e connettore BNC
- Interfaccia dati: RS232 con cavo da 8 metri e adattatore USB in dotazione
- Contenitore: Monoblocco in alluminio IP66
- Dimensioni e peso: 155x140x110 mm 3.1kg con sensori da 4.5Hz
- Temperatura operativa: -20/+50°C Conformità: CE

3.) MODALITA' DI ESECUZIONE DEI RILIEVI GEOFISICI DI SUPERFICIE

Preliminarmente all'acquisizione dei dati geofisici, sulla scorta delle indicazioni fornite nel "PROGRAMMA E SPECIFICHE TECNICHE PER INDAGINI GEOTECNICHE, GEOMECCANICHE E GEOFISICHE INTEGRATIVE" (Montaldo Engineering s.r.l.), è stata condotta una fase operativa riguardante l'ubicazione, l'organizzazione e l'approntamento delle indagini.

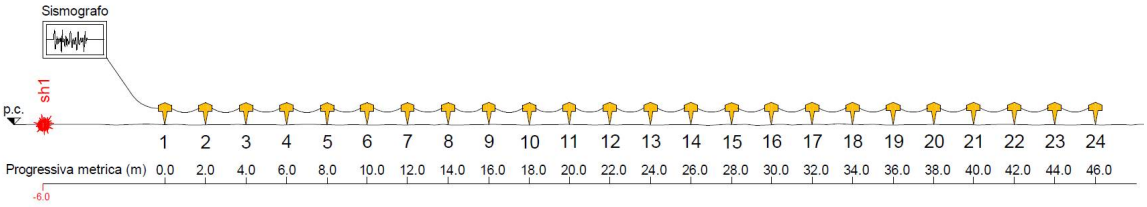
In particolare per quanto alla prova MASW in relazione alla logistica delle aree indagate sono state valutate opportune spaziature geofoniche in relazione gli spazi a disposizione, alla profondità di investigazione ed alla risoluzione desiderata.

3.1.) PROVA MASW

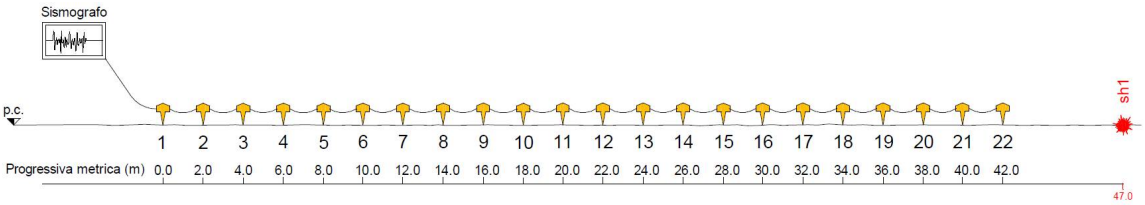
La prova MASW ha previsto l'utilizzo di una sorgente attiva per l'energizzazione e la registrazione simultanea di n. 24 canali utilizzando geofoni a frequenza propria di 4.5 Hz. I profili (M1a, M1b, M2, M3, M4 e M5) sono stati realizzati con distanza intergeofonica di 2.00 m e durata di acquisizione variabile tra 1 e 2 secondi.

In fase di acquisizione si è proceduto sommare (*stacking*) i sismogrammi ottenuti da non meno di 5 *shot* nello stesso punto di energizzazione. Questo ultimo è stato posto a una distanza dal primo o ultimo geofono compresa tra 4,00 m e 10,00 m.

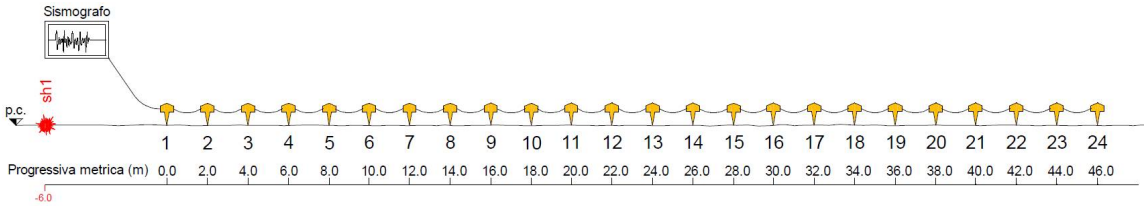
In generale il segnale si è dimostrato soddisfacente in tutti gli stendimenti eseguiti. Di seguito si riportano le relative configurazioni geometriche:



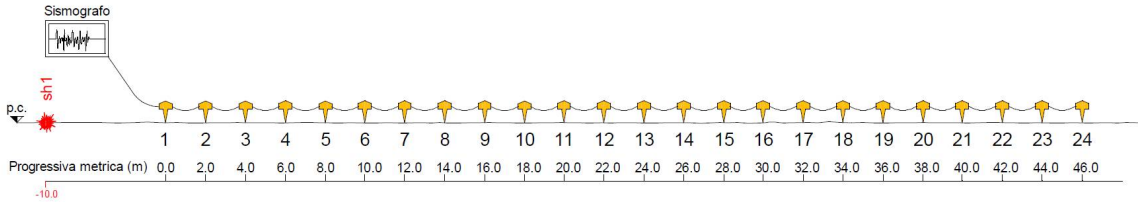
Schema MASW M1a



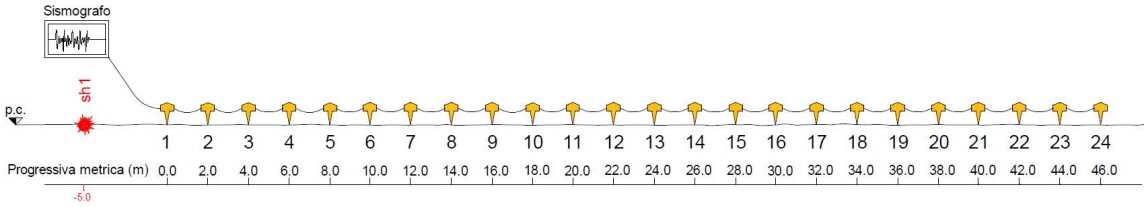
Schema MASW M1b



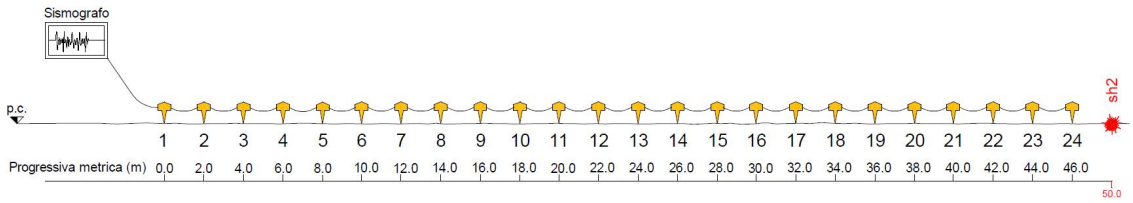
Schema MASW M2



Schema MASW M3



Schema MASW M4



Schema MASW M5

3.2.) PROVA HVSR

Durante le prove HVSR (HV1, HV2, HV3, HV4, HV5 e HV6) lo strumento è stato installato sulla superficie di terreno facendo attenzione alla eventuale presenza di radici, sottoservizi e vicinanza di edifici che possono creare un disturbo del segnale H/V inducendo una forte perturbazione a bassa frequenza.

La presenza di una bolla sferica ha permesso posizionare lo strumento in posizione perfettamente orizzontale. L'accoppiamento con la superficie è diretto ovvero assicurato con piedini dotati di vite.

Il tempo di acquisizione è stato impostato per tutte le sei prove pari a 20 minuti.

4.) RISULTATI DELLE INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE

Laddove è stato possibile l'elaborazione delle indagini geofisiche di superficie è stata calibrata considerando la stratigrafia desunta dai due carotaggi (SG1 e SG2) e dai risultati ottenuti dalle altrettante prove DH (Down Hole).

Inoltre, l'esecuzione di due prove HVSR (HV2 e HV3) in corrispondenza di altrettante stese MASW (rispettivamente M1b e M1a) ha anche consentito l'elaborazione congiunta dei dati ricavati delle due tecniche di misurazione "MASW attiva" – "sismica passiva" ovvero, nel caso in questione, M1b-HV2 e M1a-HV3.

4.1.) ELABORAZIONE DELLE PROVE MASW

La fase di elaborazione delle prove MASW si è articolata in due principali fasi:

1. determinazione della curva di dispersione e valutazione dello spettro di velocità;
2. processo di inversione della curva interpretata mediante picking per l'ottenimento del profilo Vs/z.

L'elaborazione è stata condotta con software SeisImager/2D, che ha permesso la trasformazione del sismogramma acquisito nel diagramma velocità di fase/frequenza dove è stato possibile effettuare il "*picking*" della curva di dispersione. Mediante il modulo *WaveEq* si è proceduto a stimare, tramite un processo di inversione, la curva di dispersione numerica che meglio approssima quella sperimentale ottenendo l'andamento della velocità delle onde di taglio (Vs) con la profondità (z).

In riferimento ai grafici Vs/z riportati in allegato si segnala che la diversa tonalità di grigio indica la porzione di sottosuolo in cui il dato di Vs è altamente attendibile.

In fase di acquisizione sono state effettuate energizzazioni ad entrambi gli estremi dello stendimento (shot in andata e ritorno) al fine di verificare eventuali variazioni laterali di Vs lungo il profilo indagato. Nel complesso l'elaborazione ha dimostrato l'inesistenza di sensibili variazioni laterali di velocità delle onde di taglio in corrispondenza di tutti i profili eseguiti.

La tabella seguente riassume le caratteristiche geometriche delle tese effettuate e i parametri di acquisizione:

ID prova	Lungh. array (m)	D. geof. (m)	Shot (m)	Frequenza di campionamento (ms)	Durata (ms)
M1-A	46.00	2.00	6.00 da G1	1000	1500
M1-B	42.00	2.00	5.00 da G22	1000	1500
M2	46.00	2.00	6.00 da G1	1000	1500
M3	46.00	2.00	10.00 da G1	1000	1500
M4	46.00	2.00	5.00 da G1	1000	1500
M5	46.00	2.00	4.00 da G24	1000	1500

Rimandando per maggior dettaglio agli allegati, i valori di Vs30 calcolati per i singoli profili, ponendo il piano di riferimento coincidente con il piano campagna (z=0), sono i seguenti:

ID prova	Vs_{30} (m/sec)
M1-A	**799.76**
M1-B	**721.93**
M2	**833.34**
M3	**848.81**
M4	**819.85**
M5	**790.71**

Come noto il calcolo di Vs30 consente di classificare il suolo di fondazione in una delle cinque categorie di sottosuolo in ottemperanza al D.M. 14.01.2008 e s.m.i..

L'elaborazione ha permesso di ottenere le seguenti classi di sottosuolo:

ID prova	Vs_{30} (m/sec)	Classe
M1-A	799.76	**B**
M1-B	721.93	**B**
M2	833.34	**A**
M3	848.81	**A**
M4	819.85	**A**
M5	790.71	**B**

4.2.) ELABORAZIONE PROVE HVSR

I risultati delle analisi sono stati ottenuti con il software Grilla della Micromed s.r.l. In sintesi il segnale dei velocimetri è acquisito in ciascun sito per un tempo di 20 minuti. Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

a) le curve H/V ricavate con i seguenti parametri:
   - larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
   - lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
   - rimozione nelle finestre di eventuali transienti ancora presenti.

b) le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto, ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto (a).

La scheda in esteso, secondo le linee guida del progetto europeo Sesame, del sito analizzato è riportata in Allegati. I criteri di significatività consistono in una serie di criteri di tipo statistico aventi lo scopo di valutare la significatività delle misure H/V.

La prima parte di criteri è dedicata alla valutazione dell'attendibilità statistica della curva H/V (in pratica, individuata la frequenza di risonanza, i criteri servono a verificare se la registrazione è stata eseguita per un tempo abbastanza lungo, e analizzata attraverso un numero sufficiente di sotto-finestre di durata adeguata).

La seconda parte si riferisce alla valutazione della chiarezza del picco H/V (cioè i criteri servono per analizzare la morfologia del picco e per valutare se la sua forma sia geometricamente ben definita).

Affinché la curva H/V sia affidabile, occorre che ciascuno dei primi tre criteri sia soddisfatto, mentre per valutare la chiarezza del picco H/V dovrebbero essere verificati almeno 5 dei 6 criteri stabiliti. La verifica dei criteri Sesame è eseguita in automatico dal software Grilla ed è compresa nel rapporto finale (Allegato).

Le curve H/V sono curve sperimentali che rappresentano il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali (riferite alla componente verticale e alle componenti orizzontali del moto) in funzione della frequenza.

I picchi della curva H/V presenti a una data frequenza possono essere più o meno evidenti e interpretabili a seconda dell'entità del contrasto d'impedenza sismica tra il substrato rigido e lo strato più superficiale di copertura.

L'asse orizzontale rappresenta la frequenza in scala logaritmica per rendere più visibili i primi metri (5-50 Hz), che sono più importanti in ambito geologico. La scala verticale è il rapporto adimensionale tra lo spettro orizzontale e quello verticale.

Uso combinato MASW-sismica passiva a stazione singola

Questa analisi è stata sviluppata utilizzando il software Grilla della Micromed s.r.l. per ottenere un modello sismo-stratigrafico nel sito di misura.

L'inversione delle misure ai fini stratigrafici sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli sintetici cioè quelli calcolati sul campo d'onde completo di un modello 3D.

Per produrre un profilo sismostratigrafico dalla curva HV è indispensabile avere un vincolo relativo alla profondità del riflettore. È naturalmente possibile anche che il vincolo sia fornito anziché dalla sua profondità da indicazioni sul profilo Vs ottenuto dalla prova MASW.

In questo caso l'approccio misto della tecnica MASW e a stazione singola si rivela ideale in quanto la prova MASW fornisce il vincolo per il fit della prova HV anche in assenza di sondaggi o prove penetrometriche e la prova HV permette di ottenere profili Vs fino a profondità maggiori di quelle raggiungibili dalla sola prova MASW. Relativamente alla linea sismica M1A è stata utilizzata la prova HV3 mentre per la linea sismica M1B la prova HV2. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati sono vicini a quelli sintetici.

Il vincolo per il fit della prova HV1 è stato fornito dal sondaggio geognostico SG2, mentre per le prove HV4, HV5 e HV6 dal sondaggio geognostico SG1.

ID prova	Vs_{30} (m/sec)	Classe
HV1	814	**A**
HV2	569	**B**
HV3	585	**B**
HV4	714	**B**
HV5	586	**B**
HV6	849	**A**

5.) CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La campagna di indagini geofisiche condotta ha consentito una modellizzazione sismica sufficientemente accurata del sito interessato dalla parte iniziale dello scolmatore in progetto.

In particolare sia le indagini MASW che le prove HVSR hanno fornito modelli del sottosuolo che evidenziano la presenza, nella zona grossomodo corrispondente alla traccia dello scolmatore, di coperture aventi spessore modesto non superiore a 4-5 m.

Esse ammantano il substrato roccioso calcareo, riferito alla Formazione del Monte Antola, che si presenta in stato di fratturazione medio-elevato come evidenziato anche dalle stratigrafie ricavate dai due sondaggi geognostici (SG1 e SG2).

In particolare, le prove geofisiche di superficie eseguite nel settore compreso tra i due sondaggi hanno tutte evidenziato la presenza di spessori dell'ordine dei 5-7 m di substrato fortemente fratturato (Vs<500-600 m/s) a cui fa seguito, in profondità, un aumento della rigidità associabile ad un incremento della compattezza generale dell'ammasso roccioso ovvero diminuzione del grado di fratturazione.

Le prove in foro DH hanno comunque evidenziato, anche a profondità superiori a 10-15 m da p.c., la presenza all'interno del substrato roccioso di inversioni di velocità delle onde P ed S associabili alla presenza di discontinuità strutturali aventi ampiezze metriche, che non sono tuttavia visibili e/o quantificabili dalle sole indagini geofisiche di superficie.

Genova, 10 dicembre 2015

bierrevi®
Studio Tecnico Associato
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA
Tel / Fax. 0102463472 – info@bierrevi.it
Part. IVA 03844550107

Studio Tecnico Ass.to BIERREVI

REGIONE LIGURIA

CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA

COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE

PROGETTAZIONE DEFINITIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN CANALE SCOLMATORE E SISTEMAZIONE IDRAULICA DEI TORRENTI SAN SIRO E MAGISTRATO IN COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE (GE)

COMMITTENZA :

COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE

RAPPORTO INDAGINI GEOFISICHE MASW

bierrevi®
Studio Tecnico Associato

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
*di **BONARIA** Dott. Geol. Vittorio, **FORNAROLI** Dott. Geol. Matteo, **REPETTO** Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

ELABORATO PROVA MASW
M1-A/B

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

MASW M1A
ANDATA (SH1)

DATI SPERIMENTALI

Numero di ricevitori 24
Distanza tra i sensori:..... 2.0 m
Numero di campioni temporali 1000
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1499ms

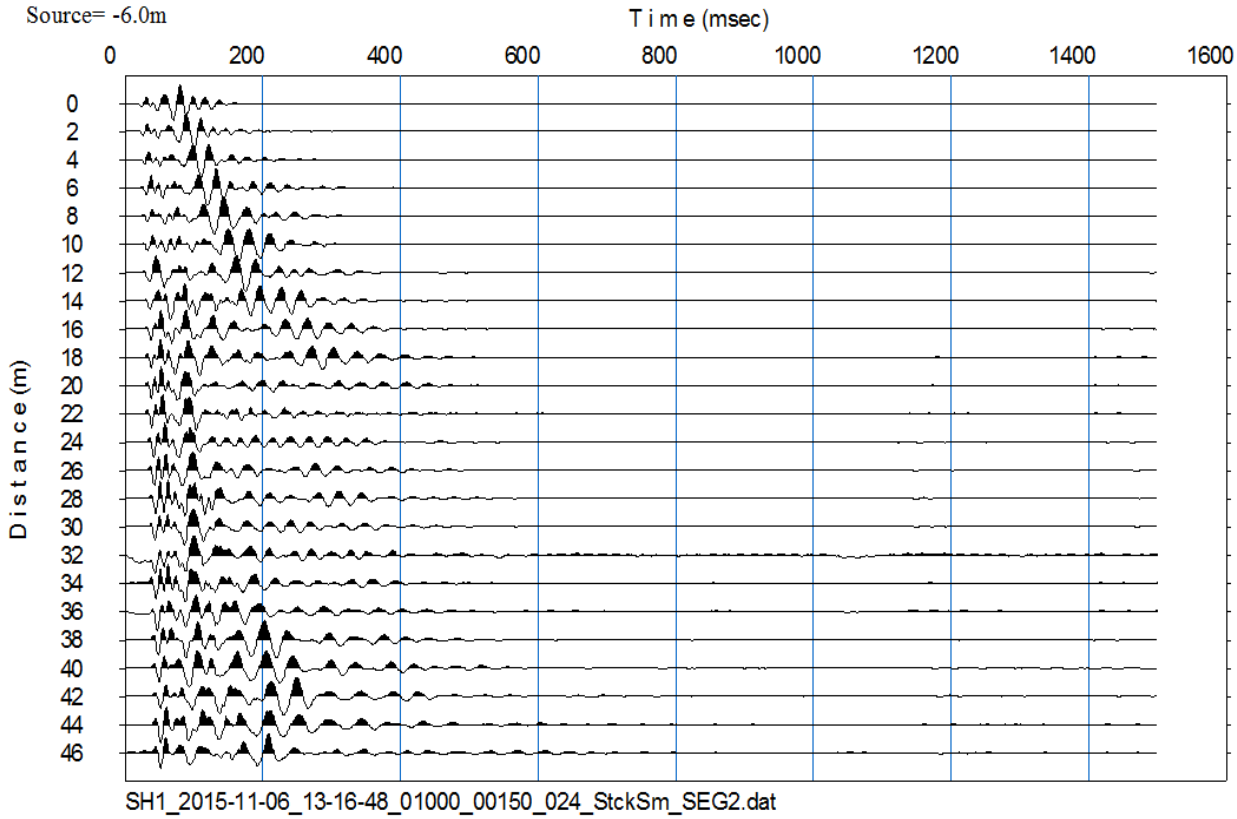


Fig. 1: tracce sperimentali

RISULTATI DELL'ANALISI

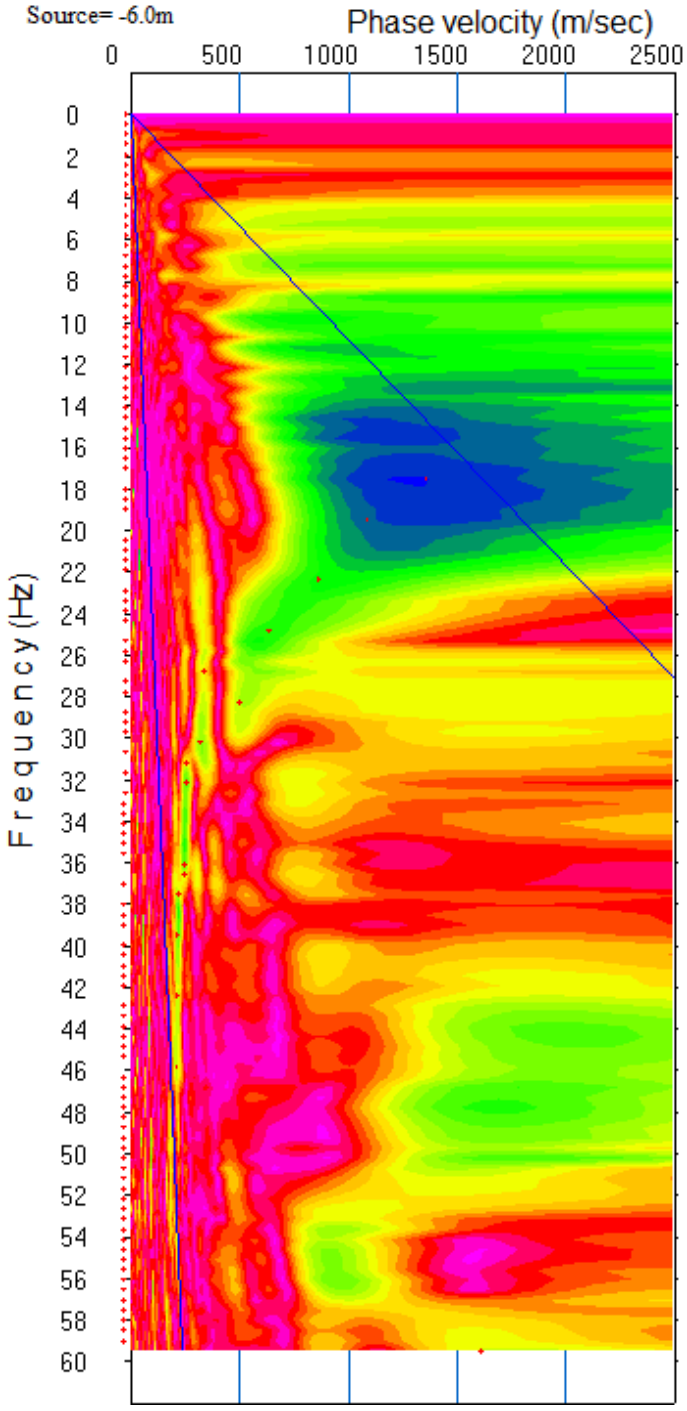
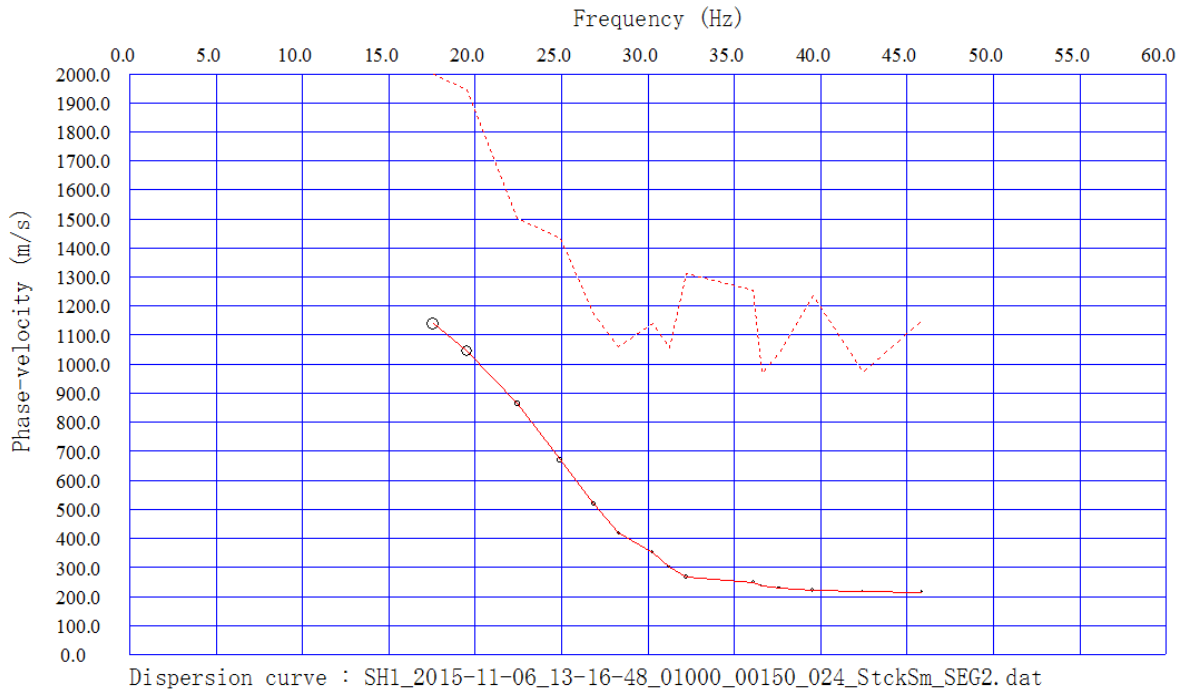


Fig. 2: spettro F/V – picking

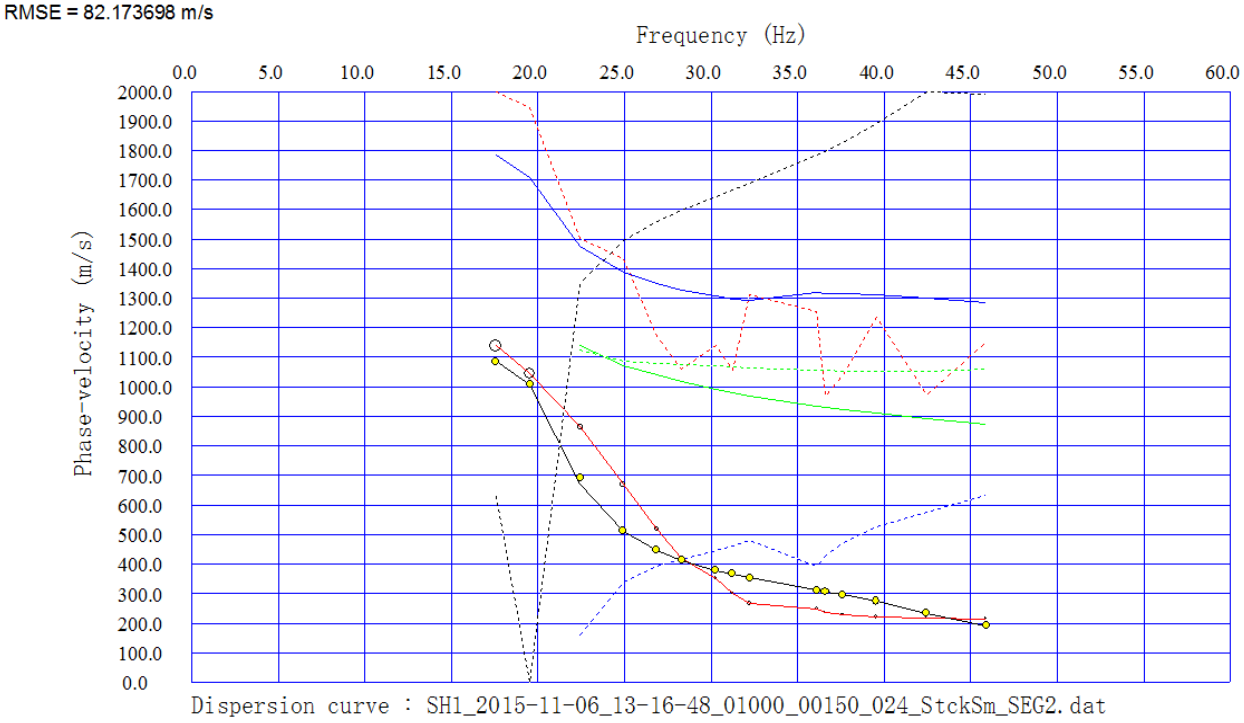
STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

CURVA DI DISPERSIONE

Frequenza finale..... 17Hz
Frequenza iniziale 46Hz
Numero di modi..... 2

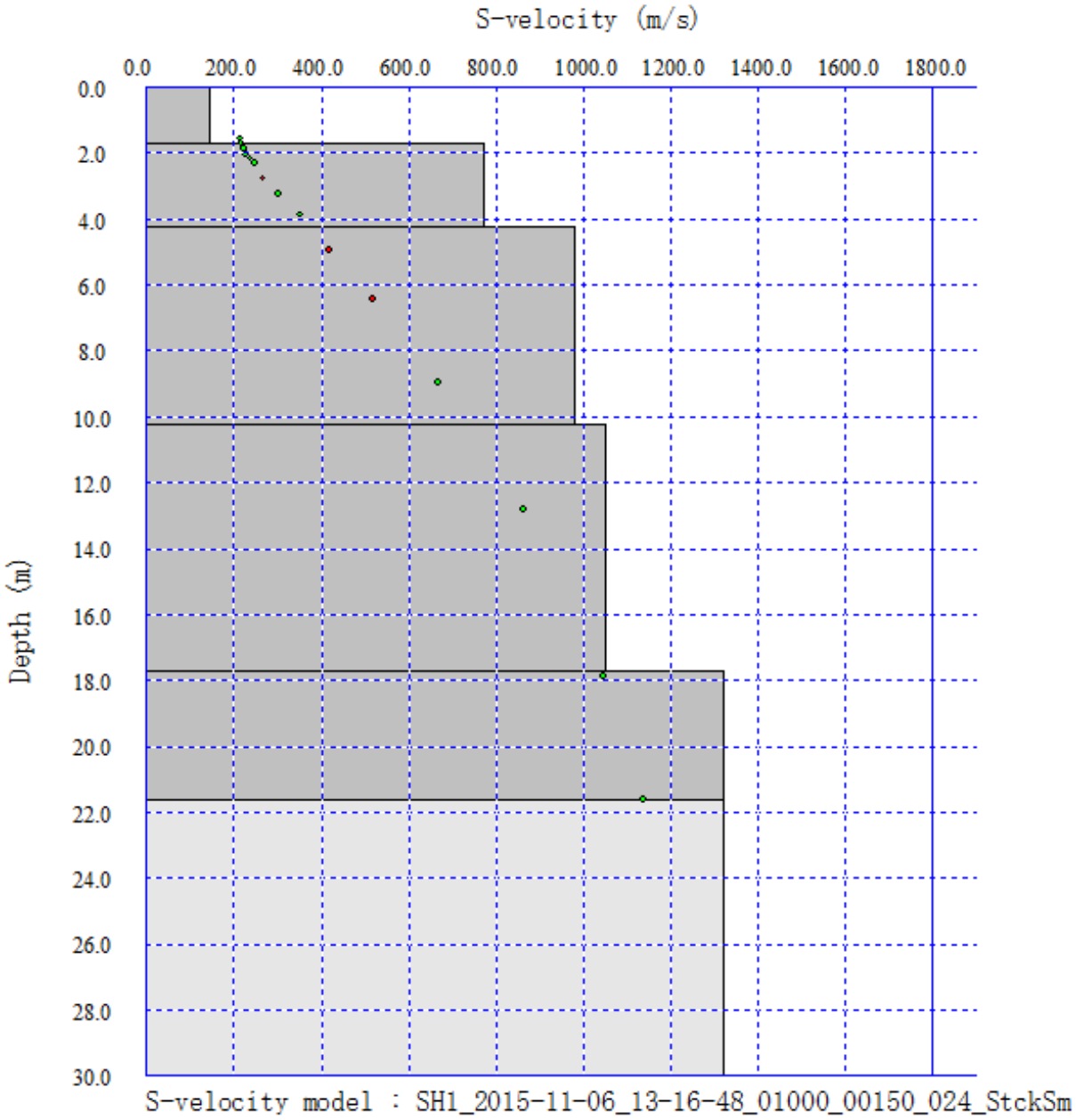


RMSE = 82.173698 m/s



STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

PROFILO Vs



RISULTATI FINALI

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1.70	1.7	145.47
4.20	2.5	770.69
10.20	6	981.15
17.70	7.5	1049.62
30.00	12.3	1319.65

Piano di riferimento z [m] 0
Vs30 [m/s]..... **799.76**
Tipo di suolo ..... B

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

MASW M1B
RITORNO (SH1)

DATI SPERIMENTALI

Numero di ricevitori 22
Distanza tra i sensori:..... 2.0 m
Numero di campioni temporali 1000
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1499ms

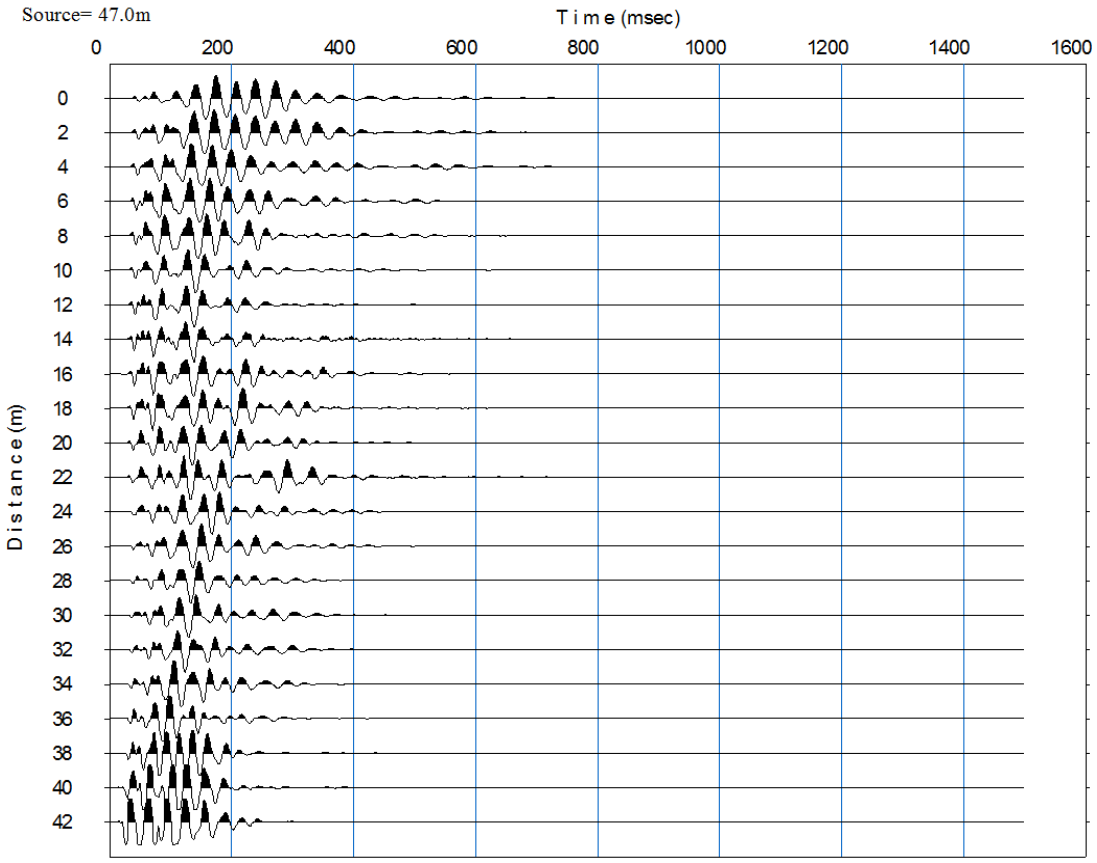


Fig. 1: tracce sperimentali

RISULTATI DELL'ANALISI

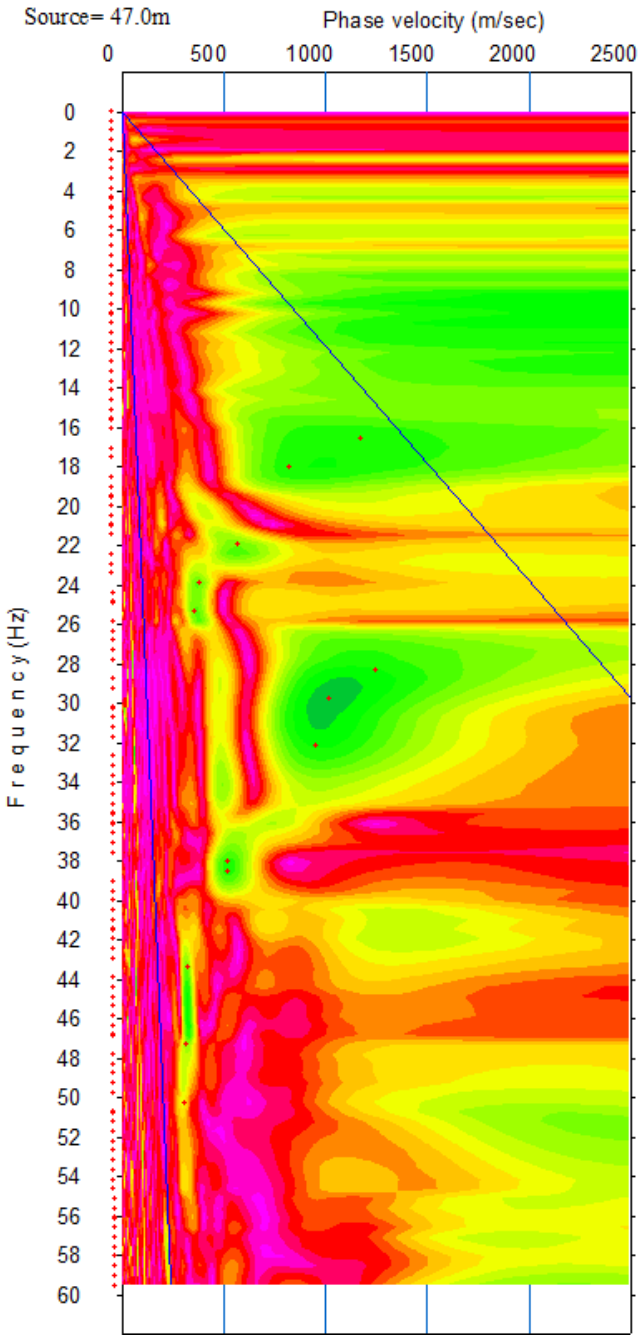
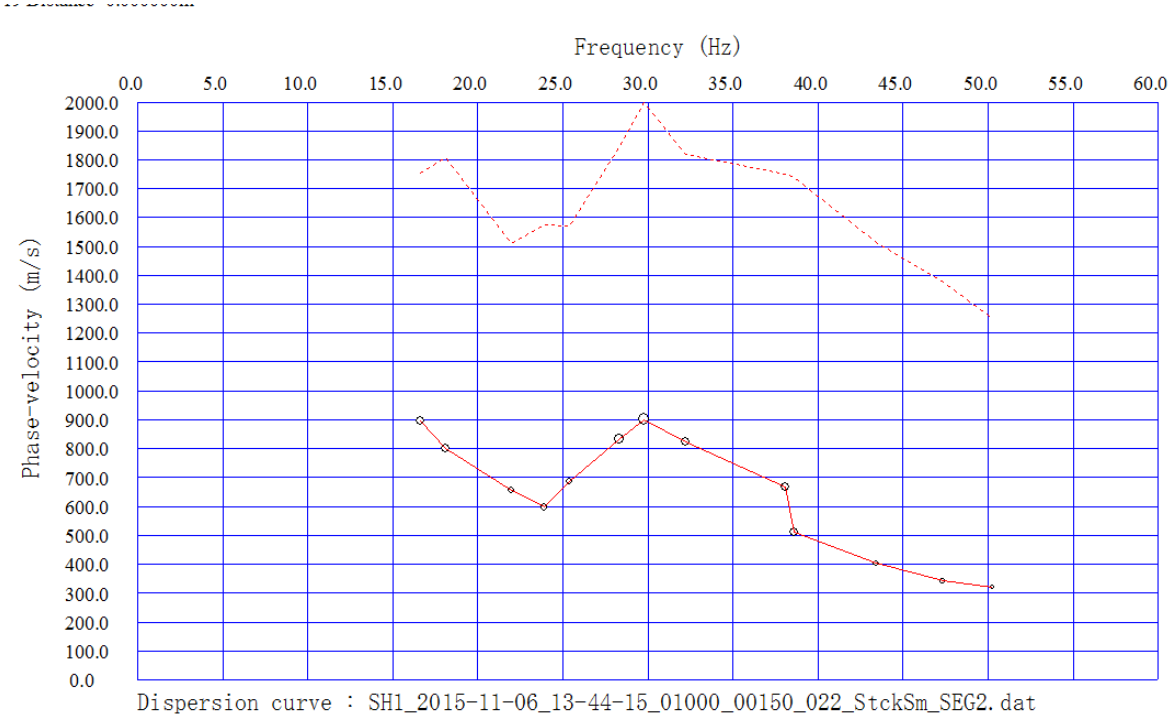


Fig. 2: spettro F/V – picking

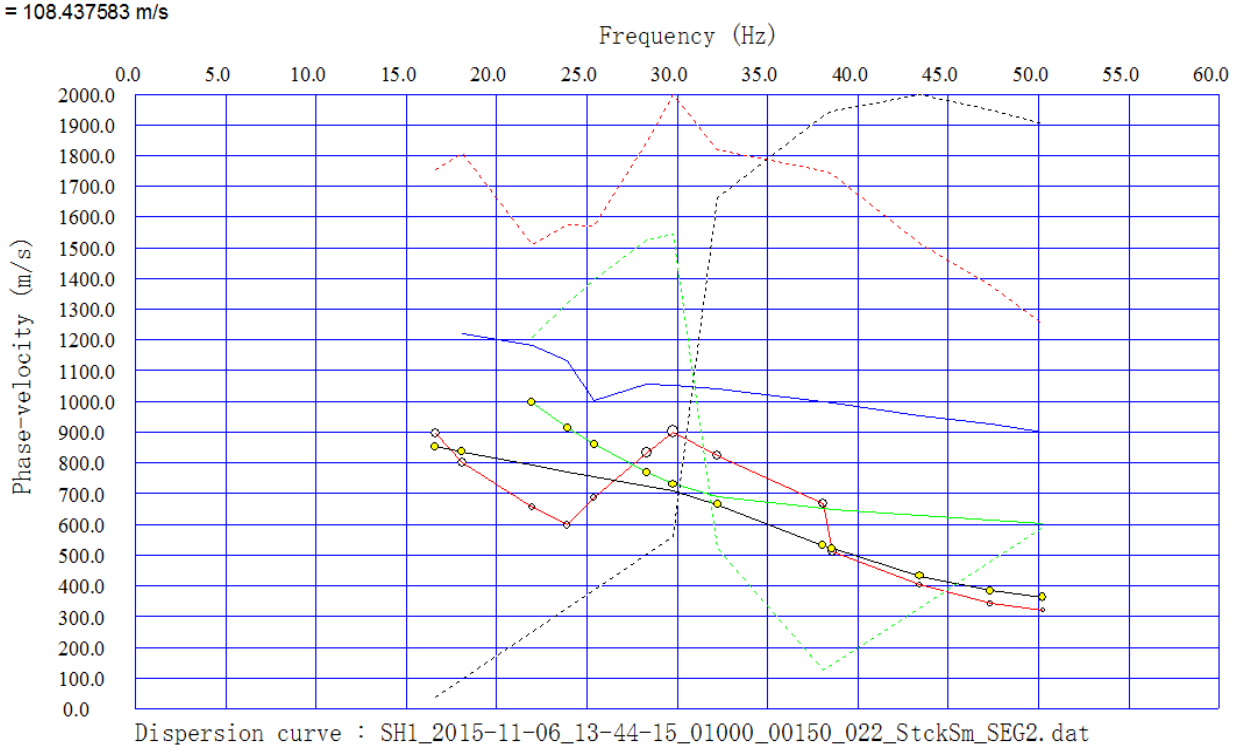
STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

CURVA DI DISPERSIONE

Frequenza finale..... 16Hz
Frequenza iniziale 50Hz
Numero di modi..... 2

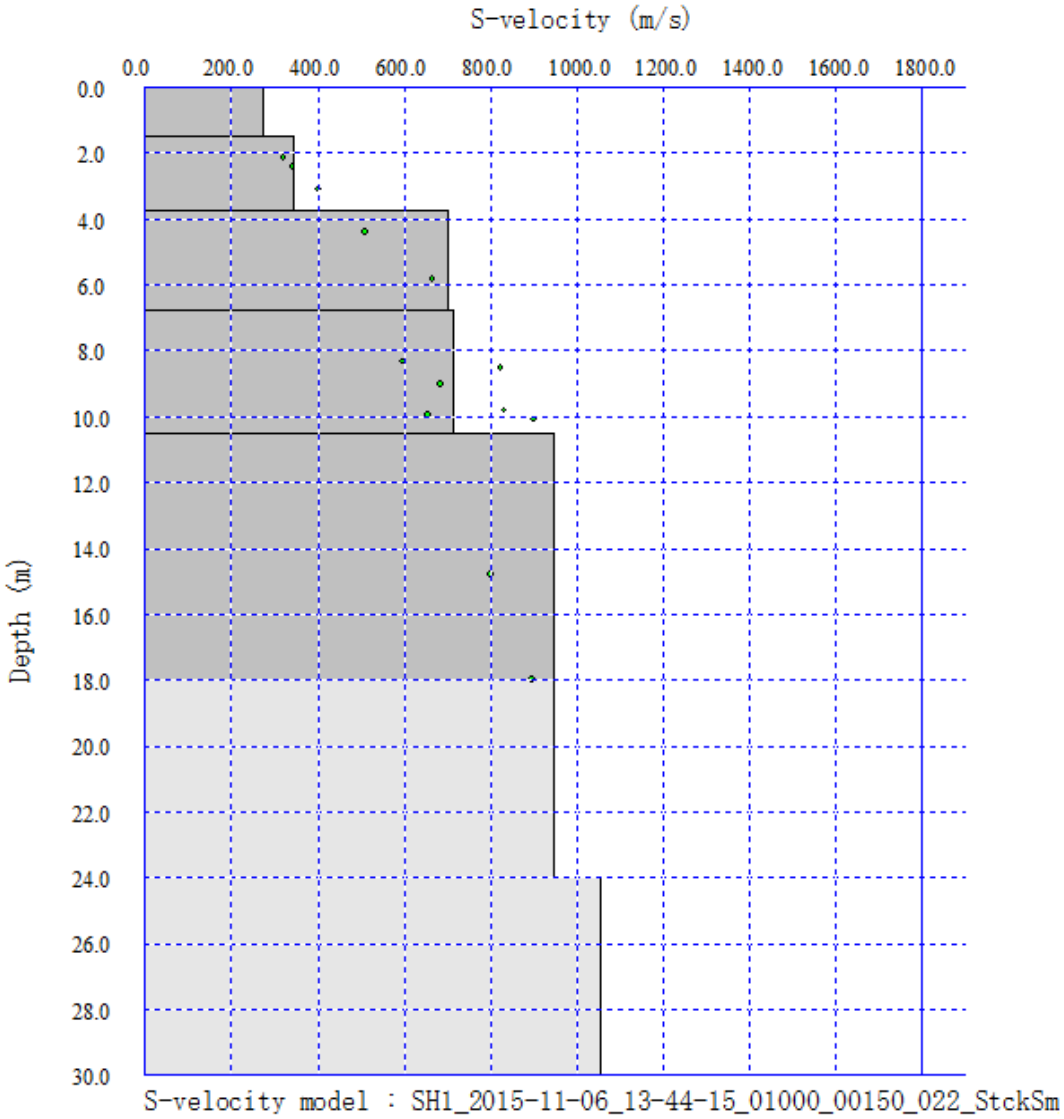


RMSE = 108.437583 m/s



STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

PROFILO Vs



RISULTATI FINALI

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1.5	1.5	271.7
3.75	2.25	344.1
6.75	3	699.66
10.50	3.75	715.27
23.00	13.5	945.31
30.00	6	1055.56

Piano di riferimento z [m] 0
Vs30 [m/s]..... **721.93**
Tipo di suolo ..... B

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
*di **BONARIA** Dott. Geol. Vittorio, **FORNAROLI** Dott. Geol. Matteo, **REPETTO** Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

ELABORATO PROVA MASW
M2

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

MASW M2
ANDATA (SH1)

DATI SPERIMENTALI

Numero di ricevitori 24
Distanza tra i sensori:..... 2.0 m
Numero di campioni temporali 1000
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1499ms

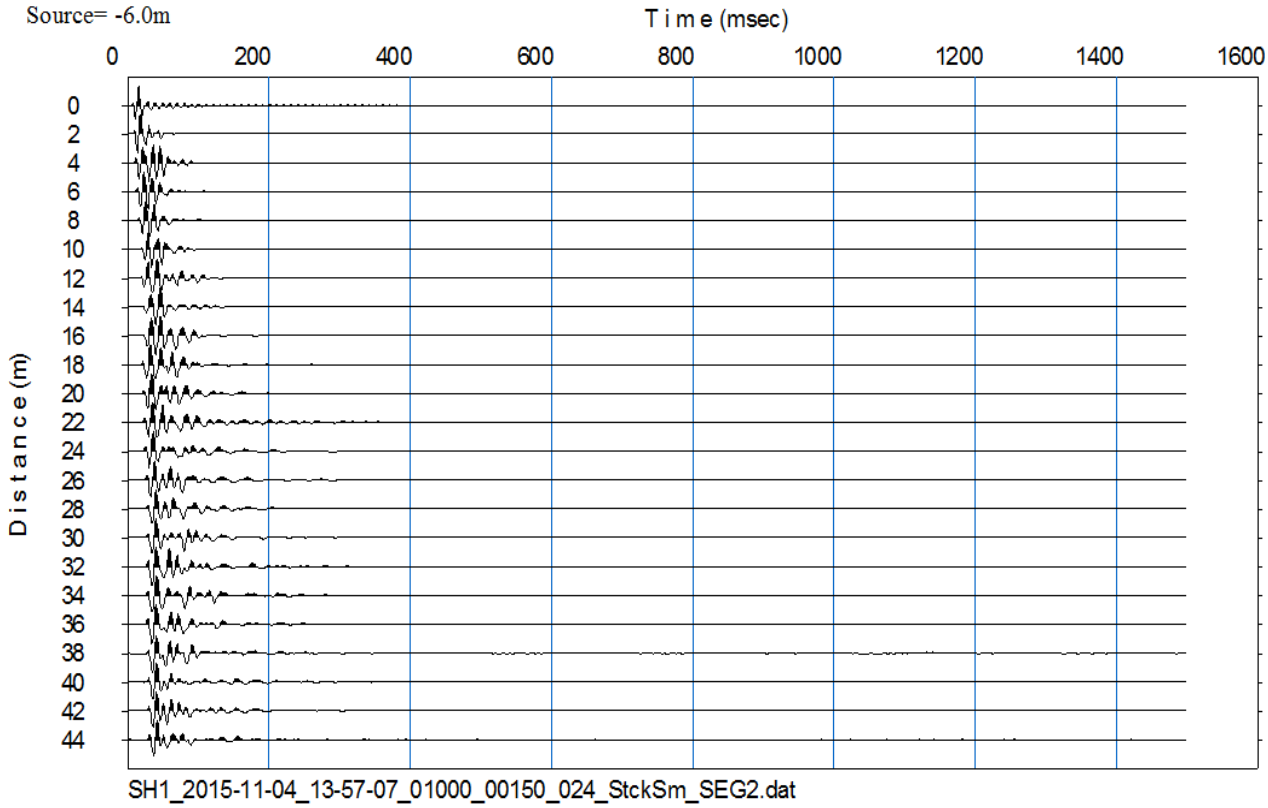


Fig. 1: tracce sperimentali

RISULTATI DELL'ANALISI

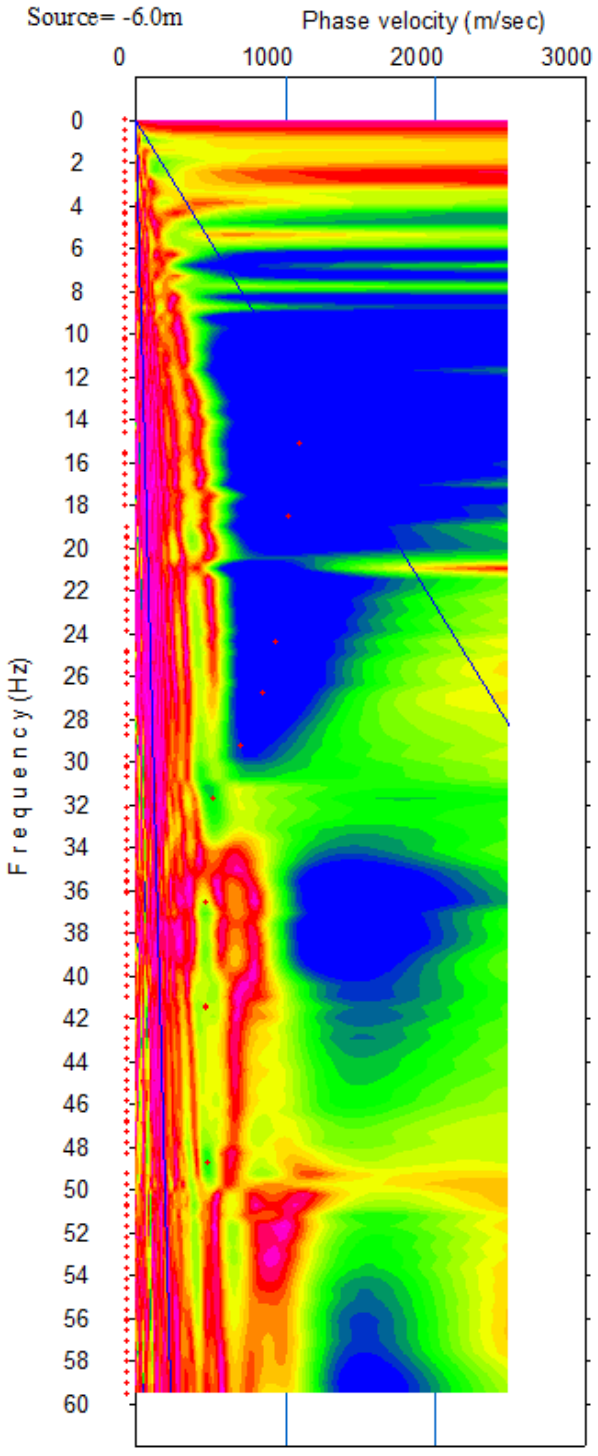
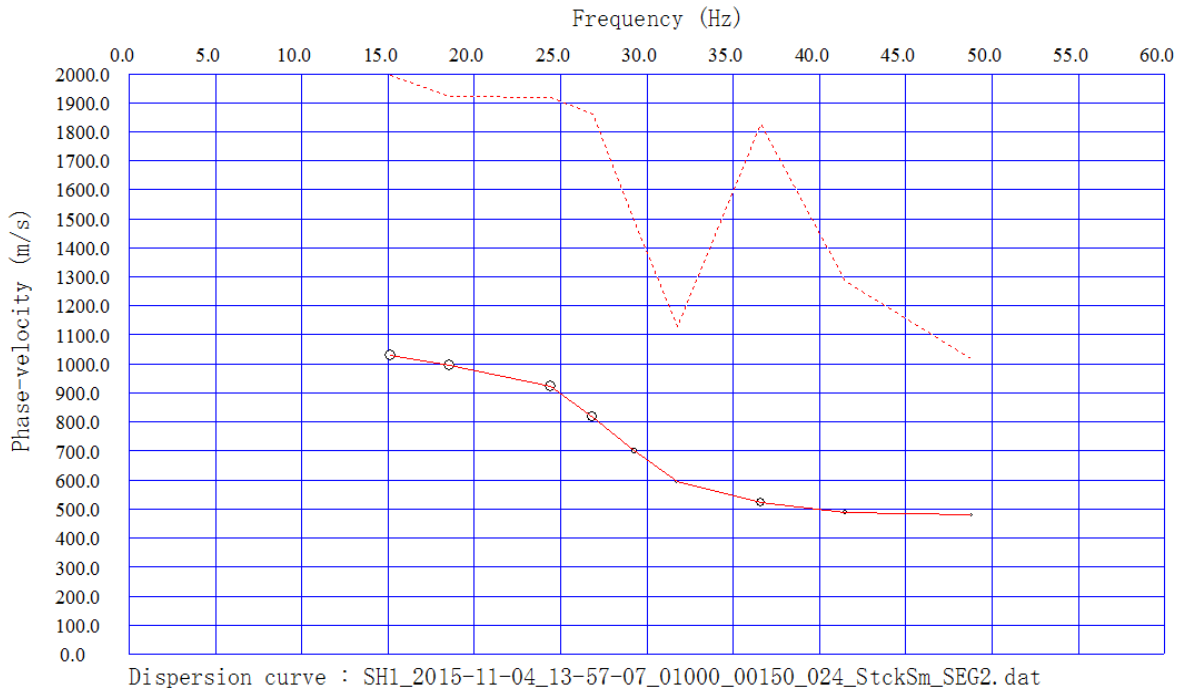


Fig. 2: spettro F/V – picking

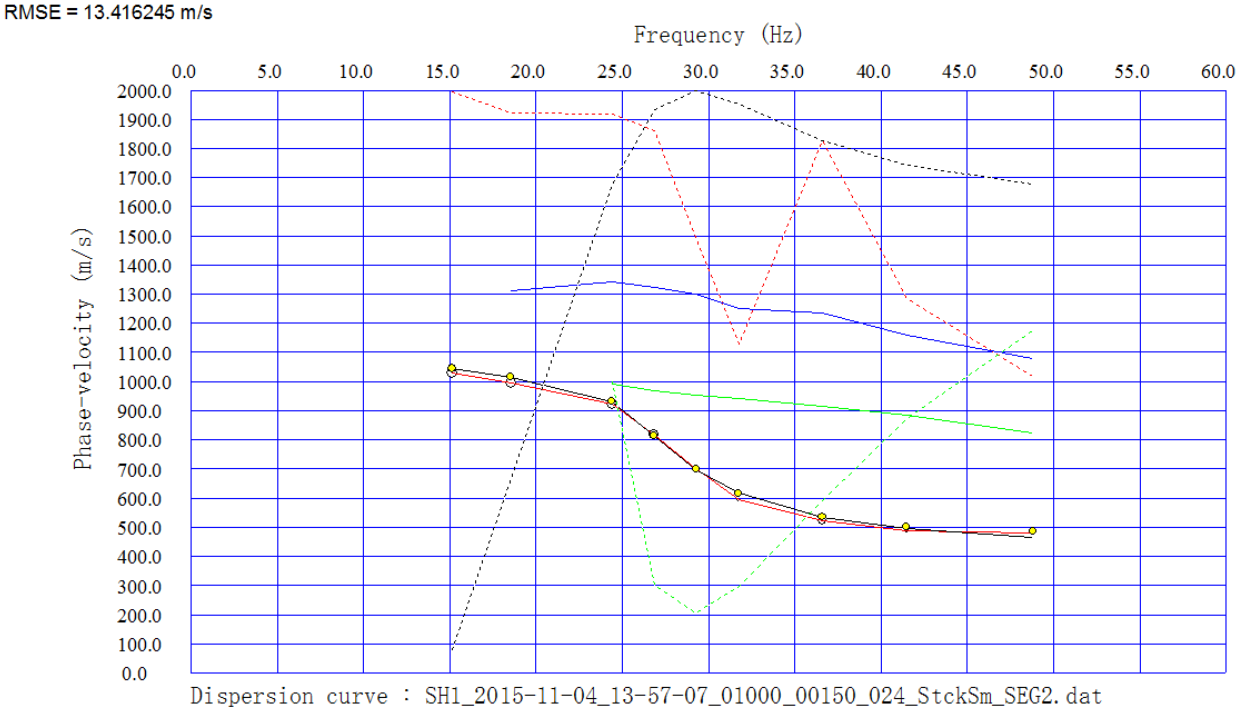
STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

CURVA DI DISPERSIONE

Frequenza finale..... 15Hz
Frequenza iniziale 49Hz
Numero di modi..... 2

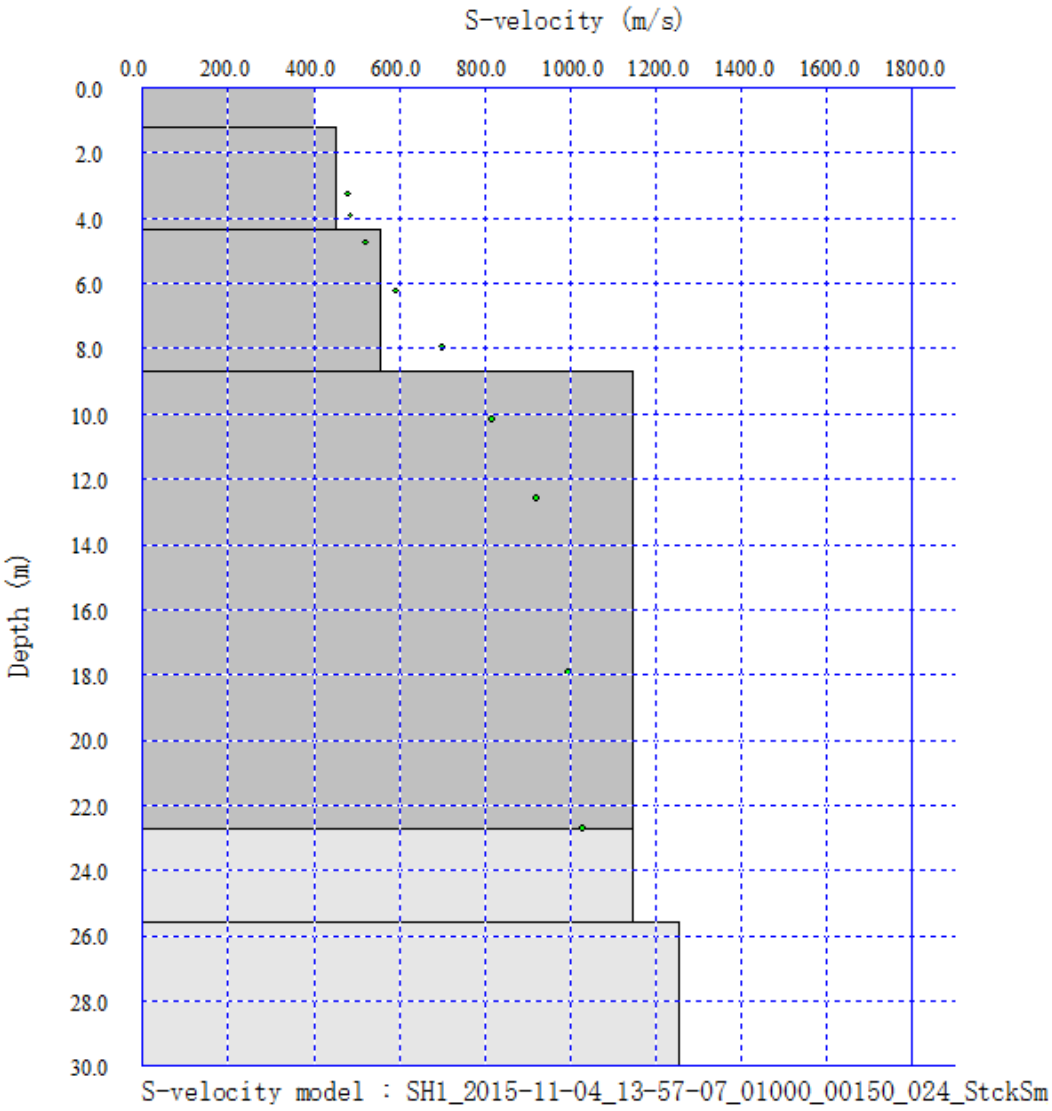


RMSE = 13.416245 m/s



STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

PROFILO Vs



RISULTATI FINALI

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1.20	1.2	400.94
4.30	3.1	452.23
8.70	4.4	556.14
25.50	16.8	1148.31
30.00	4.5	1254.07

Piano di riferimento z [m] 0
Vs30 [m/s]..... **833.84**
Tipo di suolo ..... A

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
*di **BONARIA** Dott. Geol. Vittorio, **FORNAROLI** Dott. Geol. Matteo, **REPETTO** Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

ELABORATO PROVA MASW
M3

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
*di **BONARIA** Dott. Geol. Vittorio, **FORNAROLI** Dott. Geol. Matteo, **REPETTO** Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

MASW M3
ANDATA (SH1)

DATI SPERIMENTALI

Numero di ricevitori 24
Distanza tra i sensori:..... 2.0 m
Numero di campioni temporali 1000
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1499ms

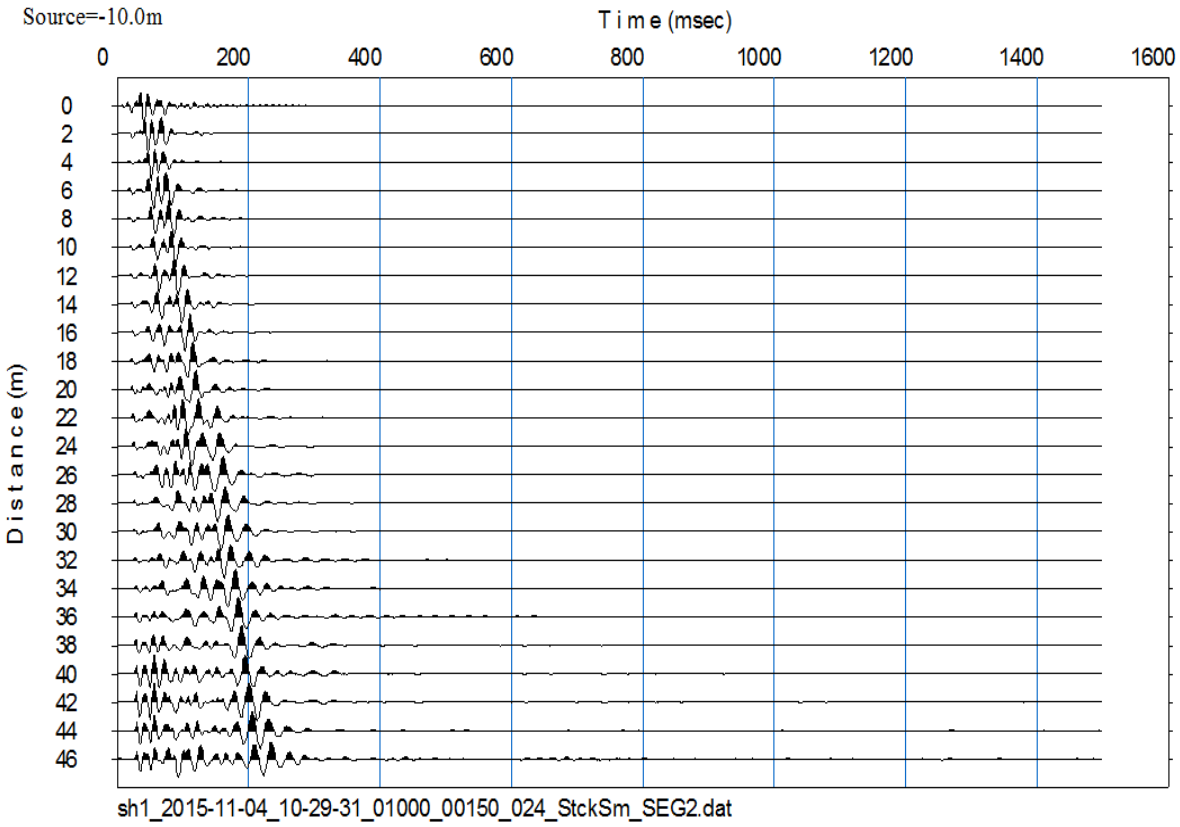


Fig. 1: tracce sperimentali

RISULTATI DELL'ANALISI

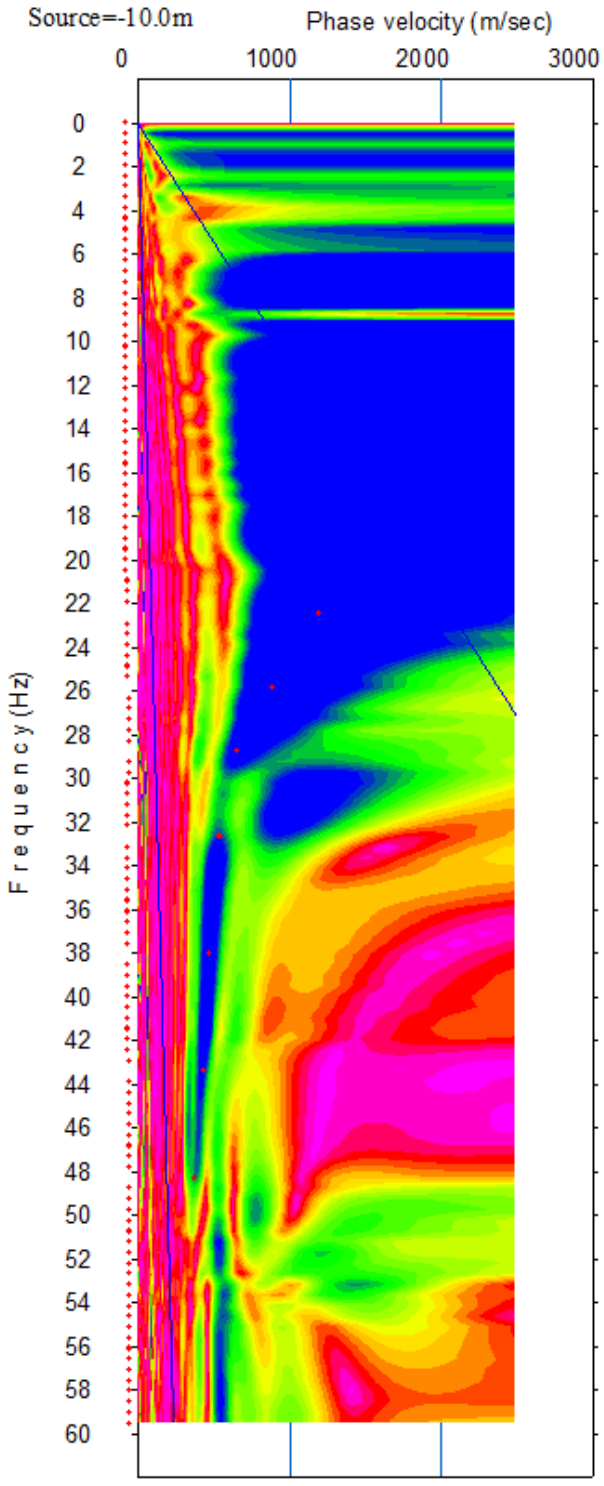
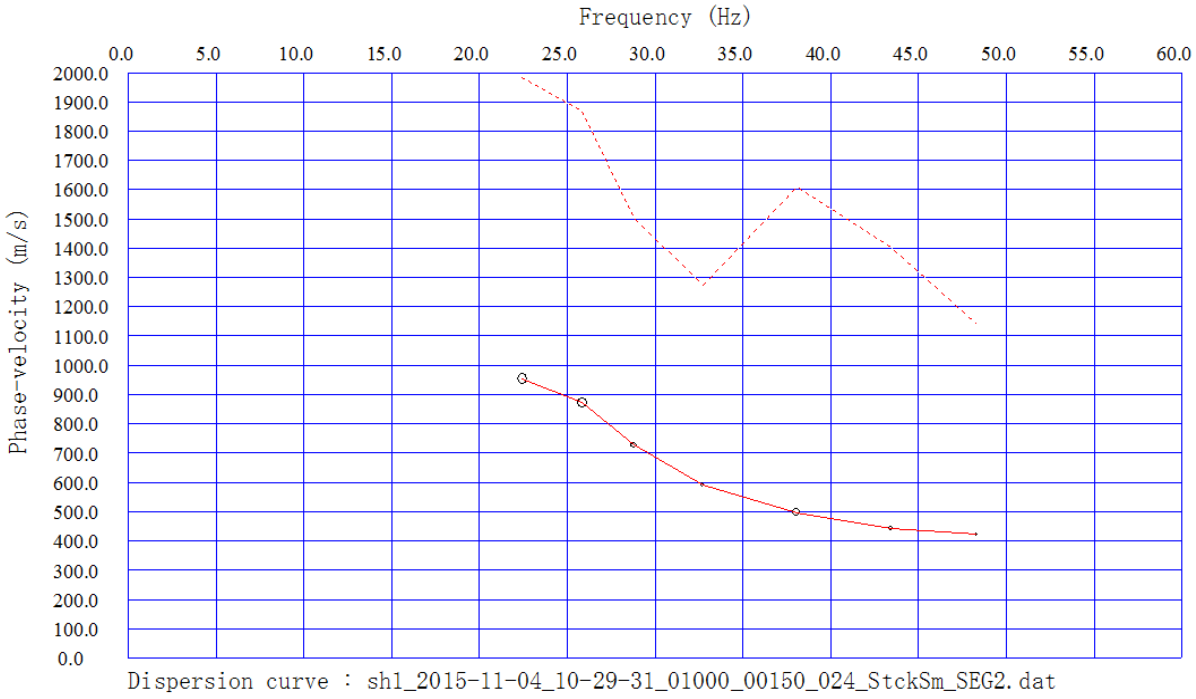


Fig. 2: spettro F/V – picking

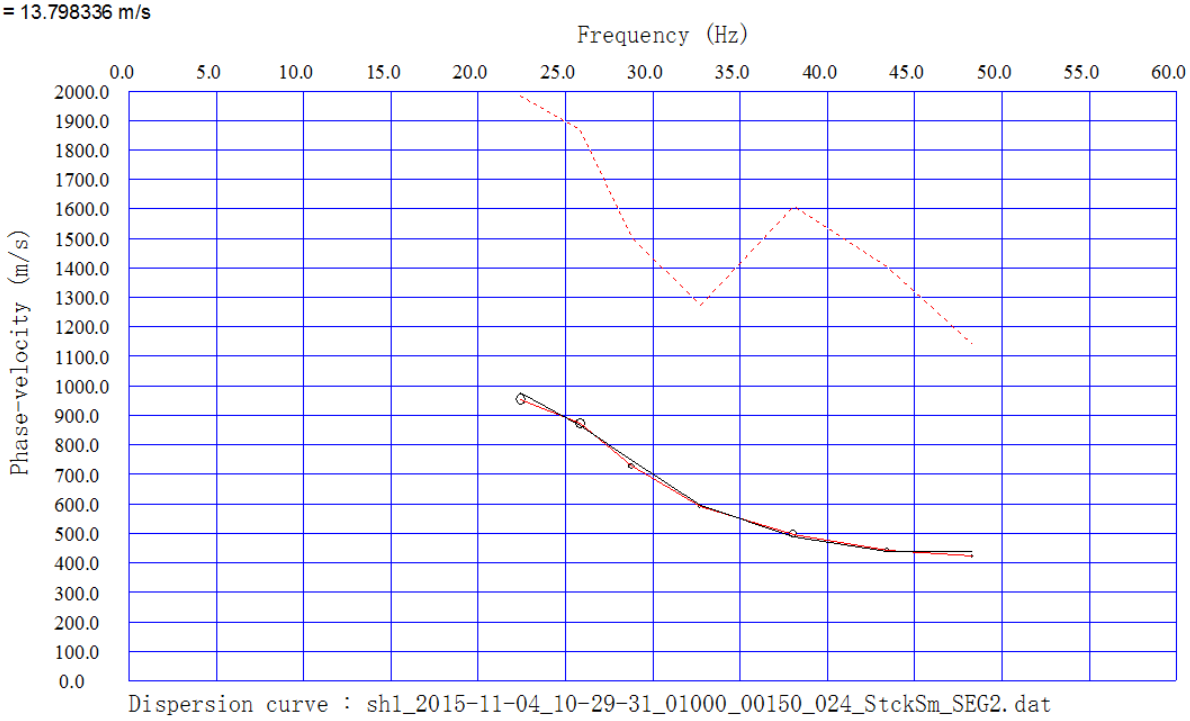
STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

CURVA DI DISPERSIONE

Frequenza finale..... 22Hz
Frequenza iniziale 47Hz
Numero di modi..... 1



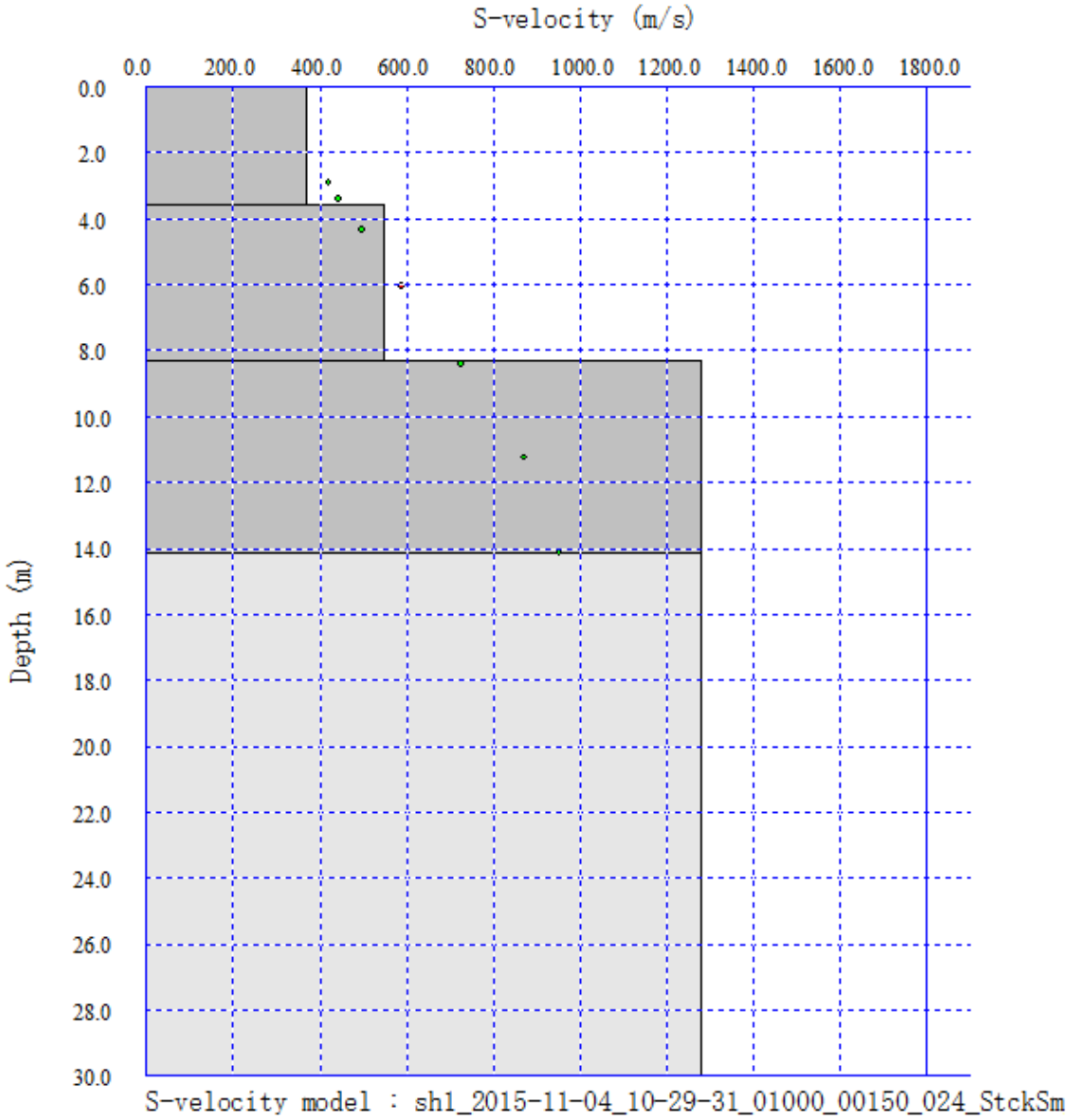
RMSE = 13.798336 m/s



Elaborato prova MASW

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

PROFILO Vs



RISULTATI FINALI

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
3.56	3.56	367.73
8.30	4.74	546.23
30.00	21.70	1277.61

Piano di riferimento z [m] 0
Vs30 [m/s]..... **848.81**
Tipo di suolo ..... A

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
*di **BONARIA** Dott. Geol. Vittorio, **FORNAROLI** Dott. Geol. Matteo, **REPETTO** Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

ELABORATO PROVA MASW
M4

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
*di **BONARIA** Dott. Geol. Vittorio, **FORNAROLI** Dott. Geol. Matteo, **REPETTO** Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

MASW M4
ANDATA (SH1)

DATI SPERIMENTALI

Numero di ricevitori 24
Distanza tra i sensori:..... 2.0 m
Numero di campioni temporali 1000
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1499ms

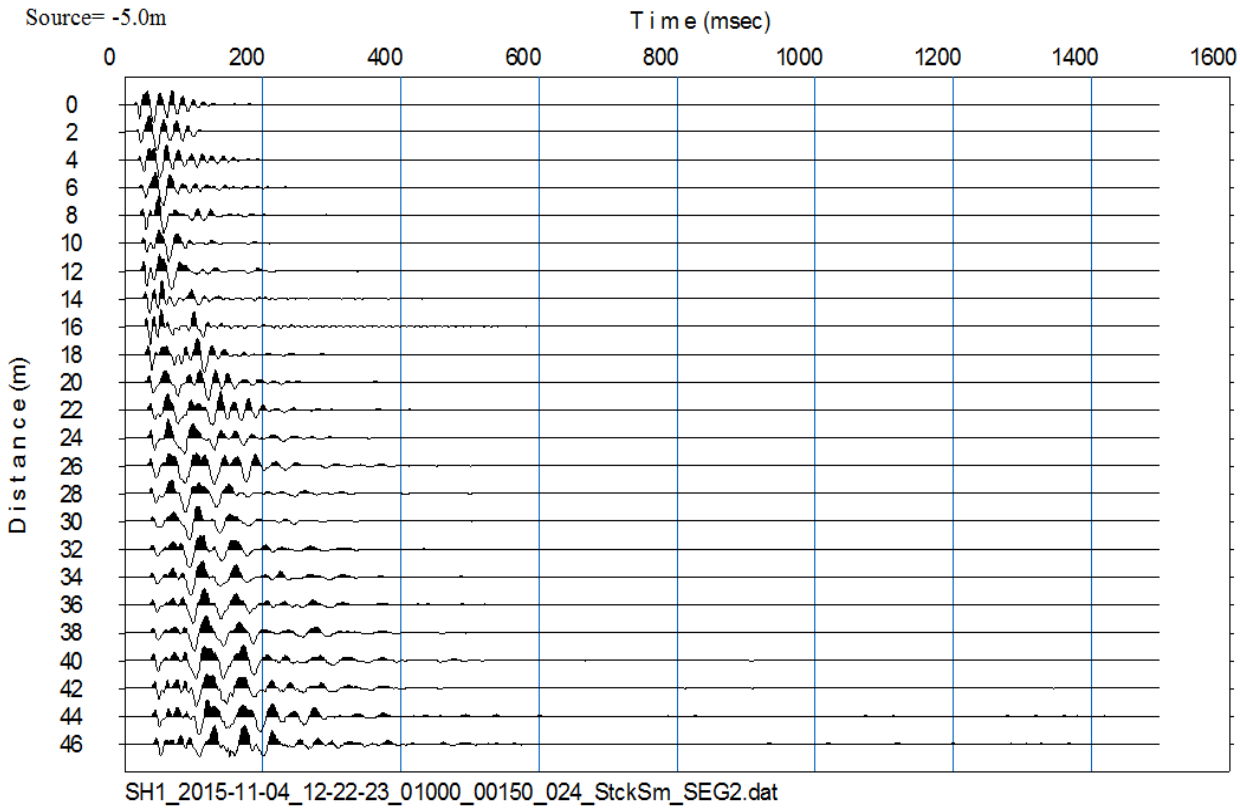


Fig. 1: tracce sperimentali

RISULTATI DELL'ANALISI

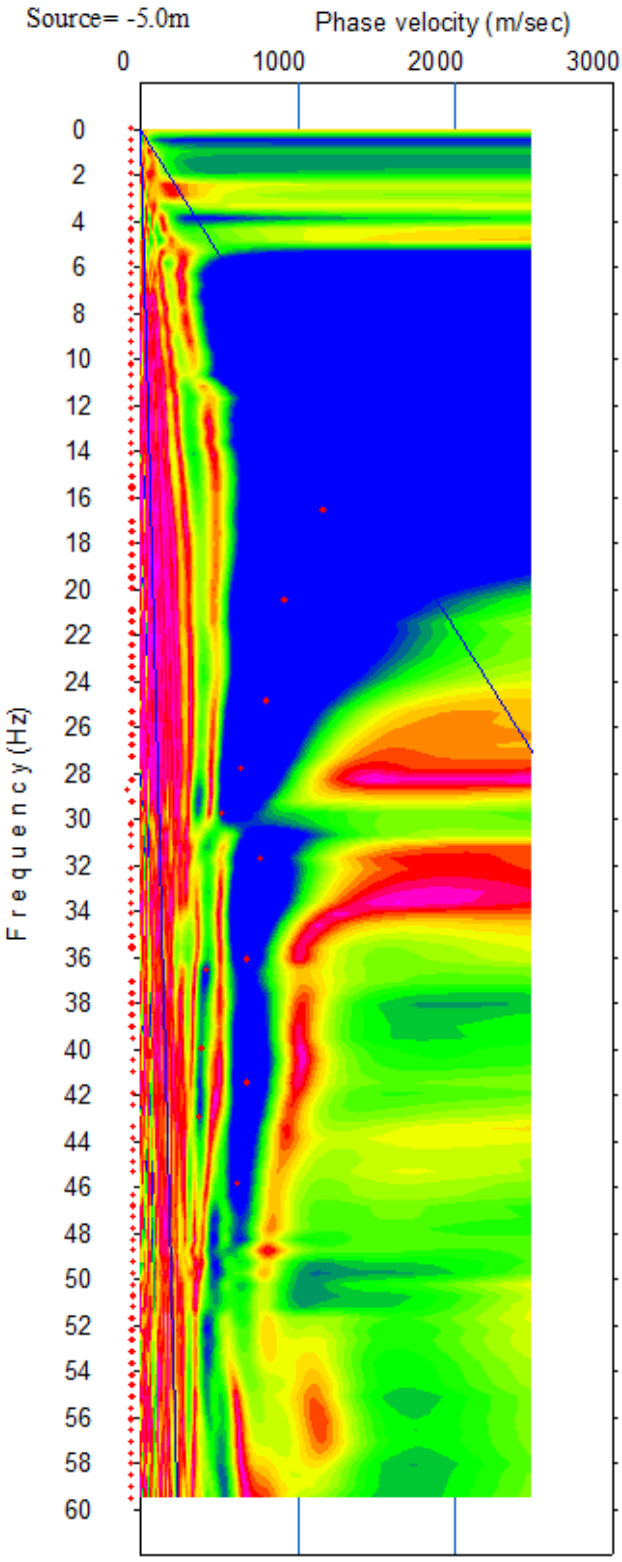
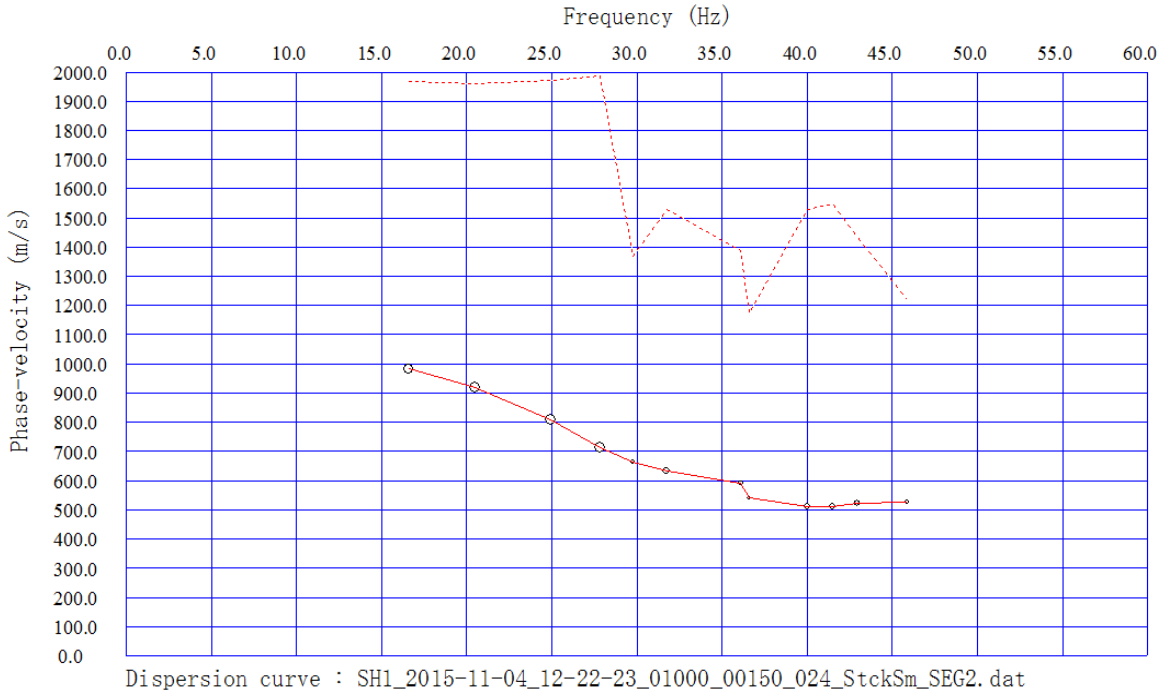


Fig. 2: spettro F/V – picking

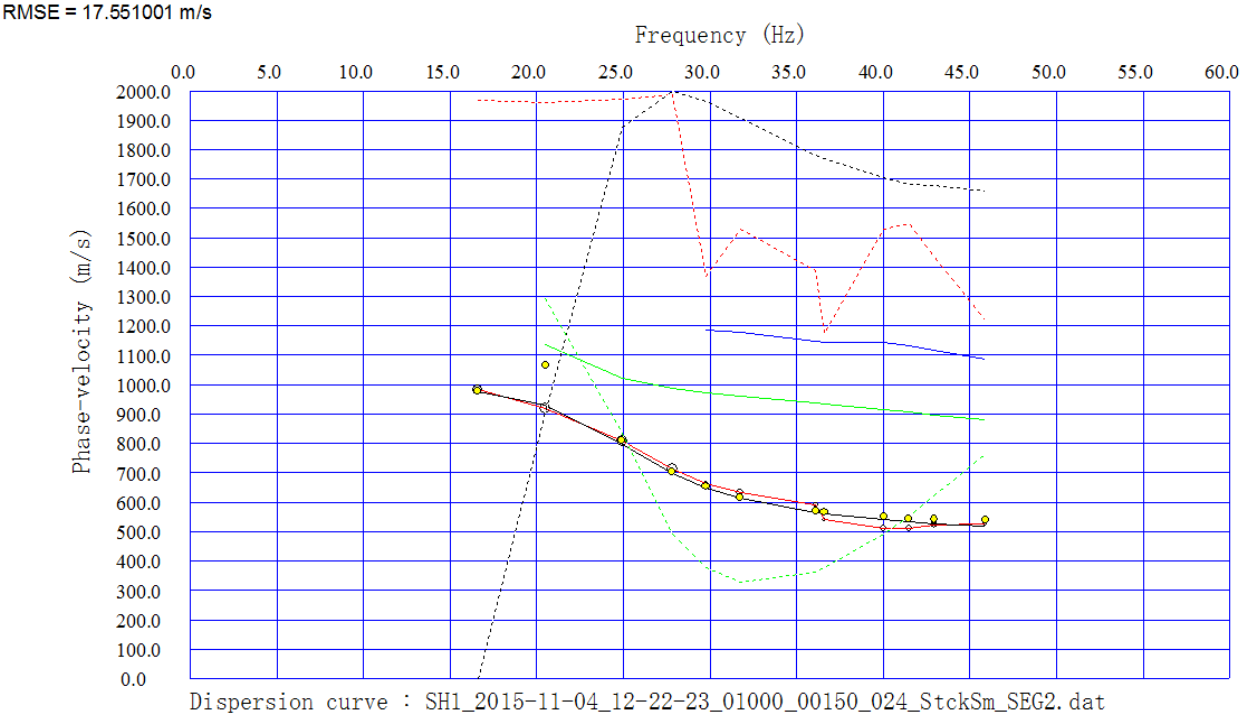
STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

CURVA DI DISPERSIONE

Frequenza finale..... 16Hz
Frequenza iniziale 46Hz
Numero di modi..... 2

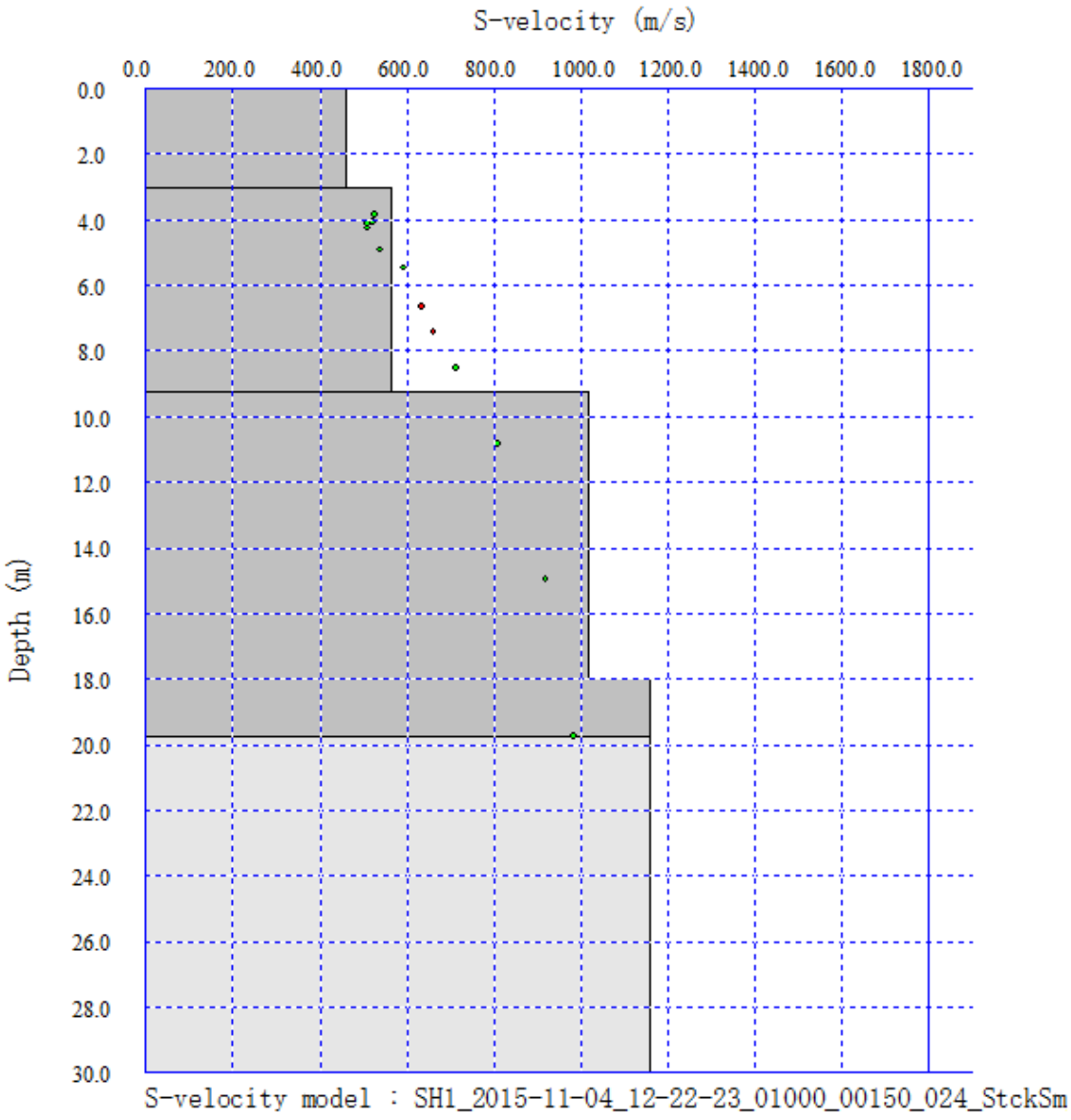


RMSE = 17.551001 m/s



STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

PROFILO Vs



RISULTATI FINALI

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
3.00	3.00	460.23
9.25	6.25	562.5
30.00	20.75	1159.72

Piano di riferimento z [m] 0
Vs30 [m/s]..... **844.55**
Tipo di suolo ..... A

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
*di **BONARIA** Dott. Geol. Vittorio, **FORNAROLI** Dott. Geol. Matteo, **REPETTO** Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

ELABORATO PROVA MASW
M5

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

MASW M5
RITORNO (SH3)

DATI SPERIMENTALI

Numero di ricevitori 24
Distanza tra i sensori:..... 2.0 m
Numero di campioni temporali 1000
Passo temporale di acquisizione 1ms
Numero di ricevitori usati per l'analisi..... 24
L'intervallo considerato per l'analisi comincia a.....0ms
L'intervallo considerato per l'analisi termina a 1499ms

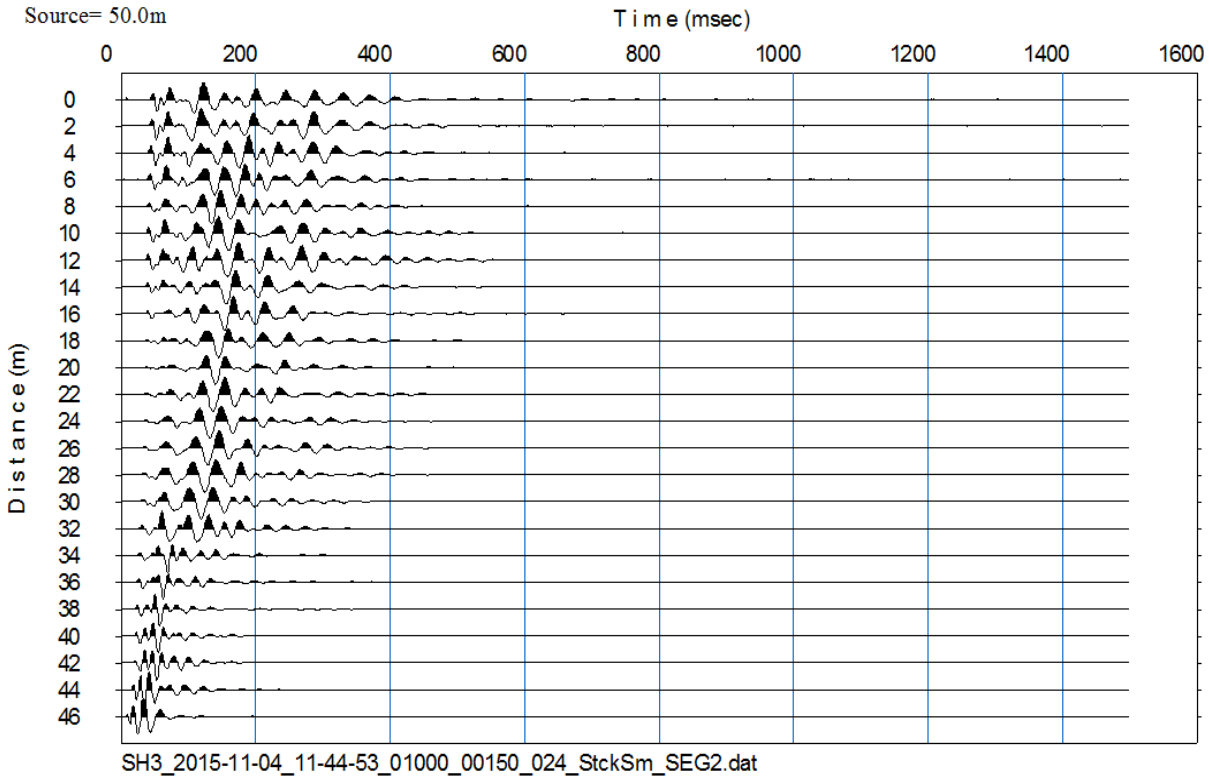


Fig. 1: tracce sperimentali

RISULTATI DELL'ANALISI

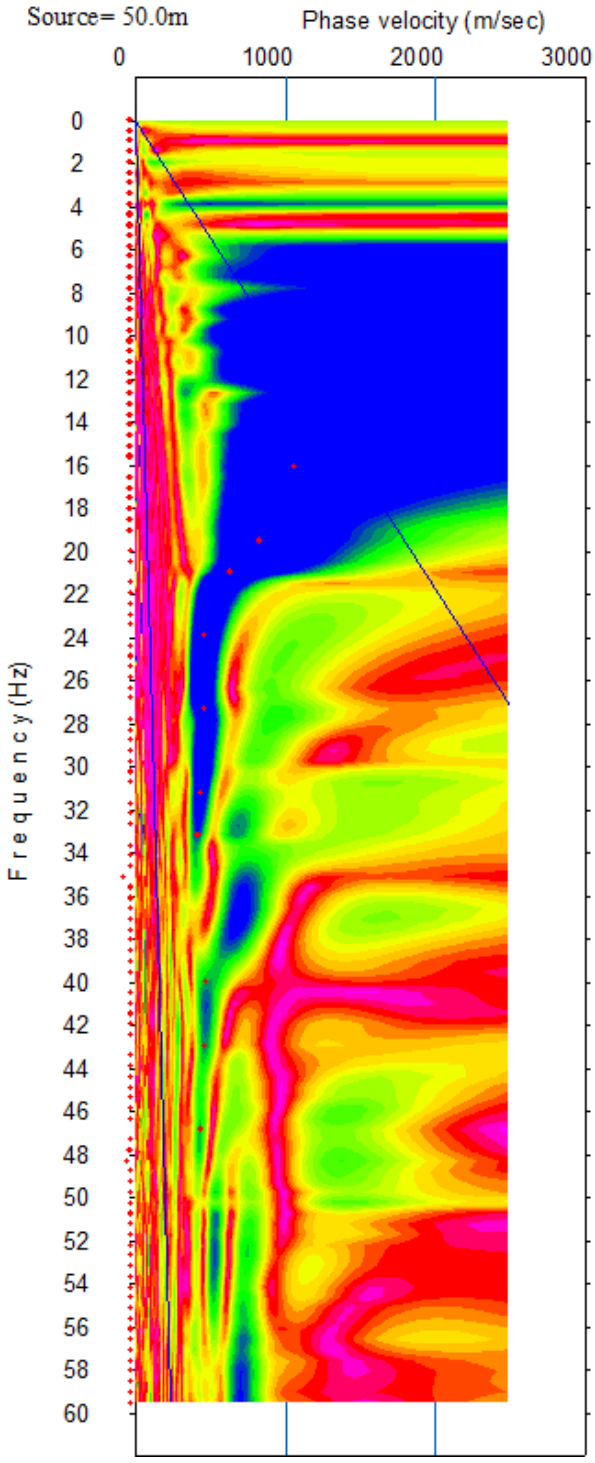
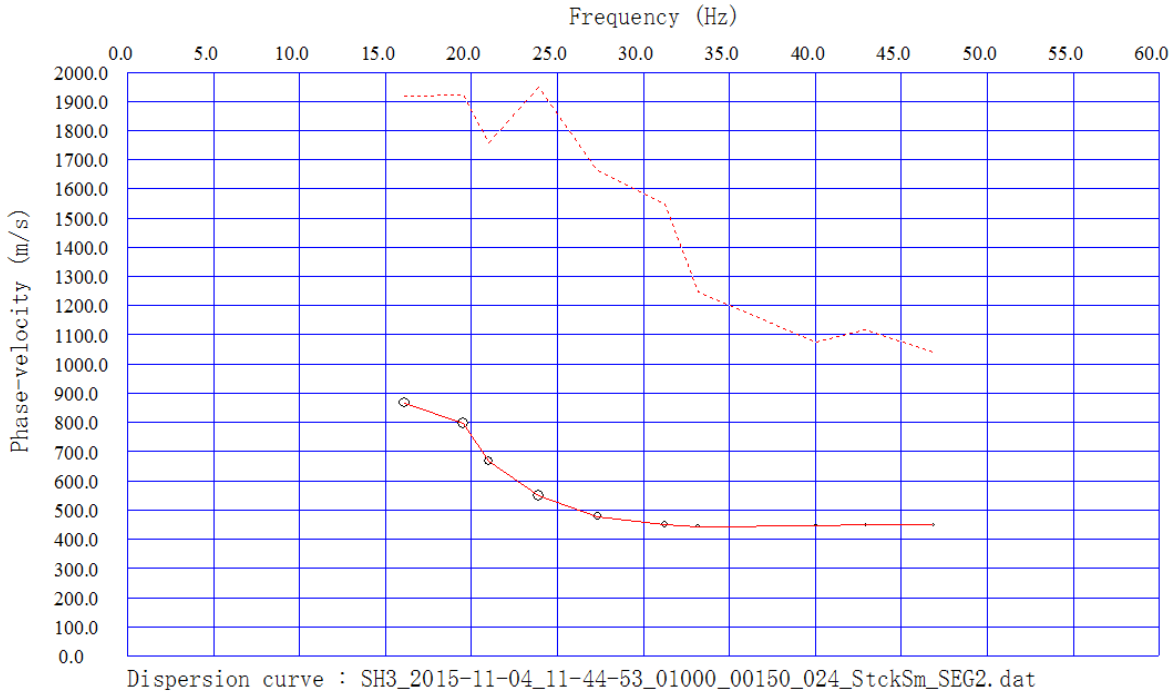


Fig. 2: spettro F/V – picking

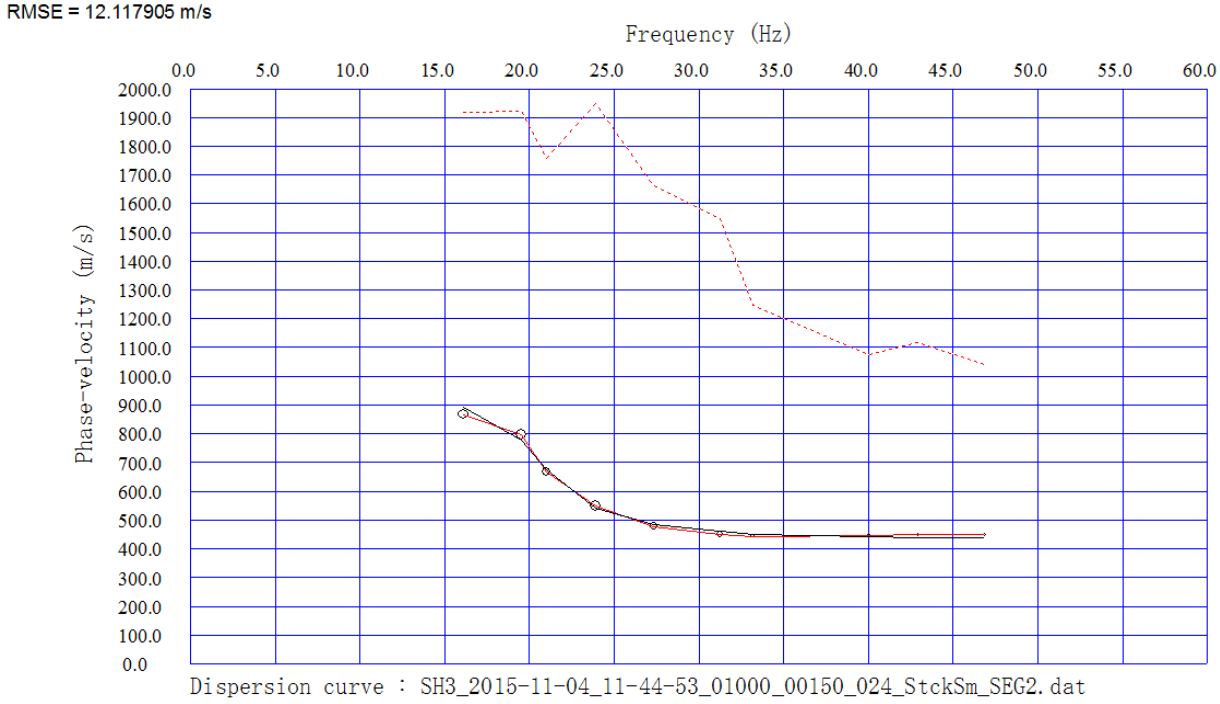
STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

CURVA DI DISPERSIONE

Frequenza finale..... 22Hz
Frequenza iniziale 47Hz
Numero di modi..... 1

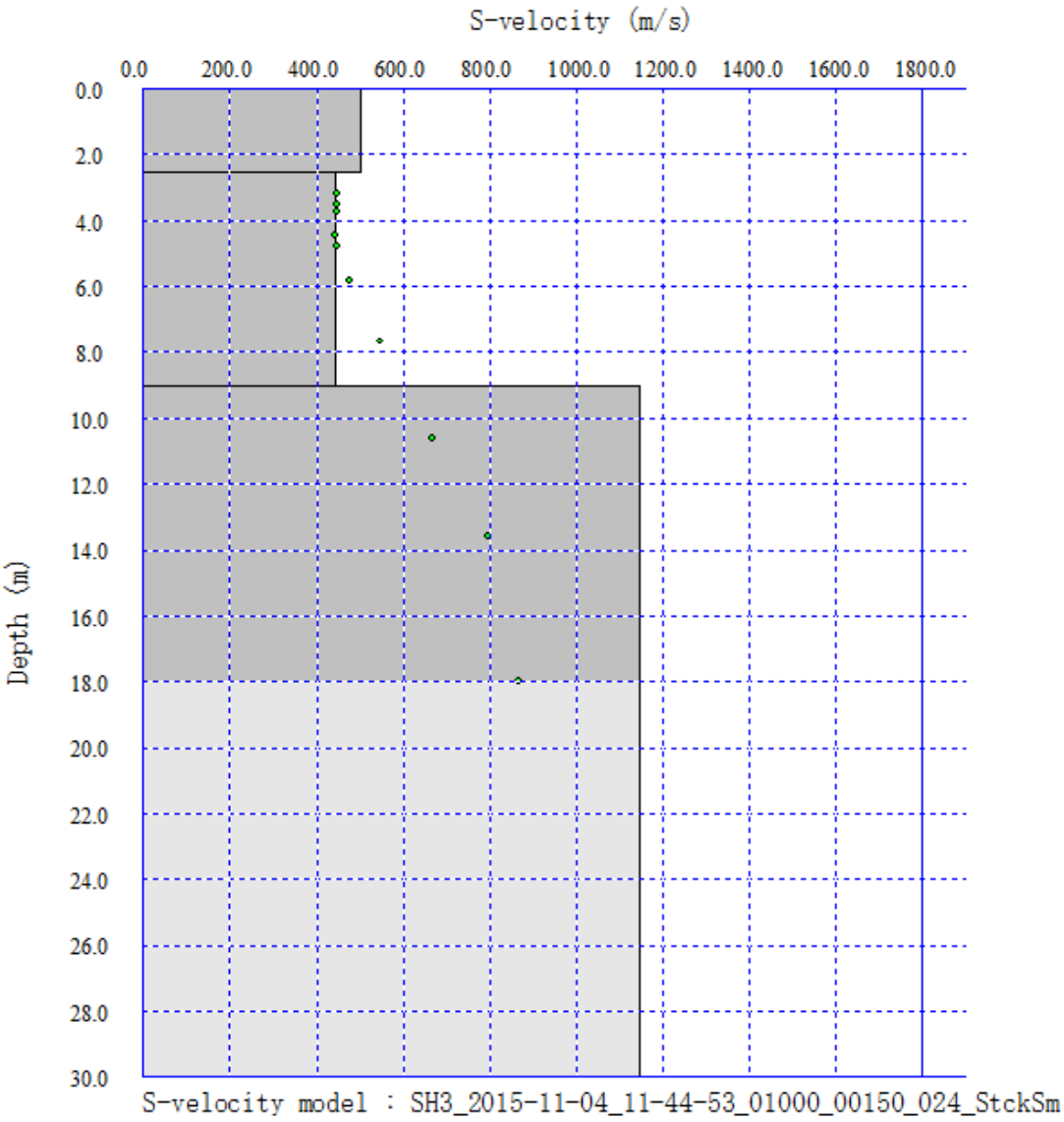


RMSE = 12.117905 m/s



STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di ***BONARIA*** *Dott. Geol. Vittorio,* ***FORNAROLI*** *Dott. Geol. Matteo,* ***REPETTO*** *Dott. Geom. Giovanni*
Via San Siro 12/2b – 16124 GENOVA Tel/Fax. 0102463472 e-mail: *info@bierrevi.it*

PROFILO Vs



RISULTATI FINALI

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)
2.50	2.50	503.22
9.00	6.50	443.41
30.00	21.00	1146.71

Piano di riferimento z [m] 0
Vs30 [m/s]..... **790.71**
Tipo di suolo ..... B

REGIONE LIGURIA

CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA

COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE

PROGETTAZIONE DEFINITIVA PER LA REALIZZAZIONE DI UN CANALE SCOLMATORE E SISTEMAZIONE IDRAULICA DEI TORRENTI SAN SIRO E MAGISTRATO IN COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE (GE)

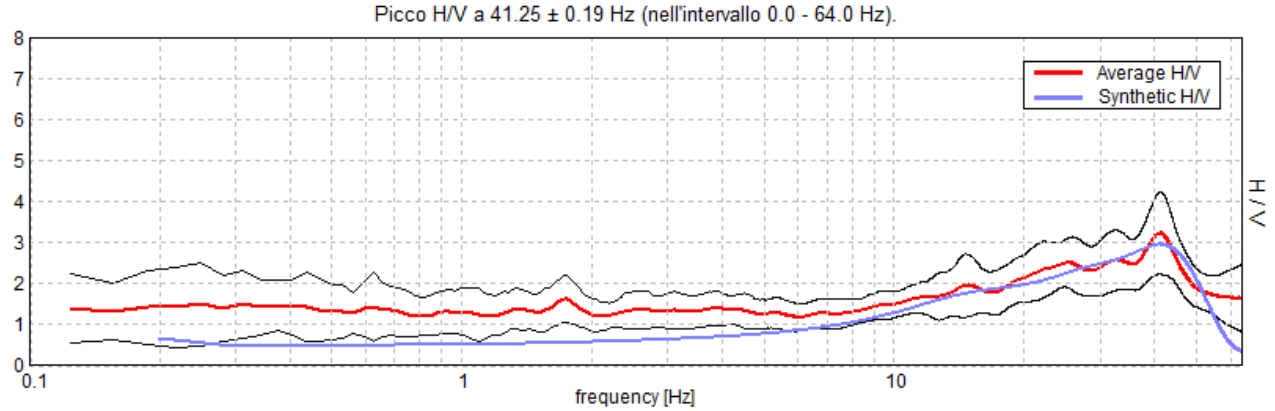
COMMITTENZA :

COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE

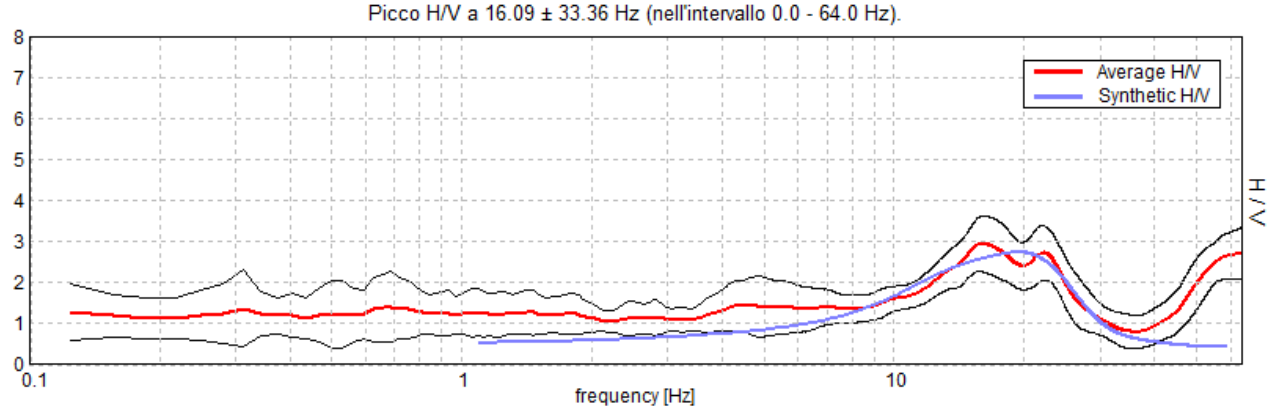
RAPPORTO INDAGINI GEOFISICHE HVSR

bierrevi®
Studio Tecnico Associato

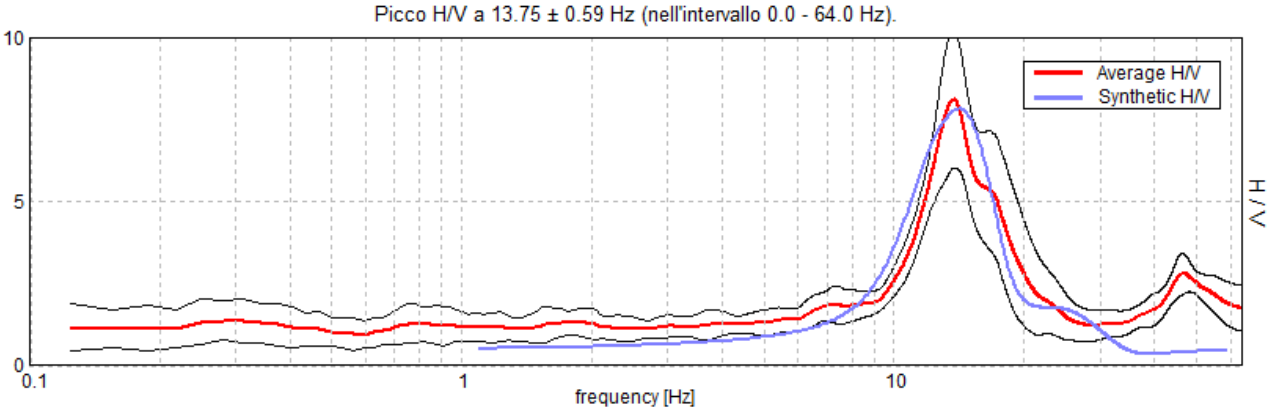
Confronto tra le curve sperimentali H/V e le curve sintetiche H/V



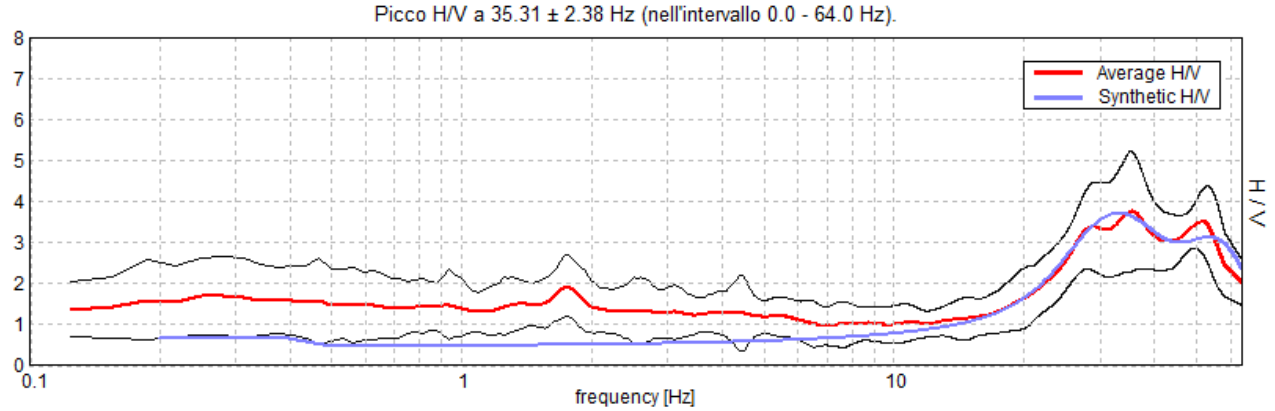
Prova HV1



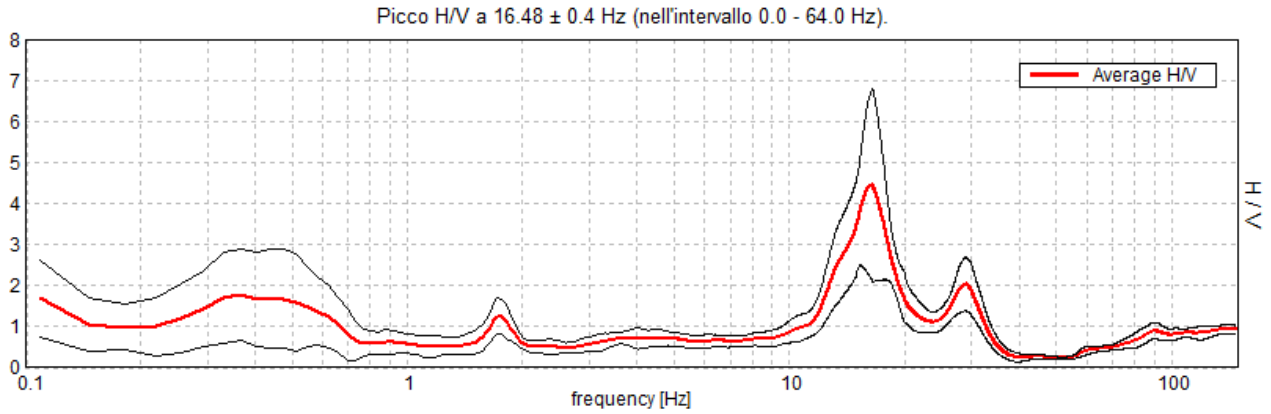
Prova HV2



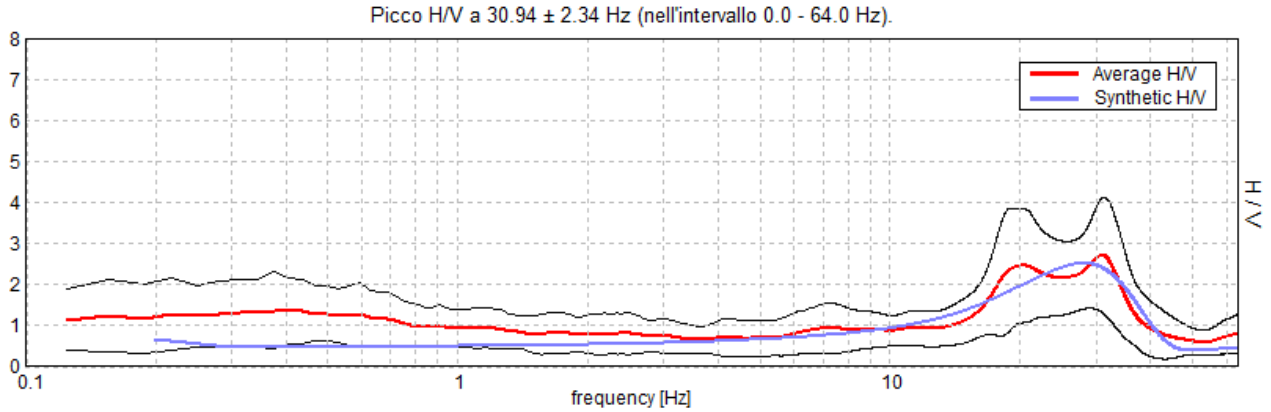
Prova HV3



Prova HV4



Prova HV5

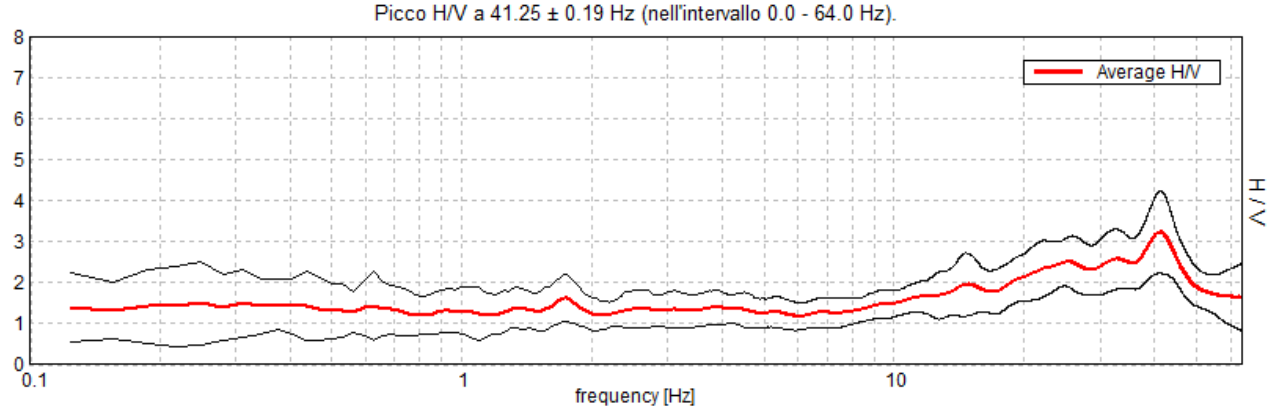


Prova HV6

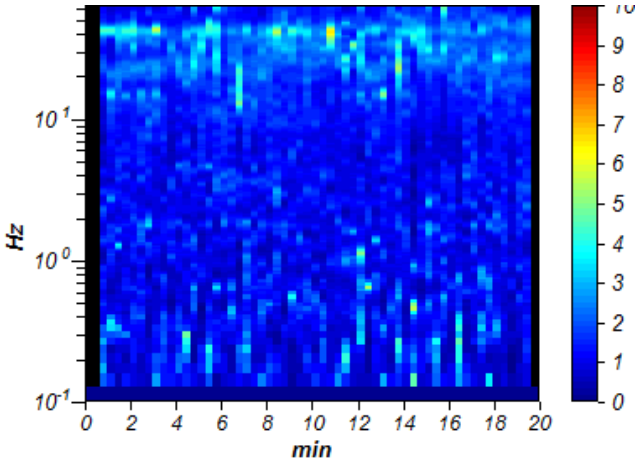
PROVA HV1

Inizio registrazione: 07/12/15 16:27:31 Fine registrazione: 07/12/15 16:47:31
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

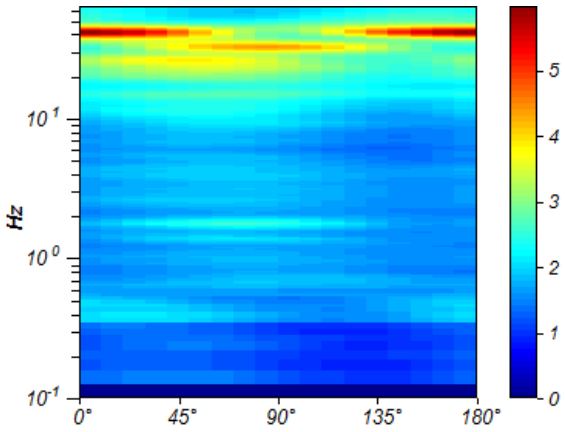
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



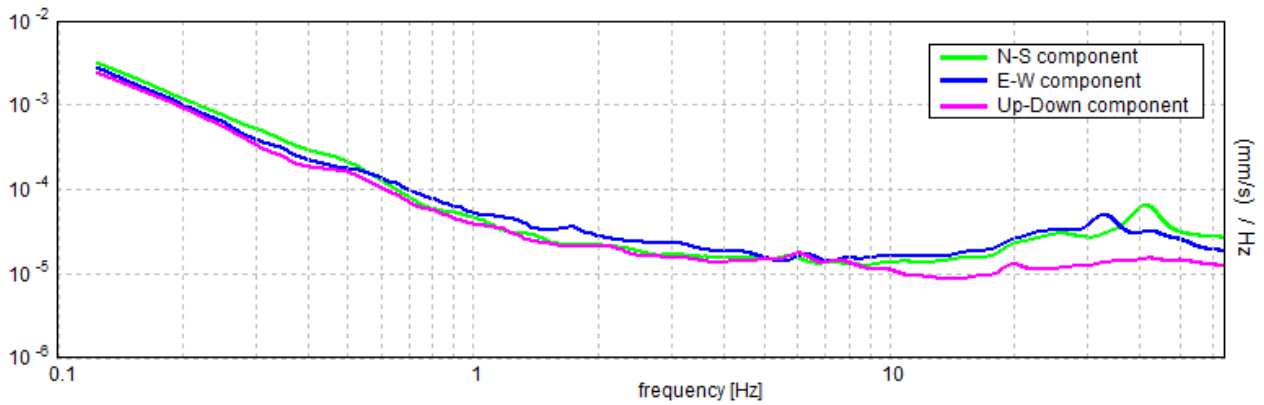
SERIE TEMPORALE H/V



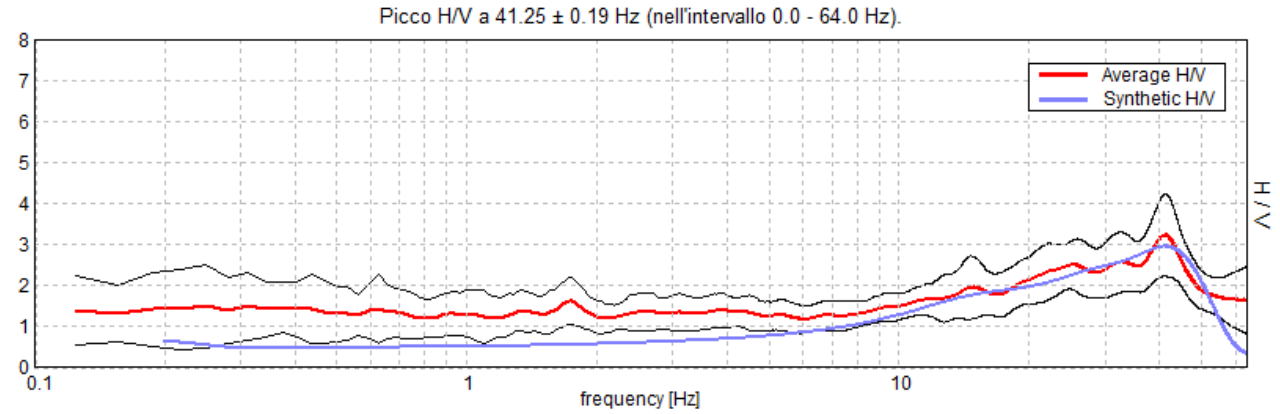
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

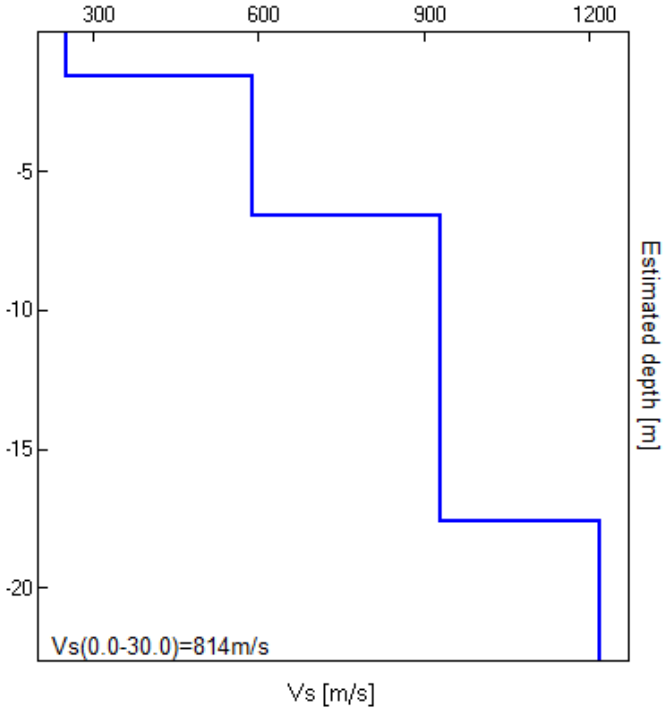


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.60	1.60	250	0.35
6.60	5.00	590	0.30
17.60	11.00	930	0.30
inf.	inf.	1220	0.30

Vs(0.0-30.0)=814m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 41.25 ± 0.19 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	41.25 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	47025.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 1389	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	10.938 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.23 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.0046| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.18964 < 2.0625	OK	

$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.9958 < 1.58	**OK**	

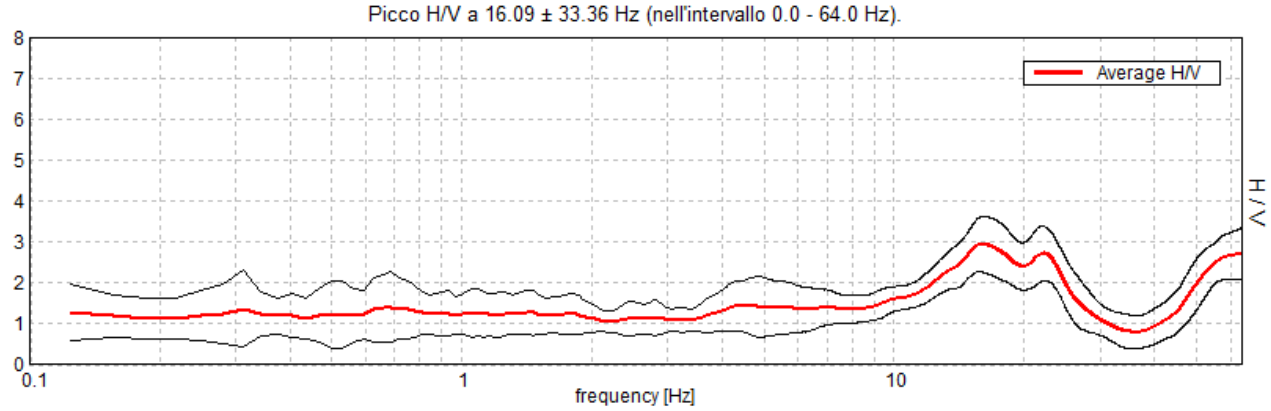
L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f 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

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

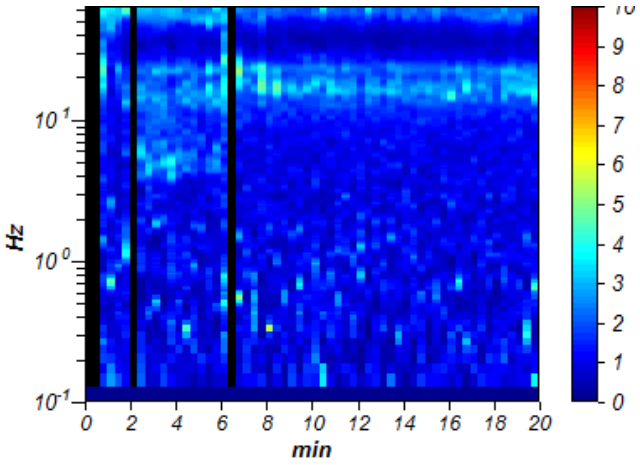
PROVA HV2

Inizio registrazione: 07/12/15 11:52:54 Fine registrazione: 07/12/15 12:12:54
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 93% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

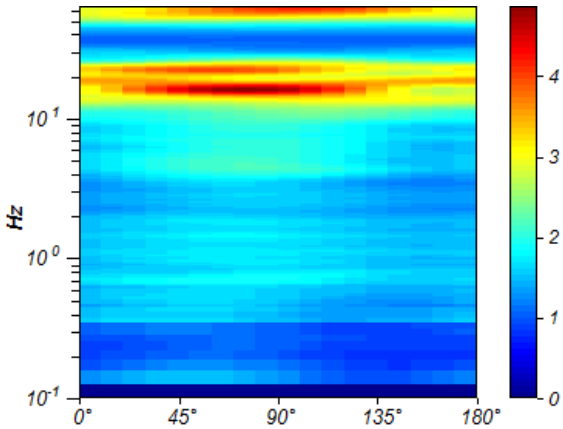
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



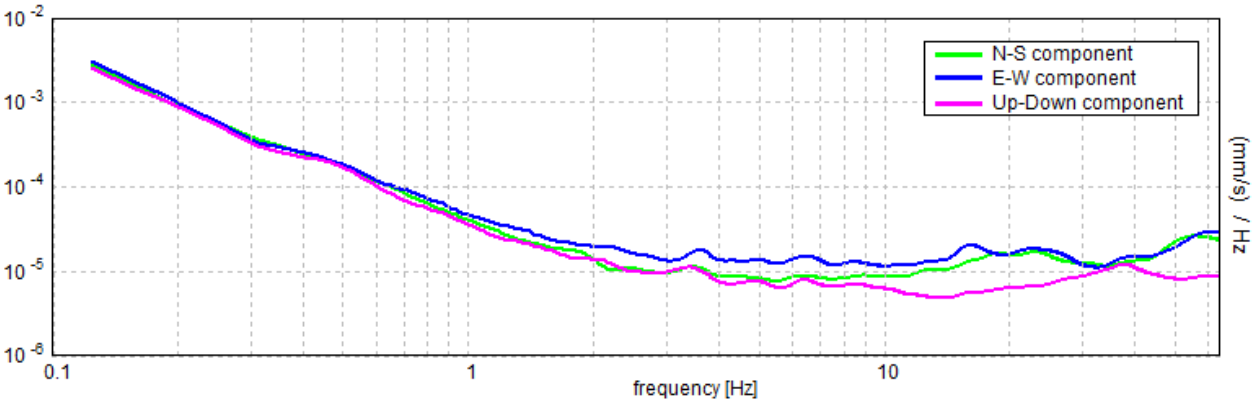
SERIE TEMPORALE H/V



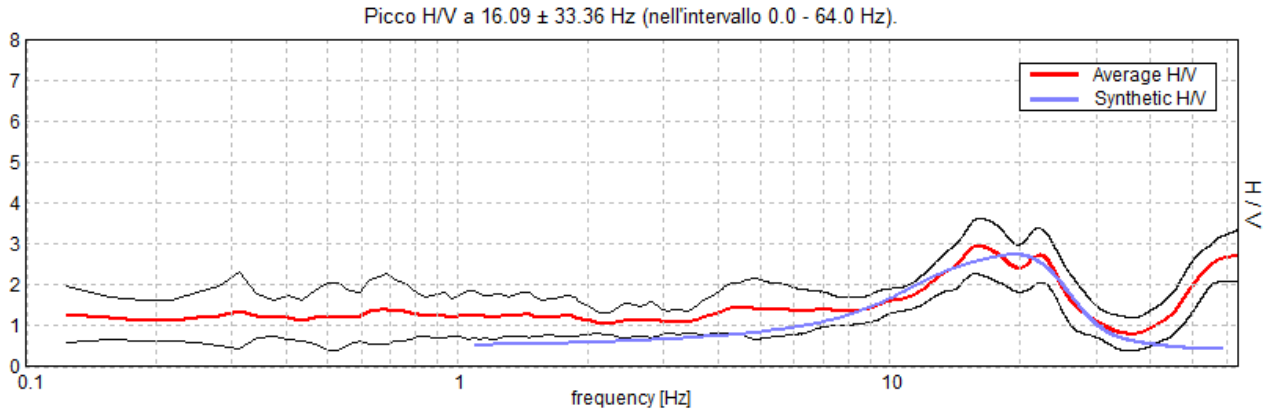
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

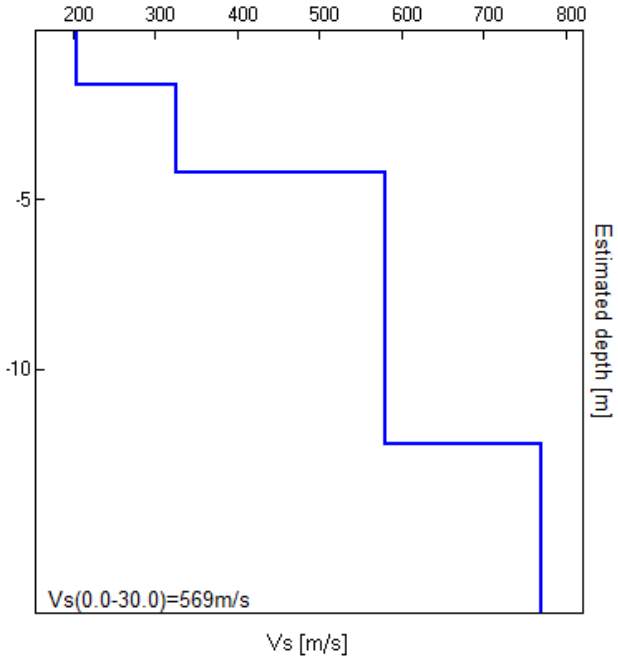


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.60	1.60	205	0.35
4.20	2.60	325	0.30
12.20	8.00	580	0.30
inf.	inf.	770	0.30

Vs(0.0-30.0)=569m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 16.09 ± 33.36 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	16.09 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	18025.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 774	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	9.219 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	27.031 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.94 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|2.07283| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	33.35968 < 0.80469		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6815 < 1.58	OK	

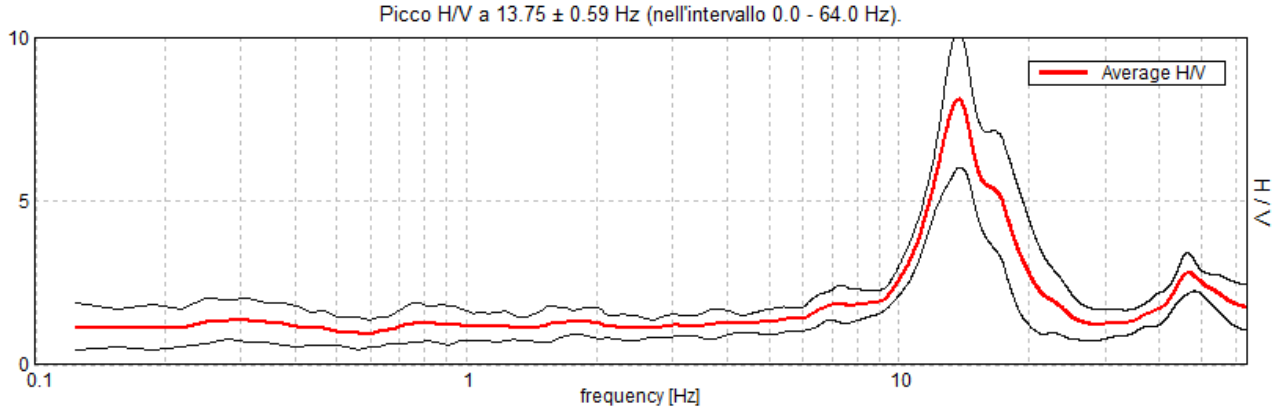
L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f 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

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

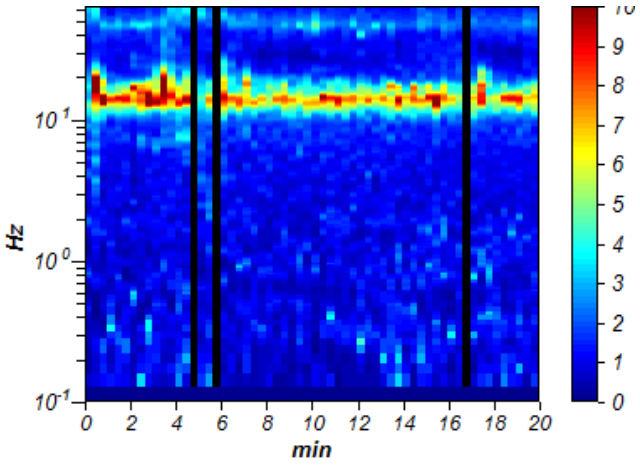
PROVA HV3

Inizio registrazione: 07/12/15 11:16:27 Fine registrazione: 07/12/15 11:36:27
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 95% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

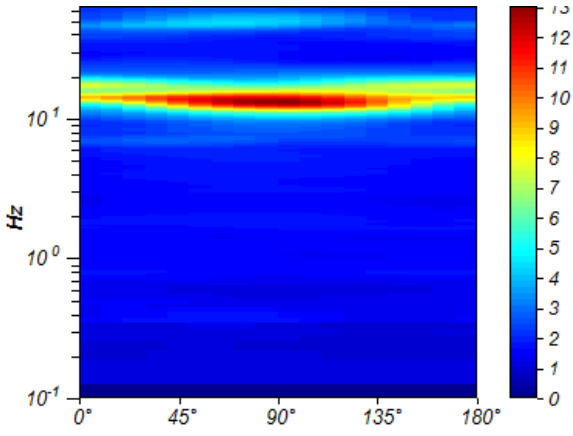
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



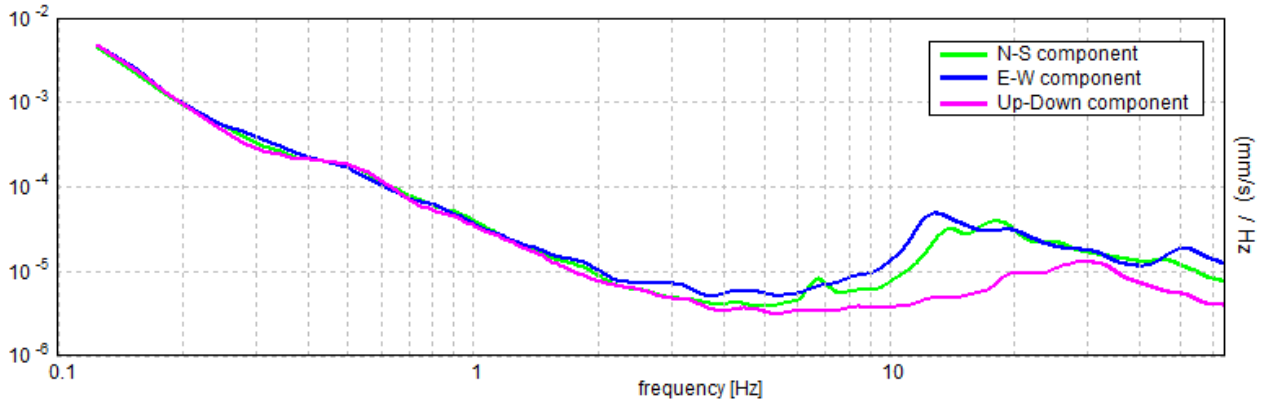
SERIE TEMPORALE H/V



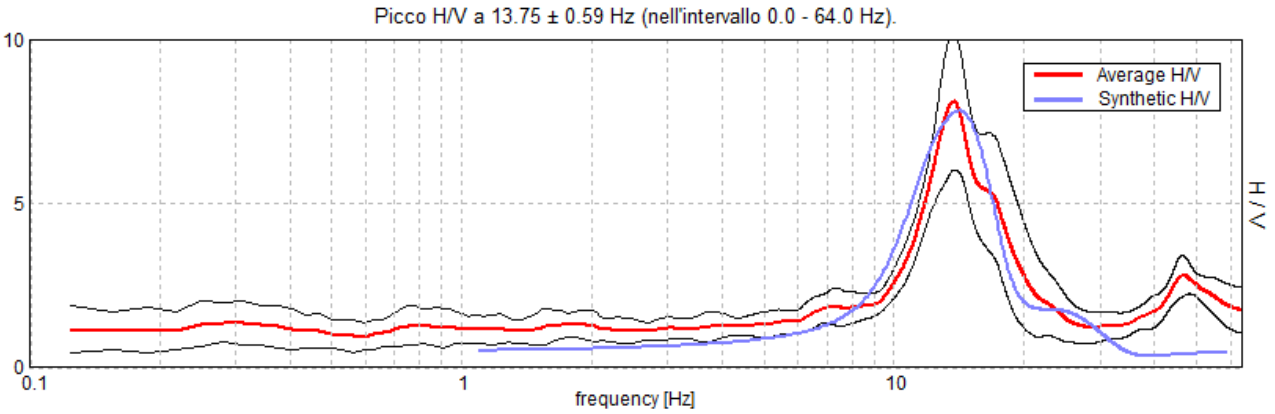
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

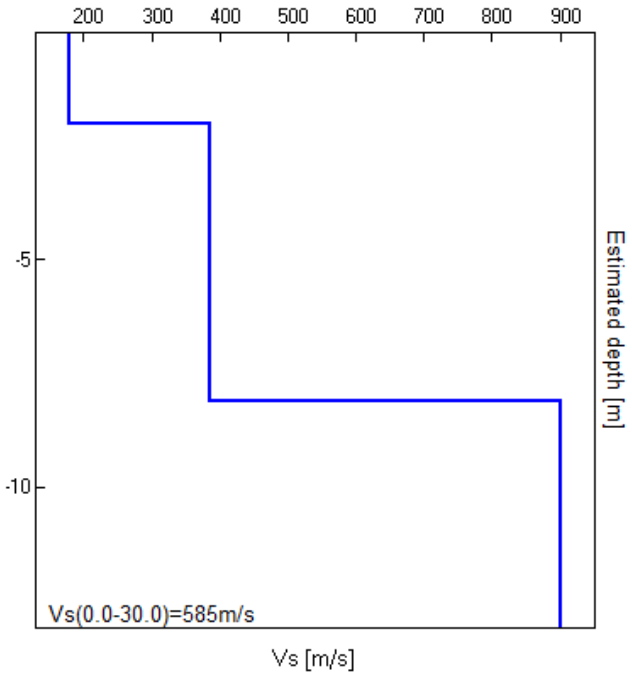


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.00	2.00	180	0.35
8.10	6.10	385	0.30
inf.	inf.	900	0.30

Vs(0.0-30.0)=585m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 13.75 ± 0.59 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	13.75 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	15675.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 26 volte su 661		NO
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	11.219 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	18.313 Hz	OK	
$A_0 > 2$	8.11 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.04313| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.59307 < 0.6875	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	2.0862 < 1.58		NO

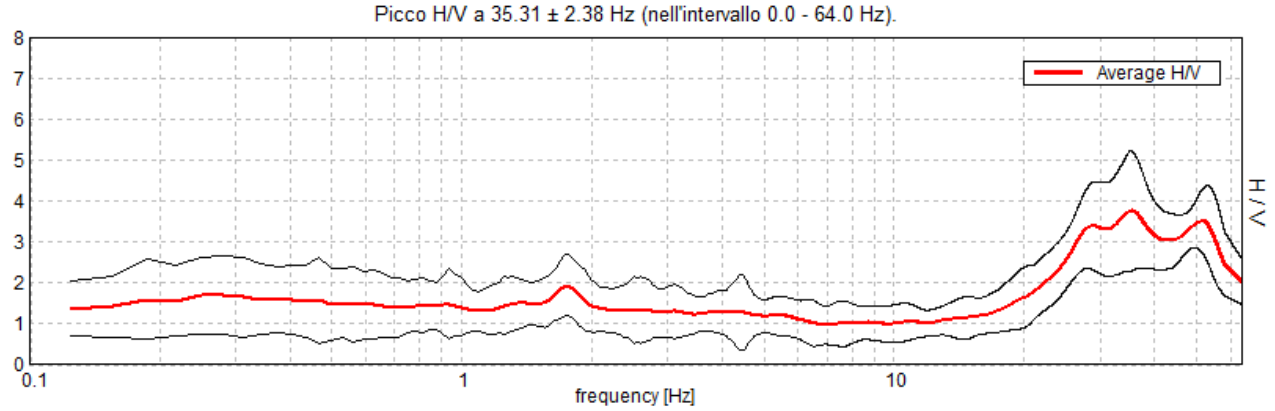
L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f 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

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

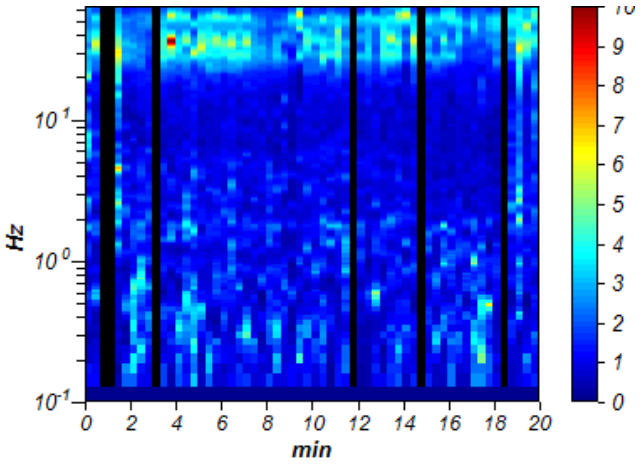
PROVE HV4

Inizio registrazione: 07/12/15 17:05:38 Fine registrazione: 07/12/15 17:25:38
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

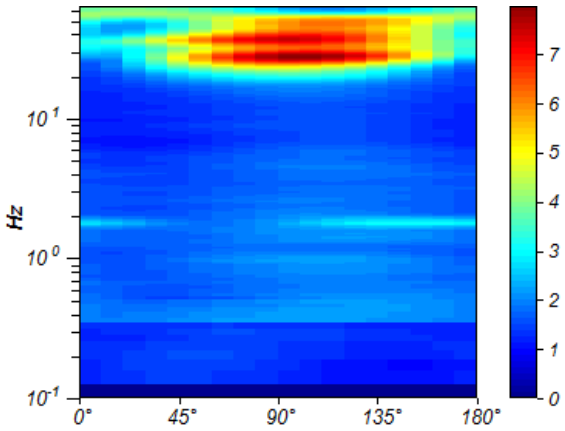
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



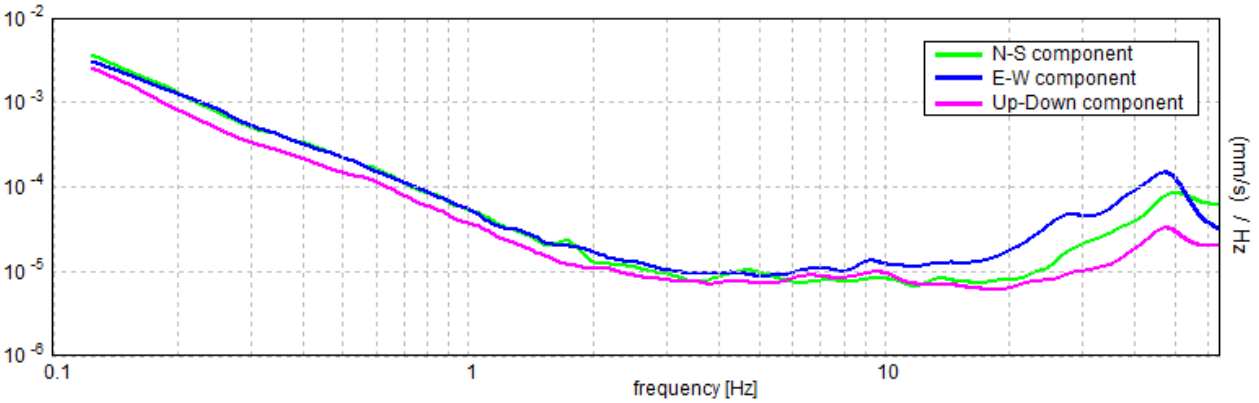
SERIE TEMPORALE H/V



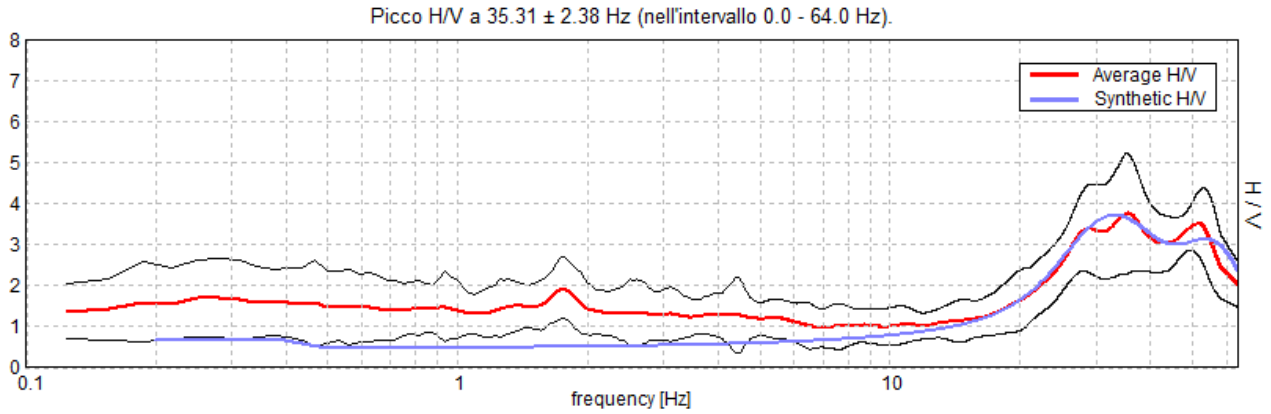
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

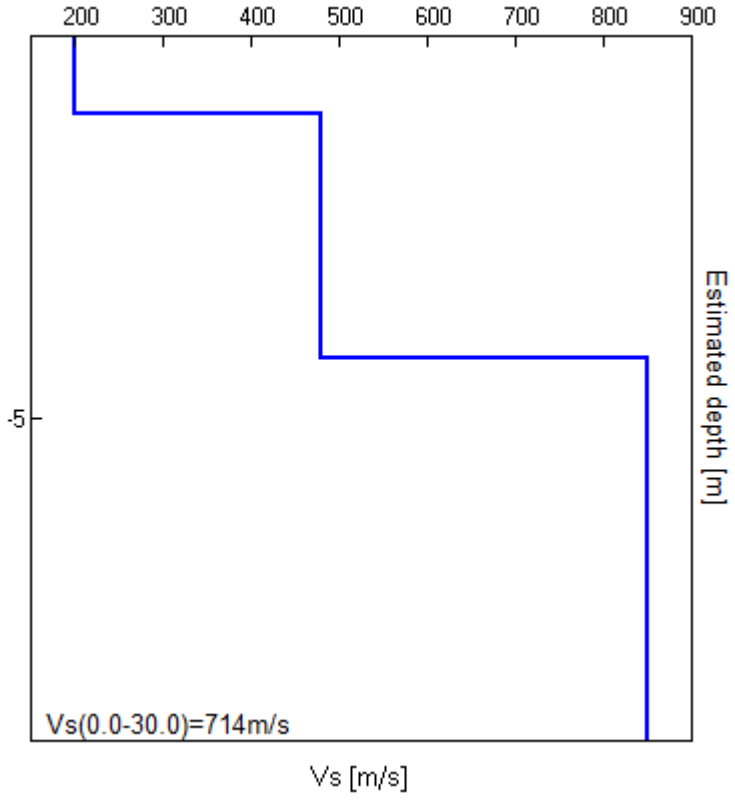


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.00	1.00	200	0.35
4.20	3.20	480	0.30
inf.	inf.	850	0.30

Vs(0.0-30.0)=714m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 35.31 ± 2.38 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	35.31 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	38137.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 1484	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	21.563 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	3.75 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.06742| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.38062 < 1.76563		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.4635 < 1.58	OK	

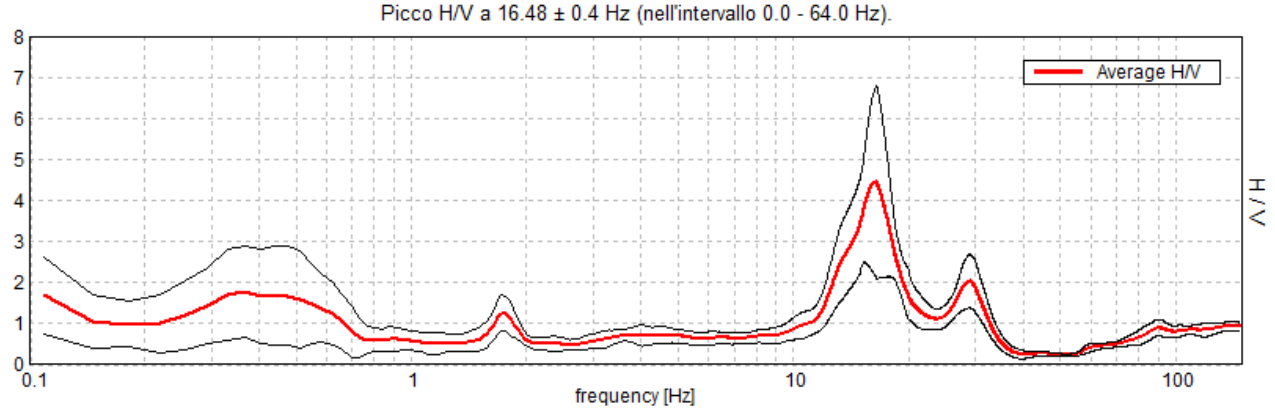
L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f 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

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

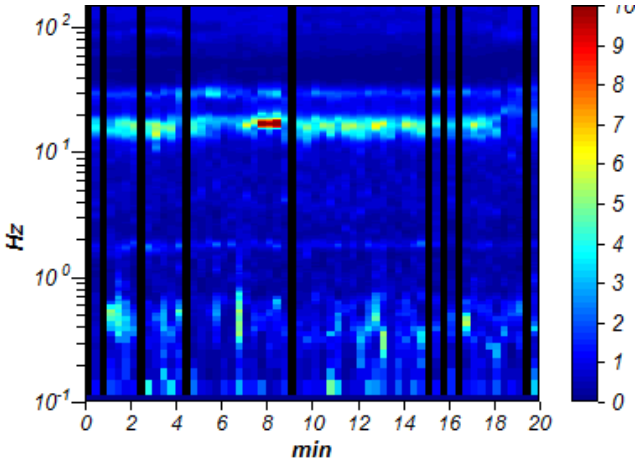
PROVA HV5

Strumento: EXT- SARA SR04HS
Inizio registrazione: 13/11/15 16:04:07 Fine registrazione: 13/11/15 16:24:07
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 85% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 300 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

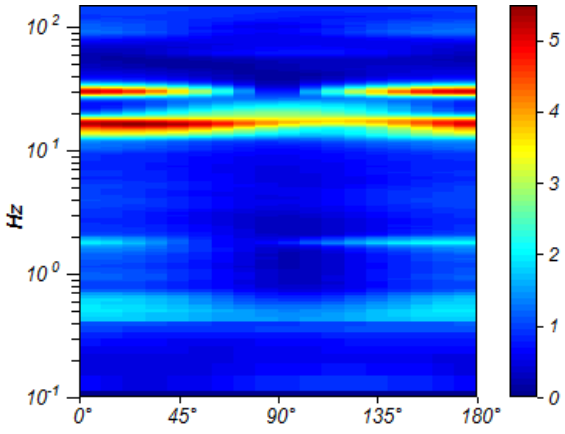
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



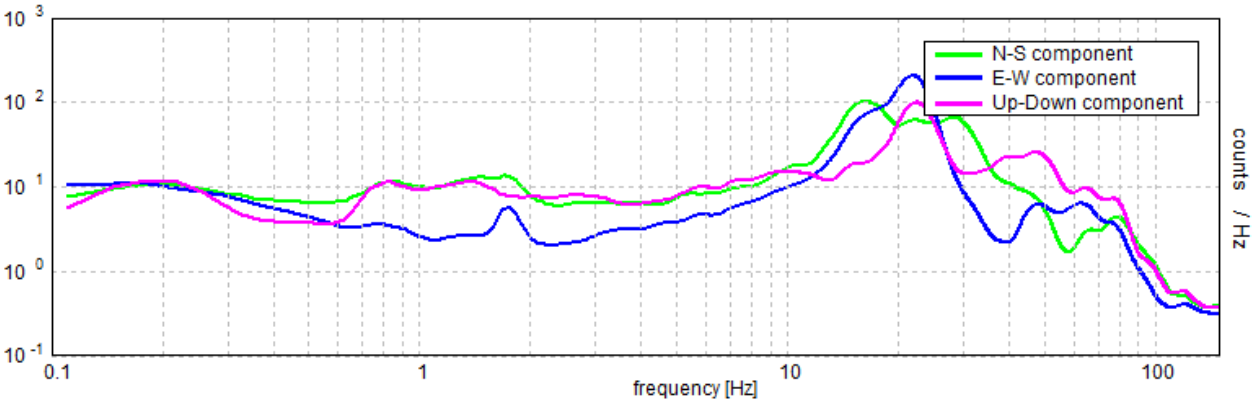
SERIE TEMPORALE H/V



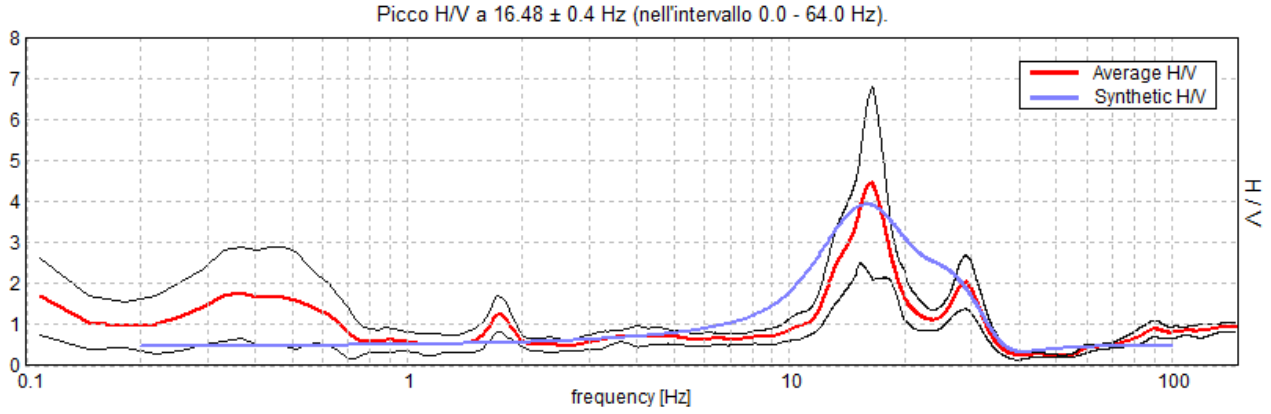
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

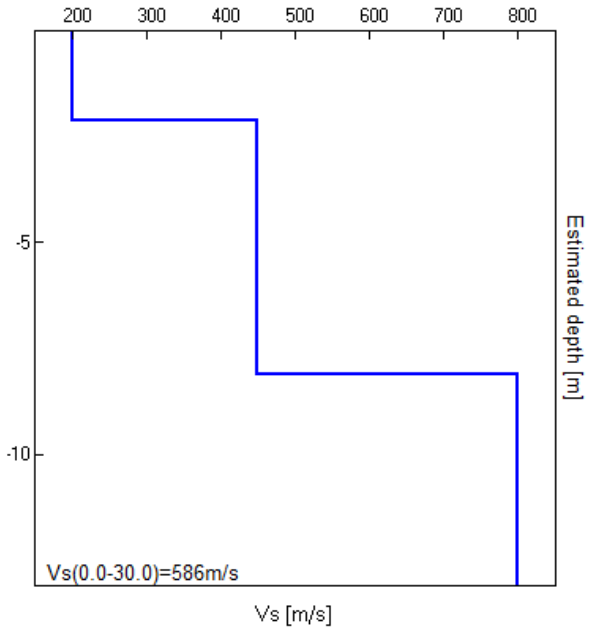


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.10	2.10	200	0.35
8.10	6.00	450	0.30
inf.	inf.	800	0.30

Vs(0.0-30.0)=586m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 16.48 ± 0.4 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	16.48 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	16809.1 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 29 volte su 676		NO
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	12.964 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	19.116 Hz	OK	
$A_0 > 2$	4.45 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.02425| < 0.05	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.39955 < 0.82397	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	2.3483 < 1.58		NO

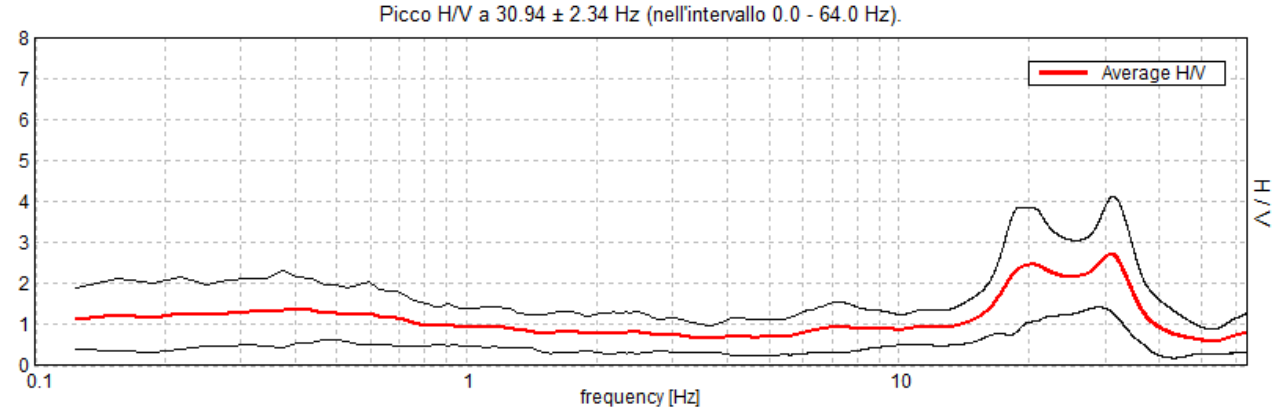
L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f 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

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

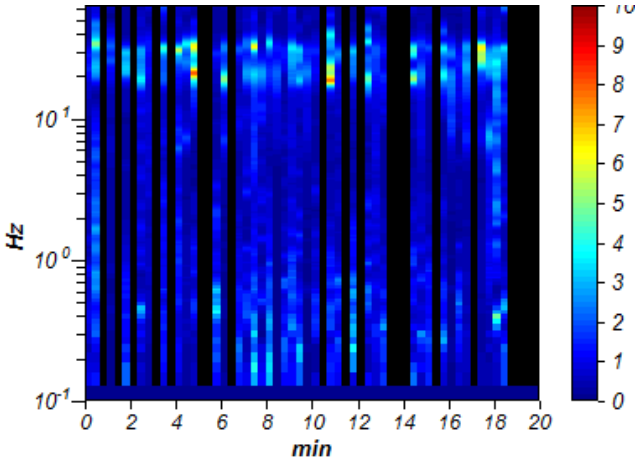
PROVA HV6

Inizio registrazione: 07/12/15 18:20:03 Fine registrazione: 07/12/15 18:40:03
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 67% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

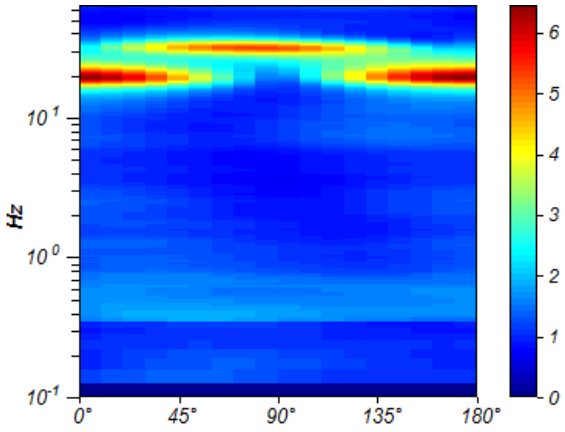
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



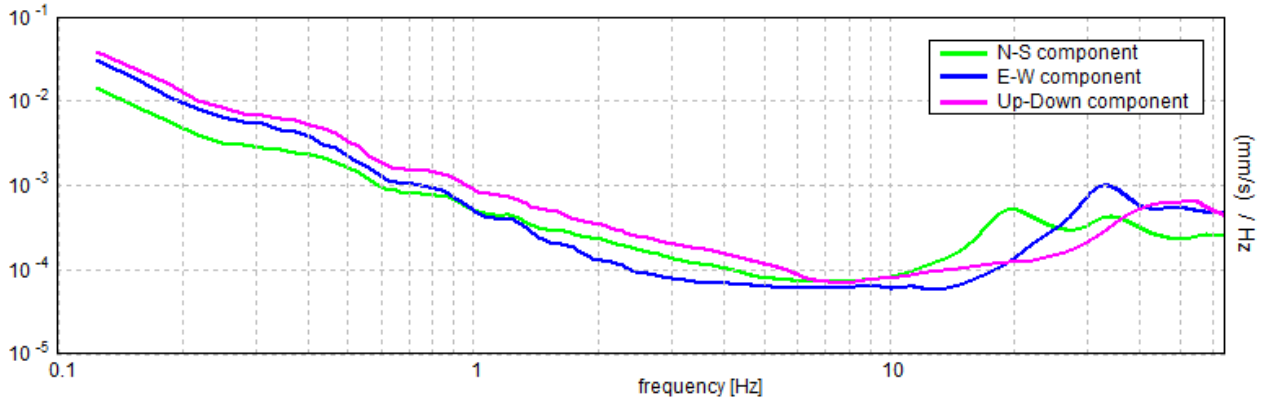
SERIE TEMPORALE H/V



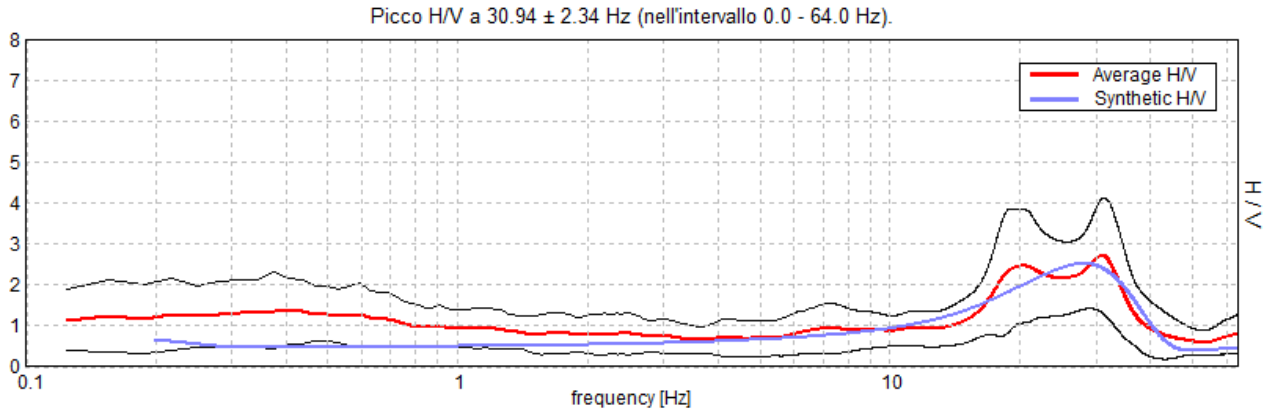
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

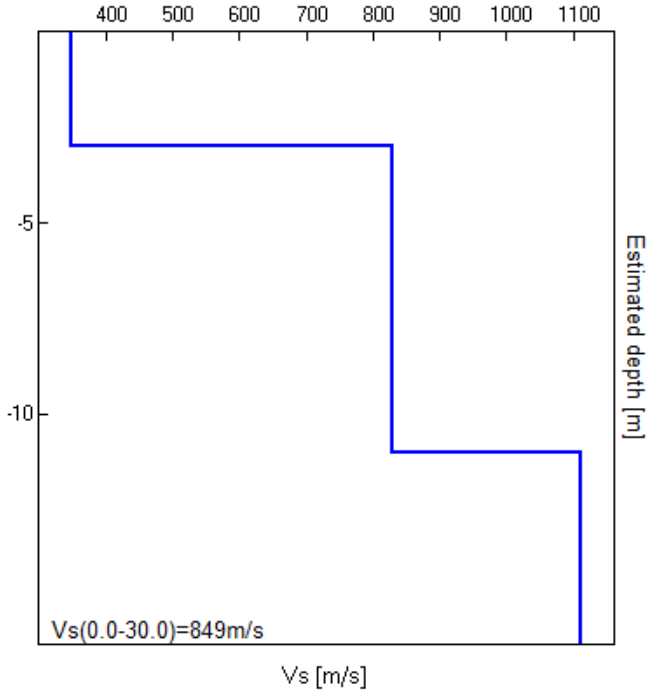


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
3.00	3.00	350	0.30
11.00	8.00	830	0.30
inf.	inf.	1110	0.30

Vs(0.0-30.0)=849m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 30.94 ± 2.34 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	30.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	24750.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz**	Superato 0 volte su 1486	OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	16.031 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	36.469 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.71 > 2	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.07569| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	2.34152 < 1.54688		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.3923 < 1.58	OK	

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

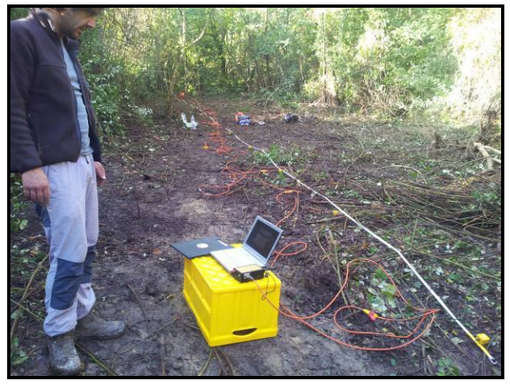
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$					
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25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

STUDIO TECNICO ASSOCIATO BIERREVI
di BONARIA Dott. Geol. Vittorio, FORNAROLI Dott. Geol. Matteo, REPETTO Dott. Geom. Giovanni Via San Siro 12/2 16124 GENOVA – Tel/Fax. 0102463472 – e-mail: *info@bierrevi.it*

ELABORATO FOTOGRAFICO INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE



MASW 1a



MASW 1b



Prova Hvsr1



Prova Hvsr2



MASW 2



MASW 3



Prova Hvsr3



Prova Hvsr4



MASW 4



MASW 5



Prova Hvsr5



Prova Hvsr6

COMUNE DI SANTA MARGHERITA LIGURE (GE)

Committente: Studio Tecnico Associato "bierrevi" Genova

RELAZIONE DI COMMENTO ALLE INDAGINI SISMICHE IN FORO “DOWN-HOLE” ESEGUITE NELLE VERTICALI SG1 E SG2 IN DATA 07.12.2015



Geologo dott. Giorgio Lombardi
Indagini geofisiche - Consulenze geologiche
Via Mongrifone 4/3B – 17100 SAVONA
tel: +39 338 5086317
e-mail: giorgiolombardi@ymail.com
PEC: giorgiolombardi@pec.it
partita IVA: 01584990095

INDICE

1. PREMESSA.....3
2. PROSPEZIONE DOWN-HOLE.....3
3. RISULTATI DELLE PROVE.....7

1. PREMESSA

Nell'ambito della progettazione definitiva per la realizzazione di un canale scolmatore e sistemazione idraulica dei torrenti San Siro e Magistrato in Comune di Santa Margherita Ligure (GE) lo scrivente è stato incaricato dell'esecuzione di due prove sismiche in foro di tipo "Down Hole" nelle verticali di perforazione SG1 e SG2 profonde rispettivamente 31 m (misura sismica in foro più profonda possibile: 30 m) e 50 m (misura sismica in foro più profonda possibile: 49 m), attrezzate con tubazioni cieche in pvc ϕ=80 mm. Le prove sono state acquisite in data 08.12.2015.
Sono state generate in superficie sia le onde di pressione "p" sia le onde di taglio "s". acquisite in foro con passo metrico.
Le modalità e le geometrie di generazione e di acquisizione degli impulsi elastici saranno descritte nel seguito.

2. PROSPEZIONE DOWN-HOLE

Il metodo "Down Hole" prevede il posizionamento di strumenti riceventi (idrofoni, geofono triassiale) all'interno di un foro di sondaggio preventivamente condizionato con idoneo rivestimento in PVC o ABS □ = 80 mm dotato di chiusura di fondo e cementato, e la generazione di energia sismica in superficie in prossimità del boccaforo.
Scopo dell'indagine "Down Hole" è l'individuazione delle variazioni di velocità dei fronti d'onda elastici lungo la verticale di perforazione ed in un suo immediato intorno, al fine di ottenere informazioni supplementari sulle condizioni fisico – meccaniche dei terreni.
Nel caso specifico è stata focalizzata l'attenzione sulla propagazione sia delle onde di pressione "p" che di quelle di taglio "s", al fine di ricostruirne le relative colonne di velocità presso la verticale di perforazione interessata.
Per le onde "p" l'impulso elastico è stato generato attraverso la percussione di una massa battente accelerata (mazza con testa pesante 8.0 kg) su una piastra di contrasto circolare in ferro sistemata a terra ad una distanza nota dal centro della perforazione.
Il segnale di trigger è comunicato al sismografo mediante appositi cablaggi elettrici, e consiste nel cortocircuito generato dal contatto della testa della mazza con la piastra di contrasto.
Le onde di pressione sono state ricevute mediante catena idrofonica prodotta da AMBROGEO con passo metrico e costituita da 12 sensori.



Catena idrofonica AMBROGEO

Per generare le onde "s" è stato invece utilizzato un apposito strumento di contrasto posto ad una distanza nota dal boccaforo.

Il "tempo zero" di generazione dell'impulso sismico viene sempre comunicato al sismografo attraverso il cortocircuito che avviene nell'istante in cui la testa di percussione urta la putrella di contrasto e nel quale, contestualmente, viene generata la sollecitazione di taglio che si trasmette al terreno per attrito radente attraverso la piastra di base dello strumento di contrasto.

Presso ogni quota di acquisizione sono state generate sollecitazioni di taglio polarizzate sullo stesso piano verticale ma caratterizzate da fasi opposte: ciò avviene energizzando un certo numero di volte con lo strumento di contrasto orientato secondo una certa direzione e ripetendo successivamente le operazioni ruotando lo strumento di contrasto stesso di 180°.

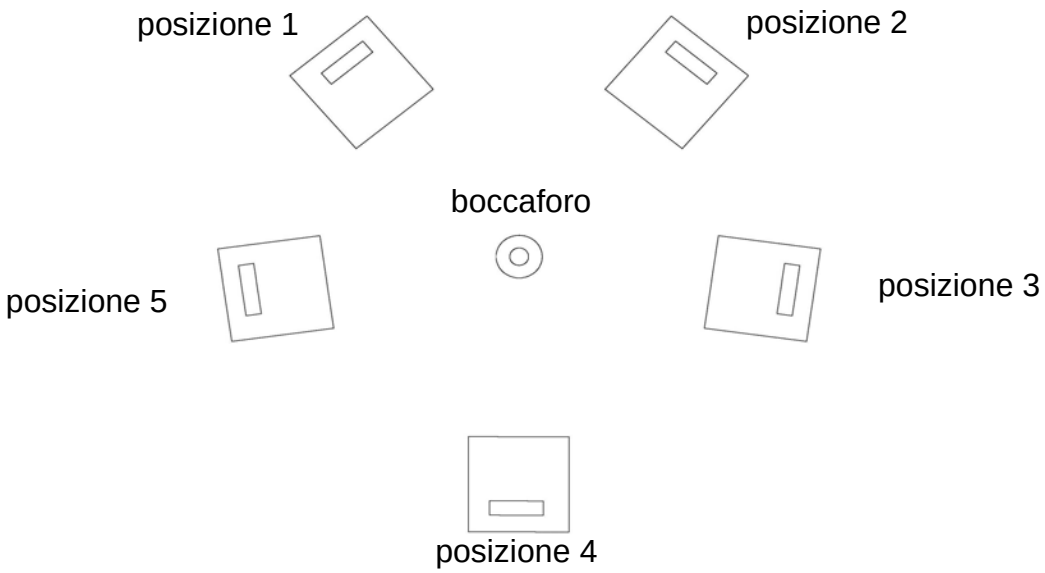
Nella foto seguente si illustra la procedura di energizzazione per ottenere onde di taglio polarizzate.



Le energizzazioni sono ricevute dai due geofoni orizzontali contenuti nel sensore tridimensionale disposto in foro ed in particolare, con qualità di risposta migliore, da quello orientato più favorevolmente rispetto al piano di polarizzazione.

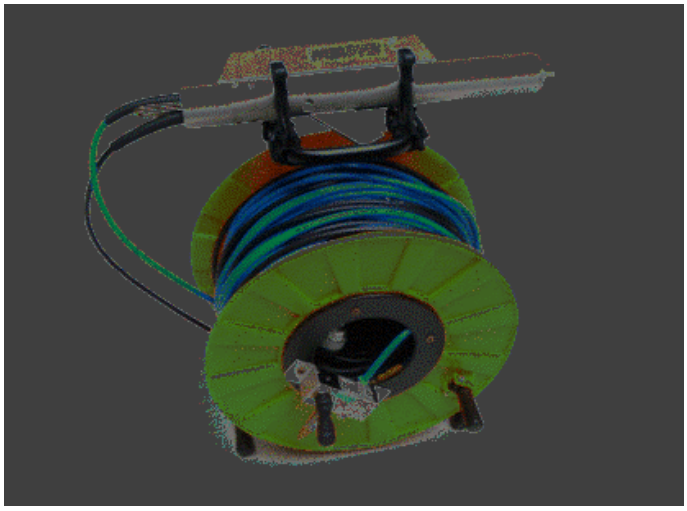
Dal punto di vista teorico la migliore componente di taglio è ricevuta da un geofono orizzontale con proiezione dell'asse del corpo oscillante contenuta entro il piano di polarizzazione dell'onda di taglio.

In fase di setup si effettuano alcune energizzazioni e relative acquisizioni variando l'orientazione "radiale" dello strumento di contrasto per la generazione di onde di taglio rispetto al boccaforo, mantenendo costante la distanza dallo stesso, come nell'esempio qui schematizzato.



Viene contestualmente analizzata la qualità dei segnali ricevuti dai geofoni orizzontali da ogni posizione, scegliendo infine quella che fornisce le onde di taglio più evidenti.

Le registrazioni delle energizzazioni in fasi contrapposte sono state sottoposte, in fase di *post-processing*, ad analisi in raffronto reciproco per verificarne la coerenza, quindi sommate (operazione di *stacking*) previa inversione di fase via software di una delle due in maniera da ottenere una concordanza di fase "artificiale". La procedura è finalizzata ad enfatizzare il primo arrivo dell'onda di taglio attenuando al contempo la componente in onde "p" (non polarizzata, e che quindi virtualmente si annulla sommando energizzazioni successive con fasi opposte) ed il *background noise* (componenti *random*, che statisticamente tendono ad essere annullate dai processi di sommatoria incrementale).
Per ogni quota di ancoraggio del sensore tridimensionale in foro, quindi, sono stati generati tre impulsi: onde "p", onde "s_x", onde "s_y".
Il ricevitore da foro utilizzato per le onde di taglio è un geofono tridimensionale prodotto e commercializzato da PASI, dotato di sistema di ancoraggio pneumatico comandato dalla superficie che consente di ottenere un perfetto accoppiamento tra i sensori e le pareti interne del rivestimento in PVC alle varie profondità di misura. Il sistema può misurare sollecitazioni sismiche fino alla profondità di 60 m dal piano campagna.



Geofono tridimensionale da foro PASI GFA

L'unità di registrazione è costituita da un sismografo di ultima generazione Seismic Source Daq Link III a 24 canali per modulo, con convertitore A/D a 24 bit, corredato di pc portatile.



Seismic Source DAQ LINK III

I segnali di ciascun canale sono stati digitalizzati per una lunghezza di registrazione di 100 ms (onde p) e 180 ms (onde s), visualizzati su pc in tempo reale e quindi memorizzati sull'*hard disk* del *notebook*.
I tempi di percorso dei fronti d'onda dai punti sorgente ai ricevitori in foro vengono individuati considerando traiettorie dirette. Nella realtà sono possibili piccole deviazioni dal percorso diretto a causa di modeste rifrazioni, ma tali effetti risultano generalmente trascurabili.
Tutte le operazioni di *processing* sono state espletate su licenza attraverso lo specifico codice di calcolo "WIN_DOWNHOLE" versione 3.9.16 prodotto da W_GeoSoft per sistema operativo Windows e commercializzato da PASI.
Il metodo "Down Hole" consente di evidenziare fenomeni di inversione di velocità lungo la verticale che non potrebbero essere individuati attraverso le classiche metodologie sismiche a rifrazione dalla superficie.

3. RISULTATI DELLE PROVE

Nelle pagine seguenti per ogni prova eseguita si fornisce quanto segue:

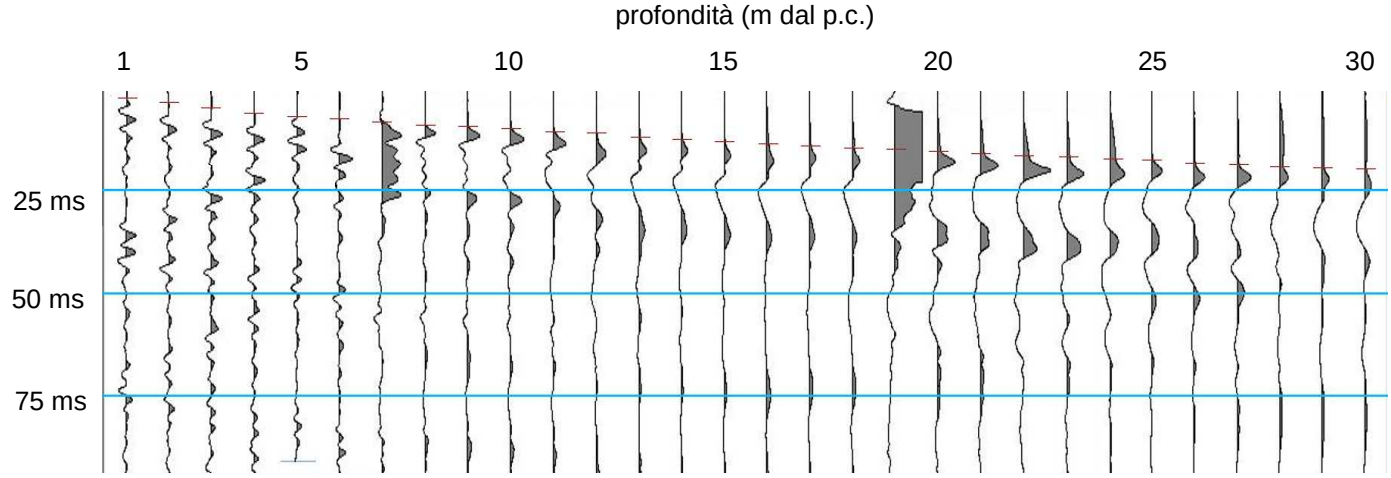
1. tabella con parametri numerici della prova
2. sismogrammi onde "p" alle varie profondità di misura con il picking dei primi arrivi
3. sismogrammi onde "s" alle varie profondità di misura con il picking dei primi arrivi
4. grafico della variazione in continuo della velocità delle onde "p" ed "s" con la profondità
5. tavola contenente le formule utilizzate per calcolare i moduli elastici dinamici partendo dai valori di velocità delle onde "p" ed "s" e dai valori di densità dei terreni (PARAMETRI INDICATIVI forniti dalla Committenza per le coperture non litoidi e per l'ammasso roccioso)
6. grafico della variazione in continuo del coefficiente di Poisson con la profondità
7. grafico della variazione in continuo del modulo di taglio con la profondità
8. grafico della variazione in continuo del modulo di Young con la profondità
9. grafico della variazione in continuo del modulo di Bulk con la profondità

DOWN-HOLE IN PERFORAZIONE SG1: PARAMETRI NUMERICI DELLA PROVA

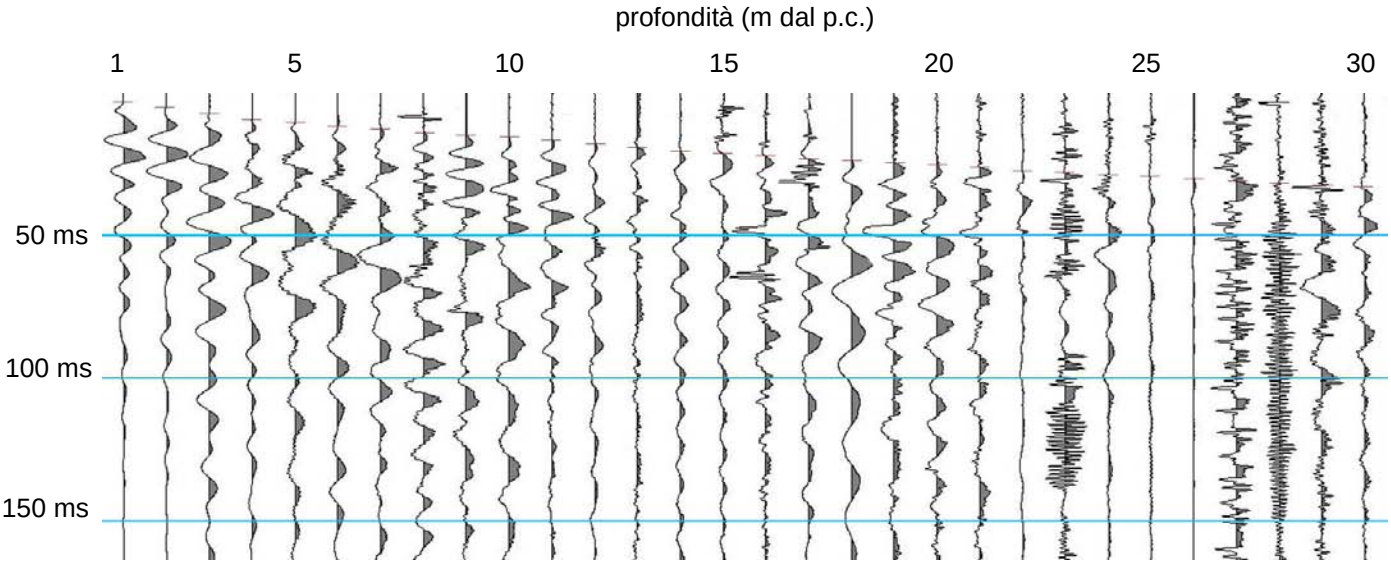
Depth	Layer	Tp	Ts	Vp	Vs	Poisson	Density	Shear	Young	Bulk
1	1	1,80	3,10	678	393	0,25	1,90	293	732	482
2	2	3,00	5,10	748	449	0,22	1,90	383	933	552
3	3	4,20	7,10	801	480	0,22	2,70	622	1518	903
4	4	5,50	9,30	754	445	0,23	2,70	535	1318	822
5	5	6,20	10,50	1411	823	0,24	2,70	1829	4543	2937
6	6	6,90	11,70	1417	826	0,24	2,70	1842	4578	2965
7	7	7,50	12,80	1657	903	0,29	2,70	2202	5675	4478
8	8	8,10	13,90	1659	905	0,29	2,70	2211	5697	4483
9	9	8,60	14,70	1993	1245	0,18	2,70	4185	9877	5144
10	10	9,10	15,50	1994	1246	0,18	2,70	4192	9890	5146
11	11	9,70	16,60	1662	907	0,29	2,70	2221	5721	4497
12	12	10,30	17,70	1663	907	0,29	2,70	2221	5723	4505
13	13	11,10	19,15	1248	688	0,28	2,70	1278	3276	2501
14	14	11,70	20,25	1664	907	0,29	2,70	2221	5725	4514
15	15	12,30	21,35	1664	908	0,29	2,70	2226	5734	4508
16	16	12,80	22,15	1997	1248	0,18	2,70	4205	9921	5161
17	17	13,25	22,90	2220	1332	0,22	2,70	4790	11677	6919
18	18	13,70	23,65	2220	1332	0,22	2,70	4790	11677	6919
19	19	14,20	24,45	1998	1249	0,18	2,70	4212	9934	5162
20	20	14,65	25,20	2220	1332	0,22	2,70	4790	11677	6919
21	21	15,10	25,95	2220	1332	0,22	2,70	4790	11677	6919
22	22	15,70	27,05	1665	908	0,29	2,70	2226	5736	4517
23	23	16,15	27,80	2221	1332	0,22	2,70	4790	11680	6931
24	24	16,55	28,50	2498	1427	0,26	2,70	5498	13831	9517
25	25	16,95	29,20	2498	1427	0,26	2,70	5498	13831	9517
26	26	17,40	29,95	2221	1332	0,22	2,70	4790	11680	6931
27	27	17,85	30,70	2221	1332	0,22	2,70	4790	11680	6931
28	28	18,30	31,45	2221	1332	0,22	2,70	4790	11680	6931
29	29	18,65	32,05	2856	1666	0,24	2,70	7494	18617	12031
30	30	19,00	32,65	2856	1666	0,24	2,70	7494	18617	12031

Layer: numero di “strato”
Tp: tempo di primo arrivo dell'onda “p” (in ms)
Ts: tempo di primo arrivo dell'onda “s” (in ms)
Vp: velocità risultante dell'onda “p” (in m/s)
Vs: velocità risultante dell'onda “s” (in m/s)
Density: densità (in t/mc)
Poisson: coefficiente di Poisson (adimensionale)
Shear: modulo di taglio o di rigidità (in Mpa)
Young: modulo di Young (in Mpa)
Bulk: modulo di Bulk (in Mpa)

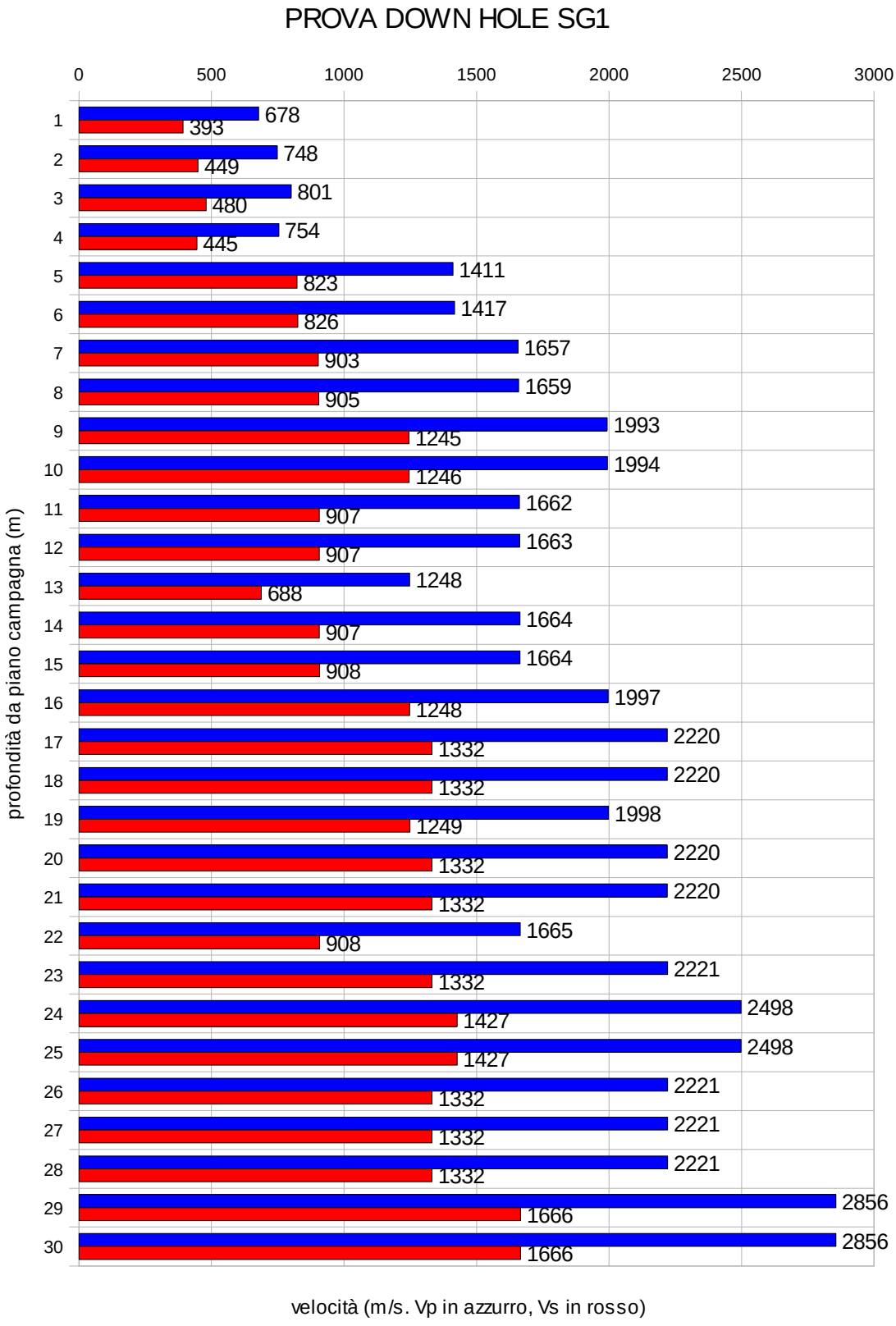
PROVA DOWN-HOLE SG1: SISMOGRAMMI ONDE "P"



PROVA DOWN-HOLE SG1: SISMOGRAMMI ONDE "S"



PROVA DOWN-HOLE SG1: VARIAZIONE DELLA VELOCITÀ DELLE ONDE "P" ED "S" CON LA PROFONDITÀ



FORMULE DI CALCOLO DEI PARAMETRI ELASTICI - DINAMICI UTILIZZATE DAL SOFTWARE WIN_DOWNHOLE (DAL MANUALE)

COEFFICIENTE DI POISSON

$$\upsilon = \frac{(Vp/Vs)^2 - 2}{2(Vp/Vs)^2 - 2}$$

MODULO DI TAGLIO

$$G = d \cdot V_s^2$$

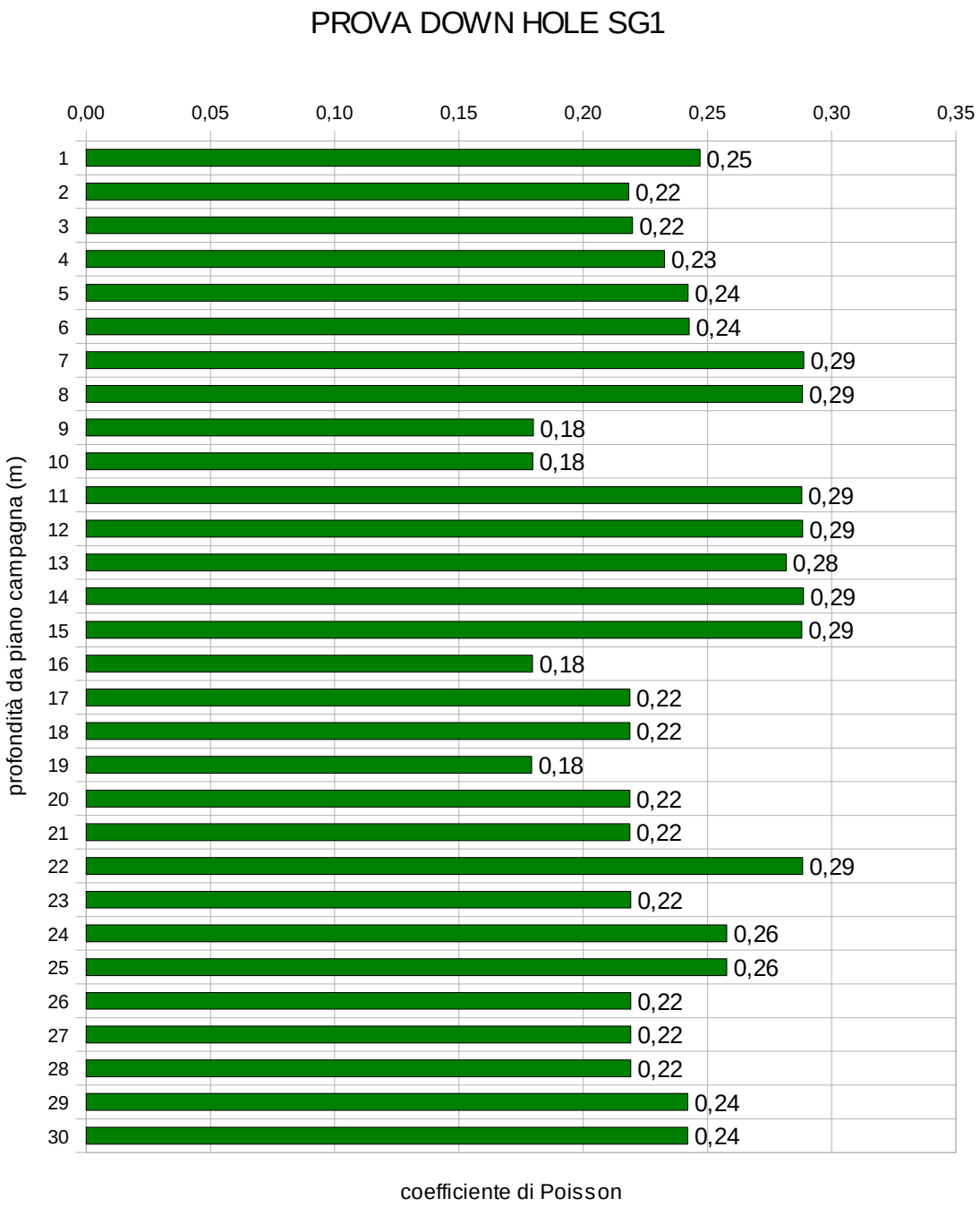
MODULO DI YOUNG

$$E = 2G(1+\upsilon)$$

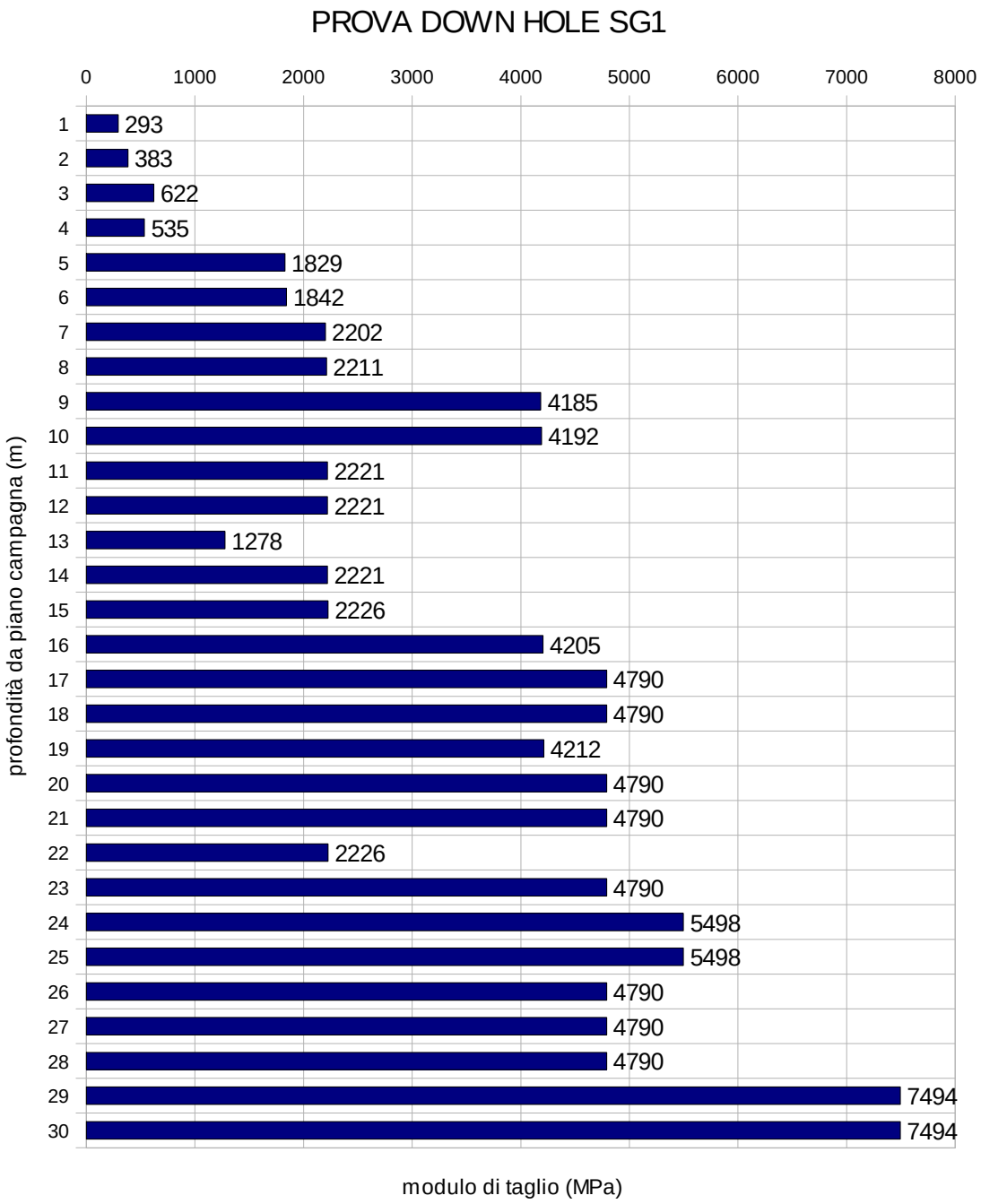
MODULO DI BULK

$$K = \frac{1}{3}\frac{E}{1-2\upsilon}$$

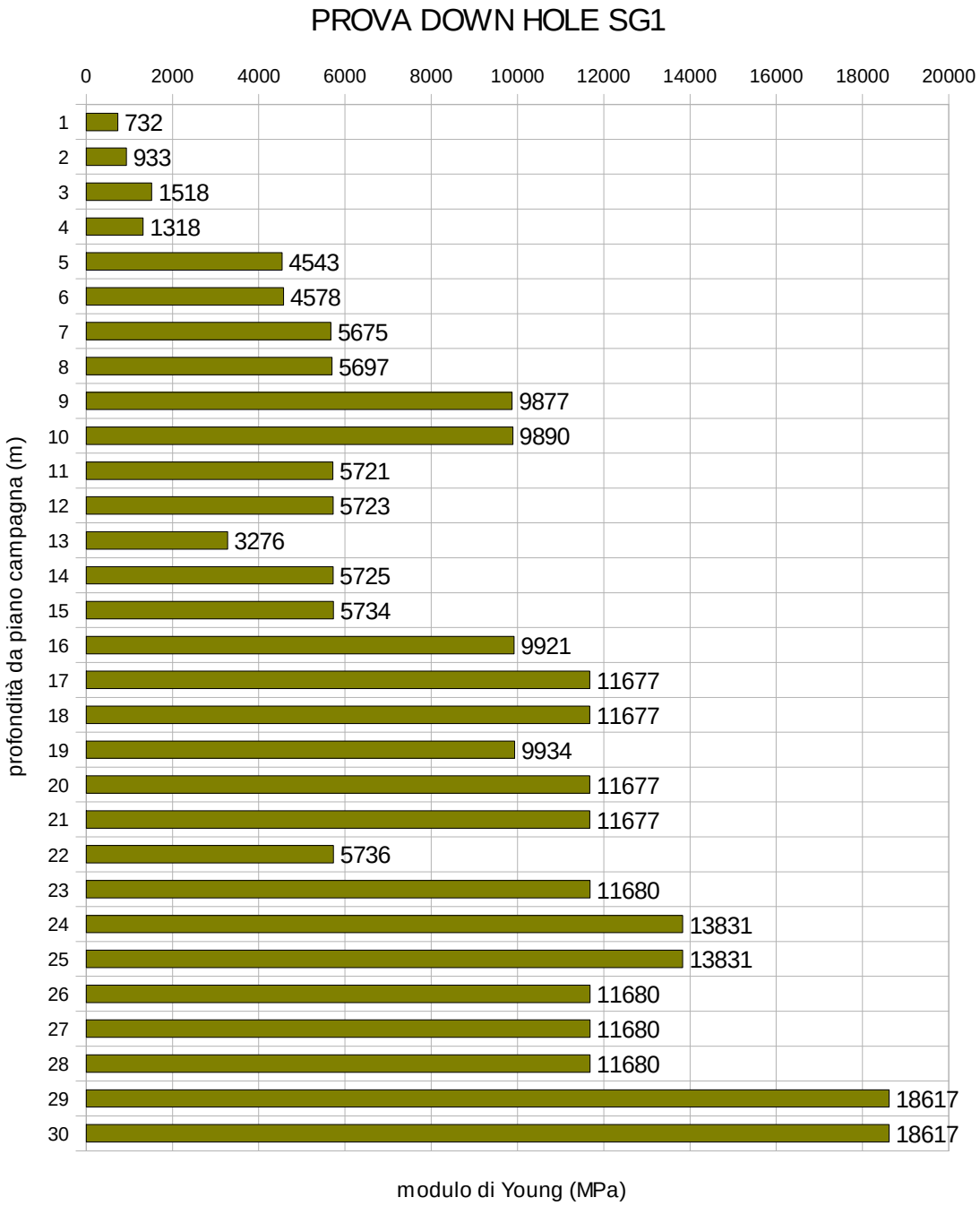
PROVA DOWN-HOLE SG1: VARIAZIONE DEL COEFFICIENTE DI POISSON CON LA PROFONDITÀ



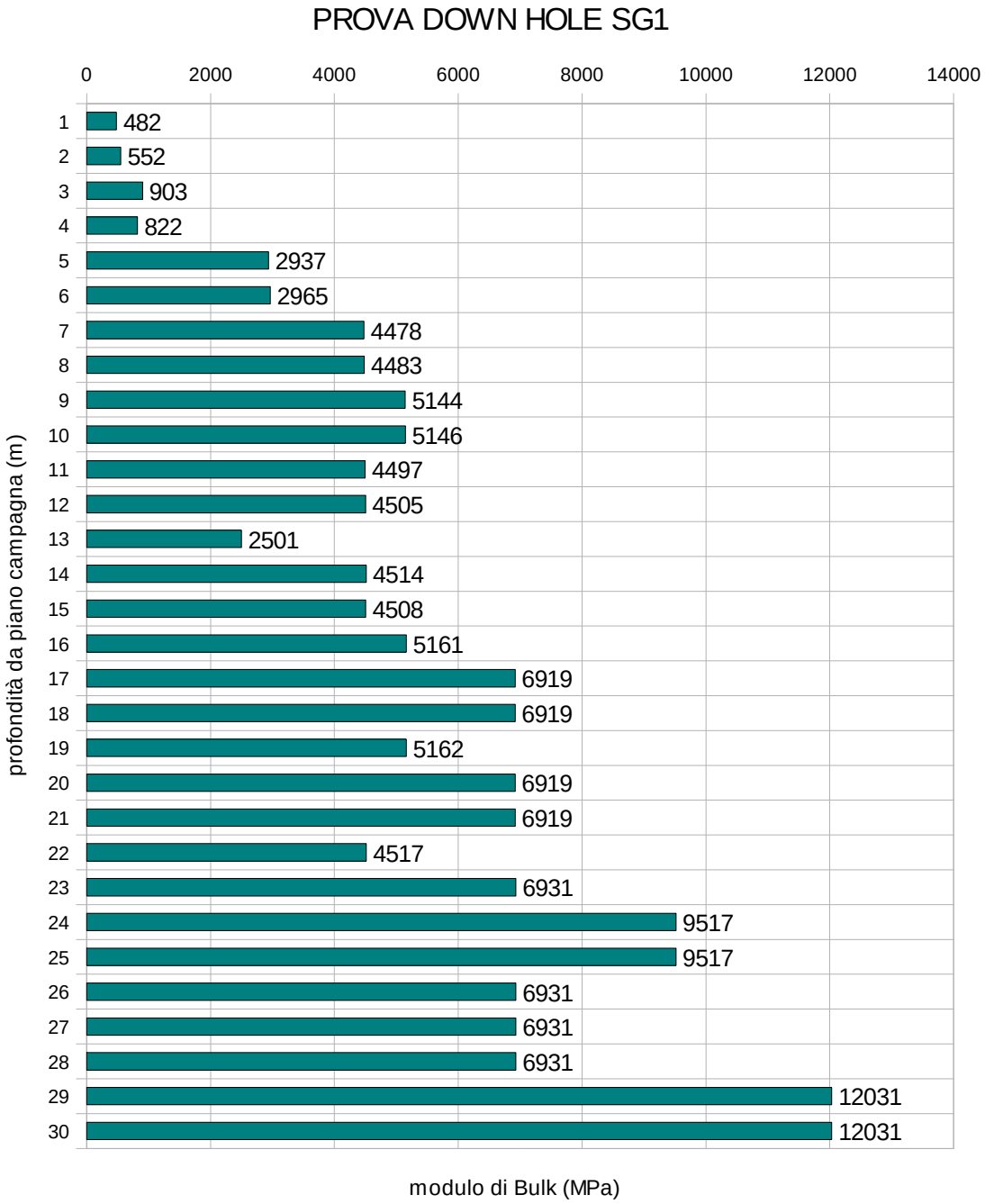
PROVA DOWN-HOLE SG1: VARIAZIONE DEL MODULO DI TAGLIO CON LA PROFONDITÀ



PROVA DOWN-HOLE SG1: VARIAZIONE DEL MODULO DI YOUNG CON LA PROFONDITÀ



PROVA DOWN-HOLE SG1: VARIAZIONE DEL MODULO DI BULK CON LA PROFONDITÀ

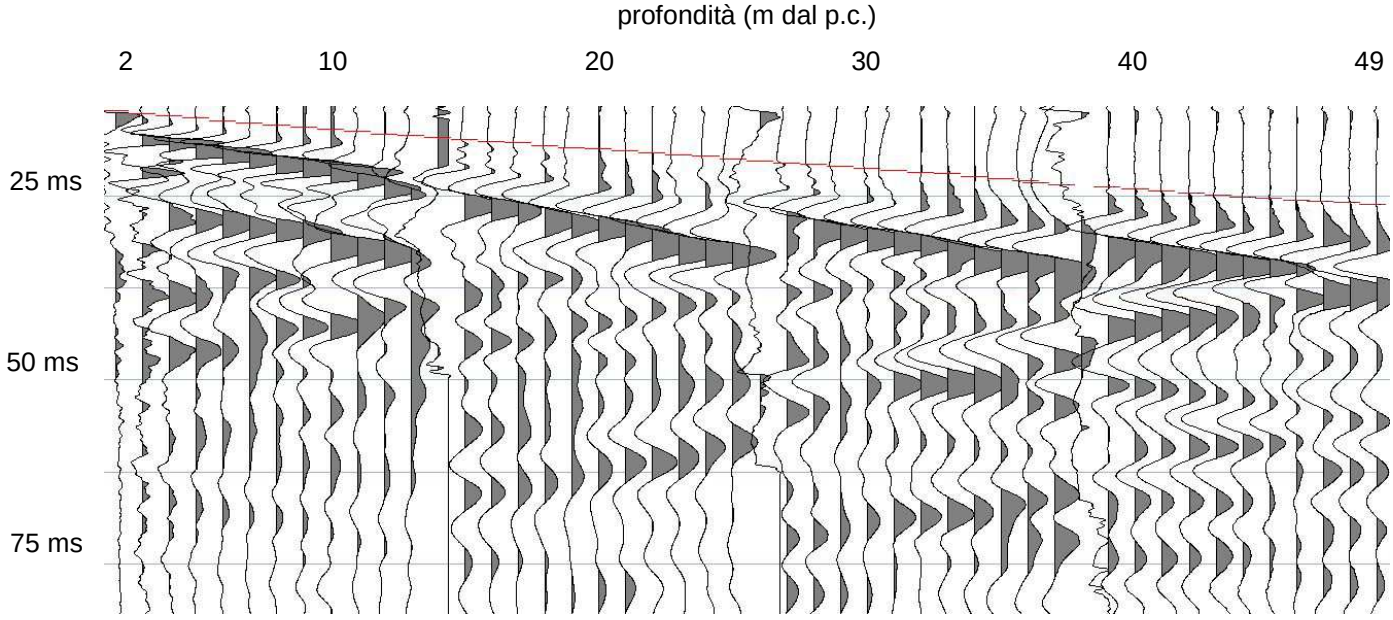


DOWN-HOLE IN PERFORAZIONE SG2: PARAMETRI NUMERICI DELLA PROVA

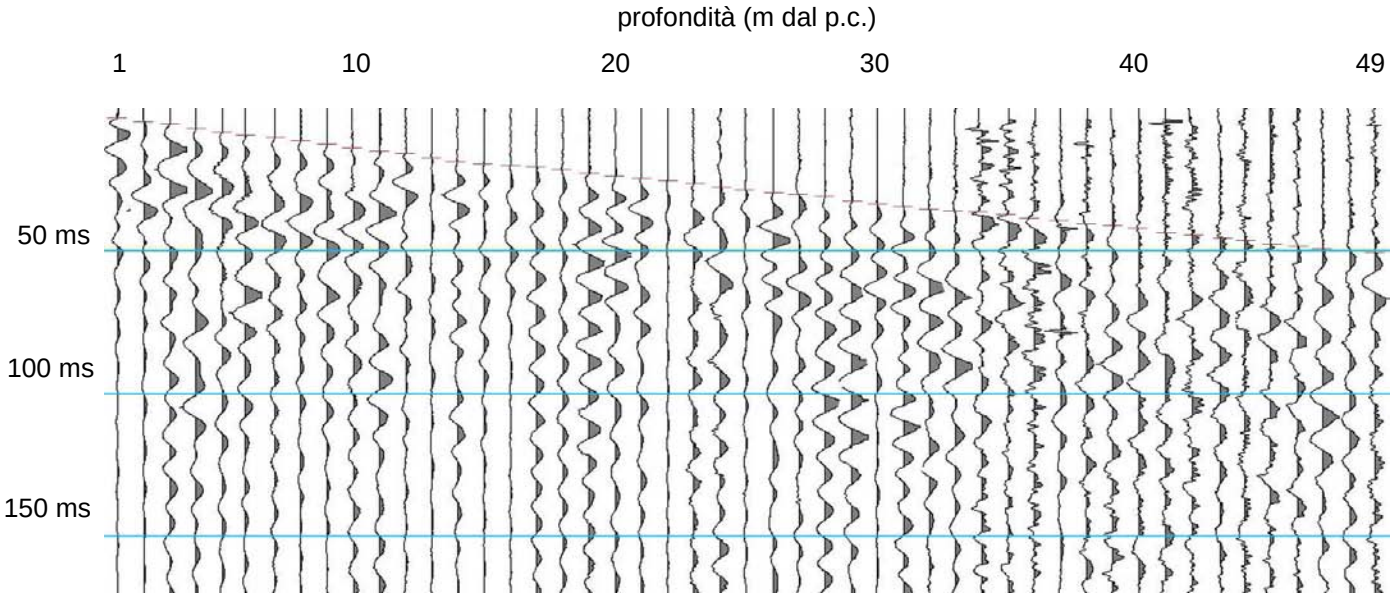
Depth	Layer	Tp	Ts	Vp	Vs	Poisson	Density	Shear	Young	Bulk
1	1	#	3,6	#	392	###	1,90	292	#	#
2	2	1,9	4,9	1176	632	0,30	1,90	759	1969	1616
3	3	2,6	6,3	1323	661	0,33	2,70	1180	3147	3153
4	4	3,3	7,6	1372	739	0,30	2,70	1475	3821	3116
5	5	3,9	8,7	1626	887	0,29	2,70	2124	5473	4306
6	6	4,5	9,8	1639	894	0,29	2,70	2158	5560	4376
7	7	5,1	10,9	1647	898	0,29	2,70	2177	5611	4421
8	8	5,7	12	1651	901	0,29	2,70	2192	5646	4437
9	9	6,3	13,1	1655	902	0,29	2,70	2197	5662	4466
10	10	6,9	14,2	1657	904	0,29	2,70	2206	5684	4471
11	11	7,5	15,3	1659	904	0,29	2,70	2206	5688	4489
12	12	8,1	16,4	1660	905	0,29	2,70	2211	5699	4492
13	13	8,6	17,3	1993	1107	0,28	2,70	3309	8450	6313
14	14	9,1	18,2	1994	1108	0,28	2,70	3315	8463	6316
15	15	9,6	19,1	1995	1108	0,28	2,70	3315	8466	6326
16	16	10,1	20	1995	1108	0,28	2,70	3315	8466	6326
17	17	10,6	20,9	1996	1109	0,28	2,70	3321	8479	6329
18	18	11,2	22	1663	907	0,29	2,70	2221	5723	4505
19	19	11,7	22,9	1997	1109	0,28	2,70	3321	8481	6340
20	20	12,2	23,8	1997	1109	0,28	2,70	3321	8481	6340
21	21	12,7	24,7	1997	1109	0,28	2,70	3321	8481	6340
22	22	13,2	25,6	1997	1109	0,28	2,70	3321	8481	6340
23	23	13,7	26,5	1998	1110	0,28	2,70	3327	8495	6343
24	24	14,3	27,6	1665	908	0,29	2,70	2226	5736	4517
25	25	14,9	28,7	1665	908	0,29	2,70	2226	5736	4517
26	26	15,5	29,8	1665	908	0,29	2,70	2226	5736	4517
27	27	16	30,7	1998	1110	0,28	2,70	3327	8495	6343
28	28	16,5	31,6	1998	1110	0,28	2,70	3327	8495	6343
29	29	17	32,5	1998	1110	0,28	2,70	3327	8495	6343
30	30	17,5	33,4	1998	1110	0,28	2,70	3327	8495	6343
31	31	18	34,3	1998	1110	0,28	2,70	3327	8495	6343
32	32	18,5	35,2	1998	1110	0,28	2,70	3327	8495	6343
33	33	19	36,1	1999	1110	0,28	2,70	3327	8497	6354
34	34	19,6	37,2	1665	908	0,29	2,70	2226	5736	4517
35	35	20,2	38,3	1665	908	0,29	2,70	2226	5736	4517
36	36	20,8	39,4	1666	908	0,29	2,70	2226	5738	4526
37	37	21,2	40,2	2499	1249	0,33	2,70	4212	11234	11245
38	38	21,7	41,1	1999	1110	0,28	2,70	3327	8497	6354
39	39	22,2	42	1999	1110	0,28	2,70	3327	8497	6354
40	40	22,7	42,9	1999	1110	0,28	2,70	3327	8497	6354
41	41	23,3	43,9	1666	999	0,22	2,70	2695	6571	3901
42	42	23,8	44,8	1999	1110	0,28	2,70	3327	8497	6354
43	43	24,3	45,7	1999	1110	0,28	2,70	3327	8497	6354
44	44	24,7	46,5	2499	1249	0,33	2,70	4212	11234	11245
45	45	25,2	47,4	1999	1110	0,28	2,70	3327	8497	6354
46	46	25,6	48,1	2499	1428	0,26	2,70	5506	13848	9520
47	47	26,1	49	1999	1110	0,28	2,70	3327	8497	6354
48	48	26,6	49,9	1999	1110	0,28	2,70	3327	8497	6354
49	49	27	50,6	2499	1428	0,26	2,70	5506	13848	9520

Layer: numero di “strato”
Tp: tempo di primo arrivo dell'onda “p” (in ms)
Ts: tempo di primo arrivo dell'onda “s” (in ms)
Vp: velocità risultante dell'onda “p” (in m/s)
Vs: velocità risultante dell'onda “s” (in m/s)
Density: densità (in t/mc)
Poisson: coefficiente di Poisson (adimensionale)
Shear: modulo di taglio o di rigidità (in Mpa)
Young: modulo di Young (in Mpa)
Bulk: modulo di Bulk (in Mpa)

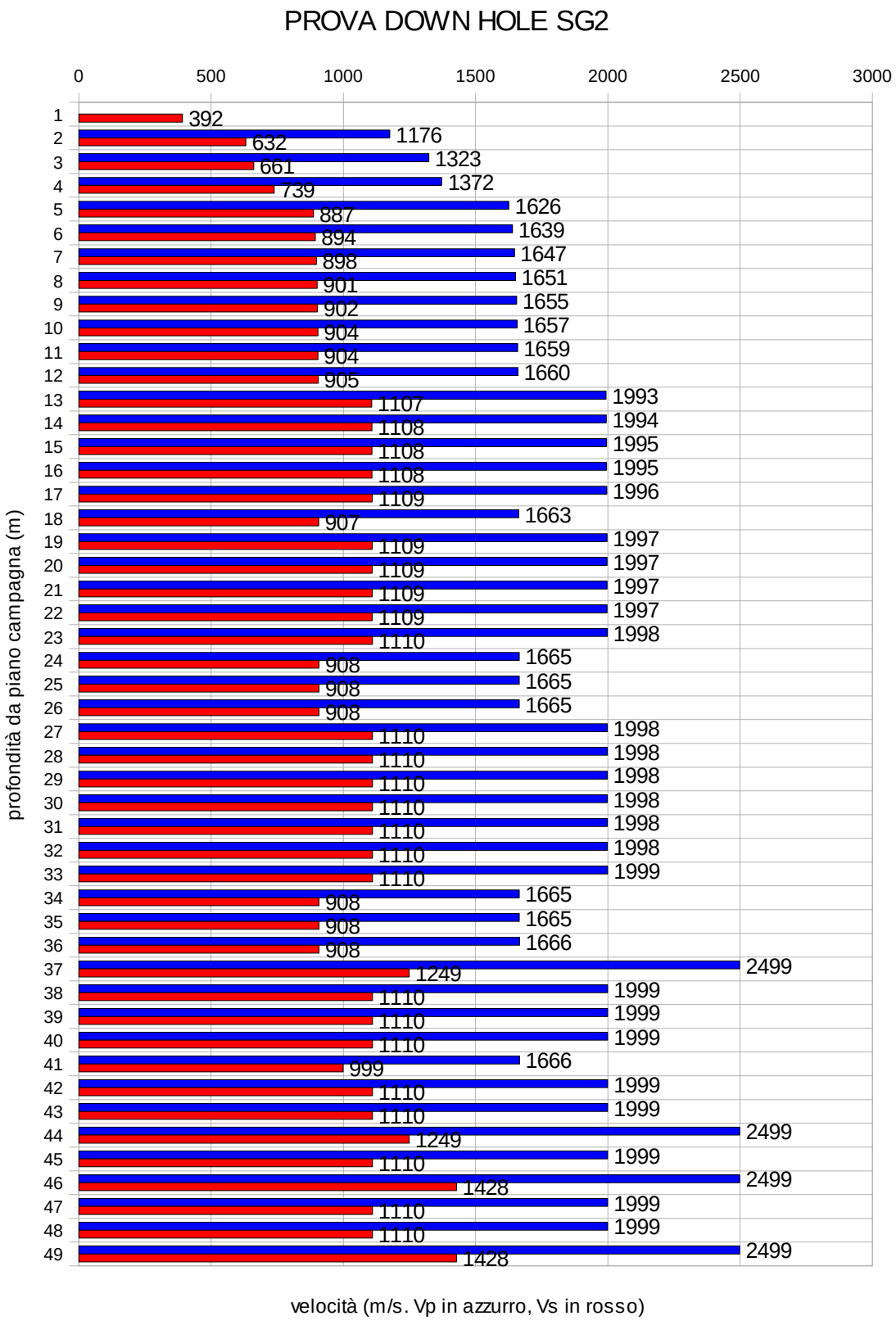
PROVA DOWN-HOLE SG2: SISMOGRAMMI ONDE "P"



PROVA DOWN-HOLE SG2: SISMOGRAMMI ONDE "S"



PROVA DOWN-HOLE SG2: VARIAZIONE DELLA VELOCITÀ DELLE ONDE "P" ED "S" CON LA PROFONDITÀ



FORMULE DI CALCOLO DEI PARAMETRI ELASTICI - DINAMICI UTILIZZATE DAL SOFTWARE WIN_DOWNHOLE (DAL MANUALE)

COEFFICIENTE DI POISSON

$$\upsilon = \frac{(Vp/Vs)^2 - 2}{2(Vp/Vs)^2 - 2}$$

MODULO DI TAGLIO

$$G = d \cdot V_s^2$$

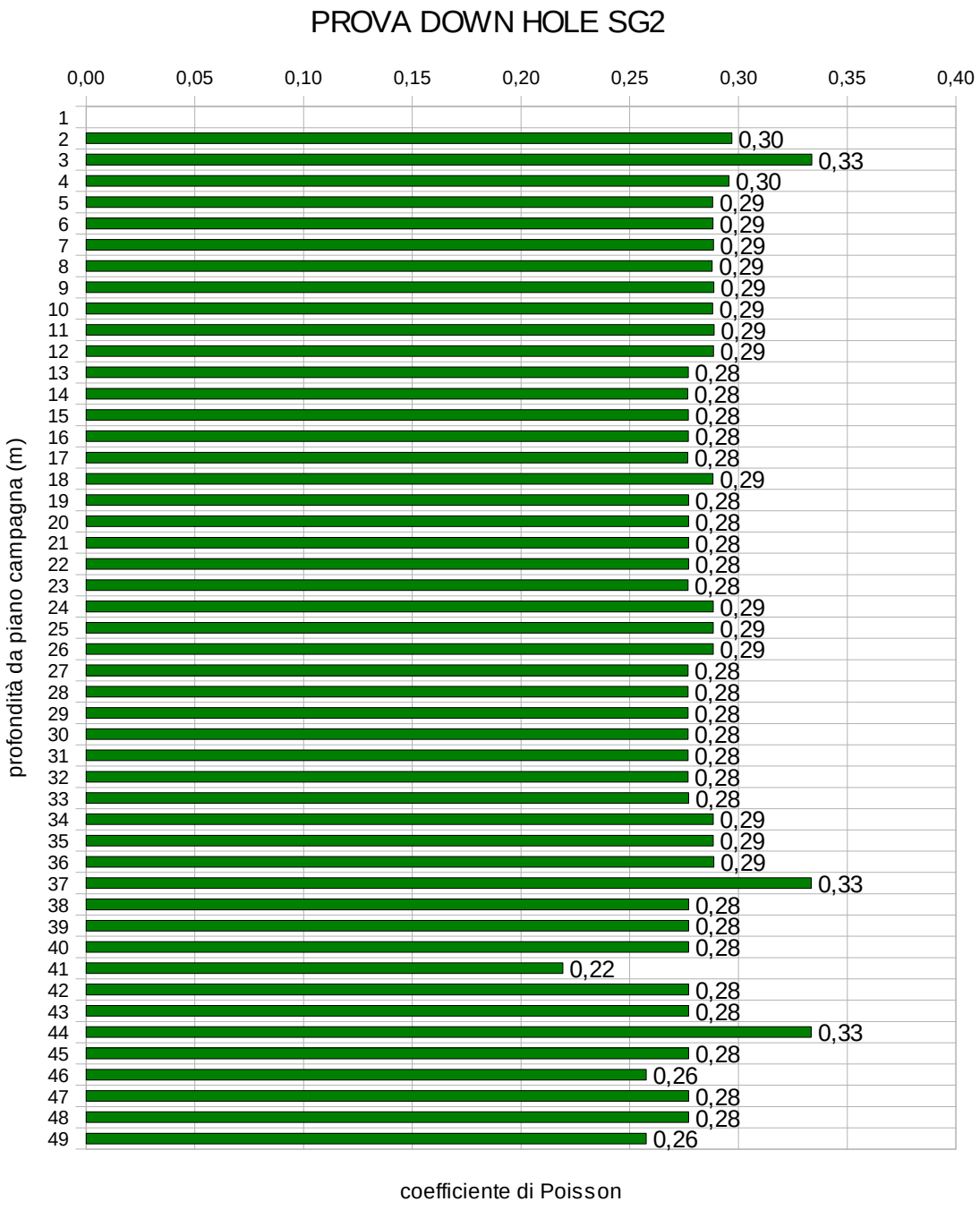
MODULO DI YOUNG

$$E = 2G(1+\upsilon)$$

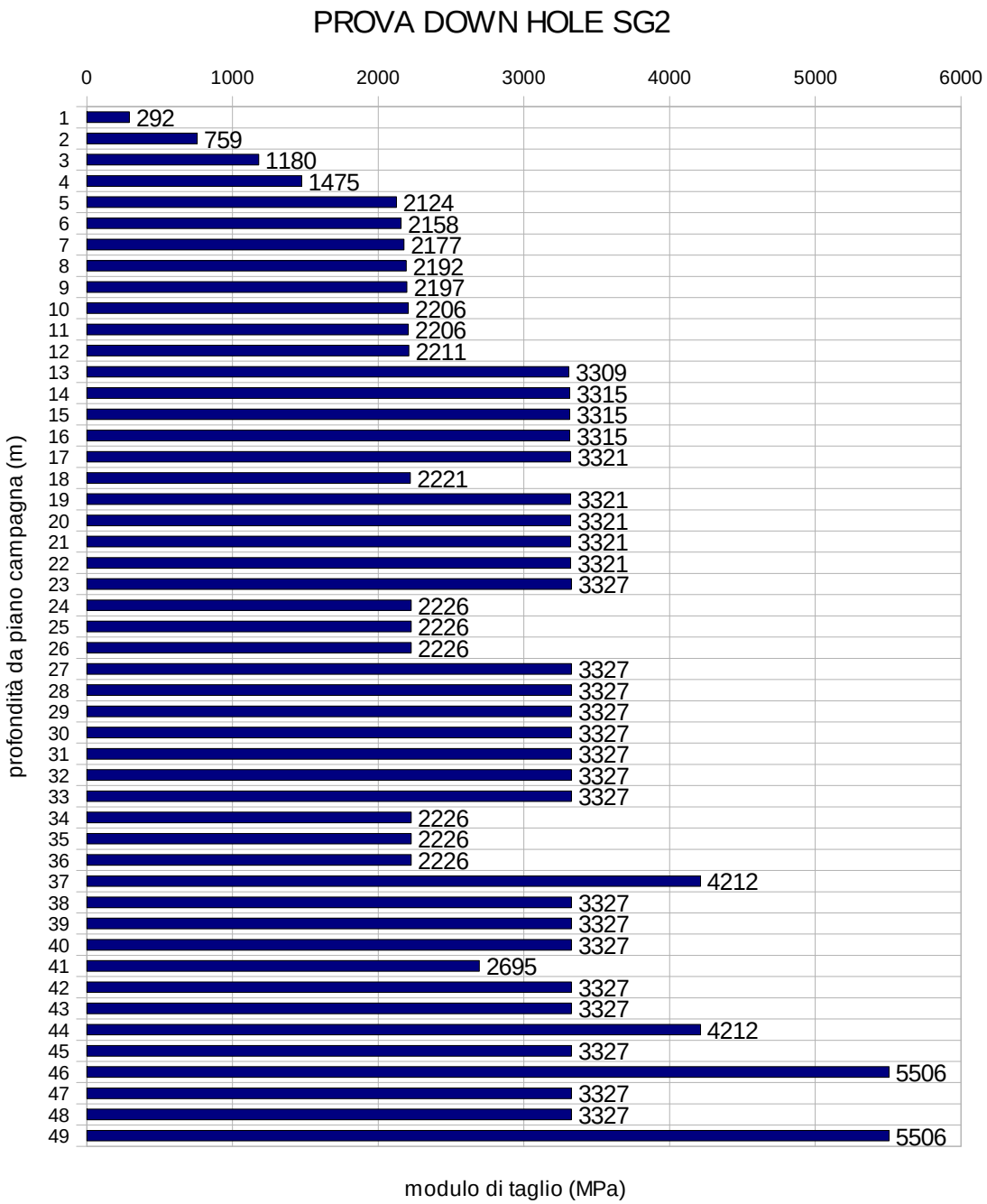
MODULO DI BULK

$$K = \frac{1}{3}\frac{E}{1-2\upsilon}$$

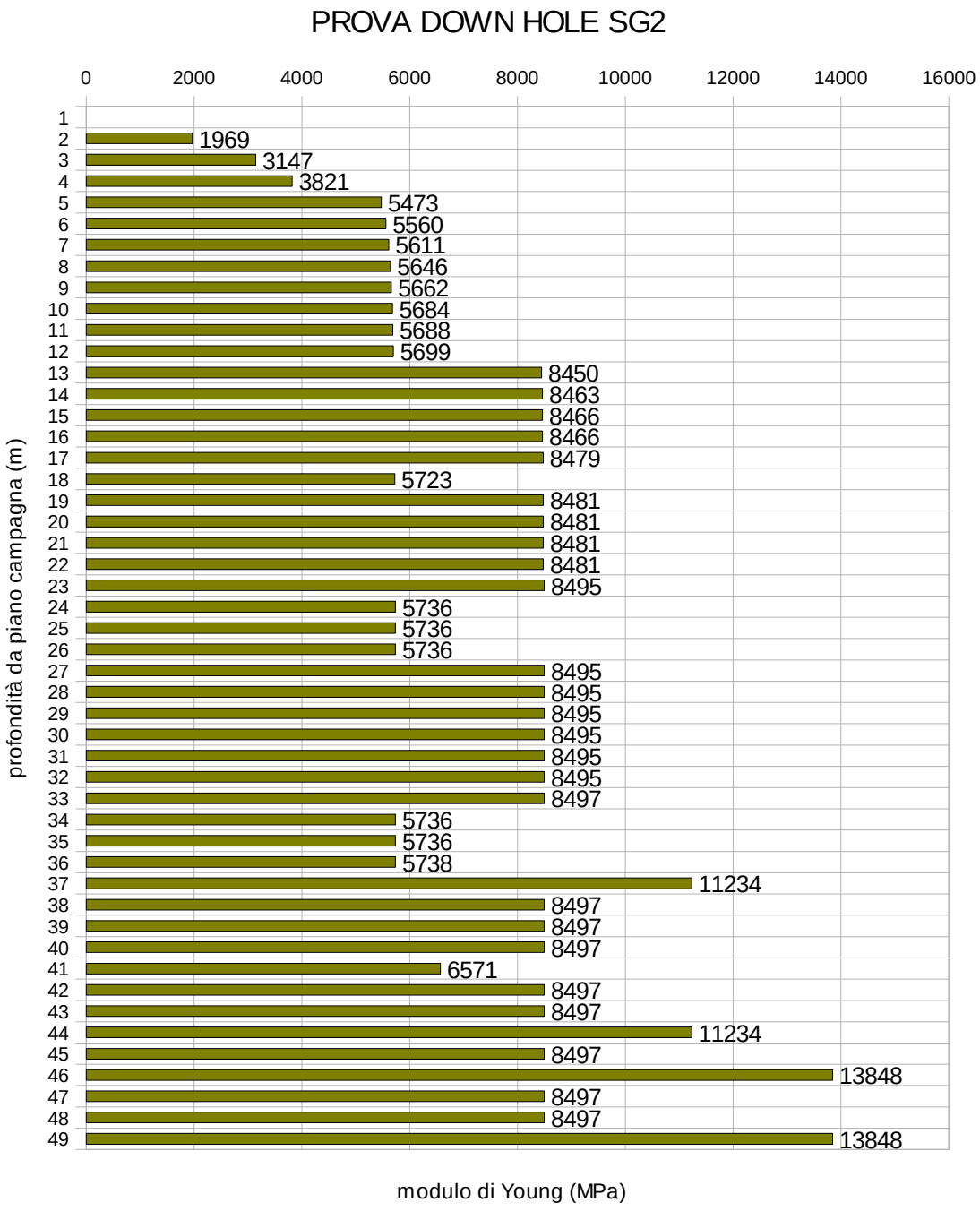
PROVA DOWN-HOLE SG2: VARIAZIONE DEL COEFFICIENTE DI POISSON CON LA PROFONDITÀ



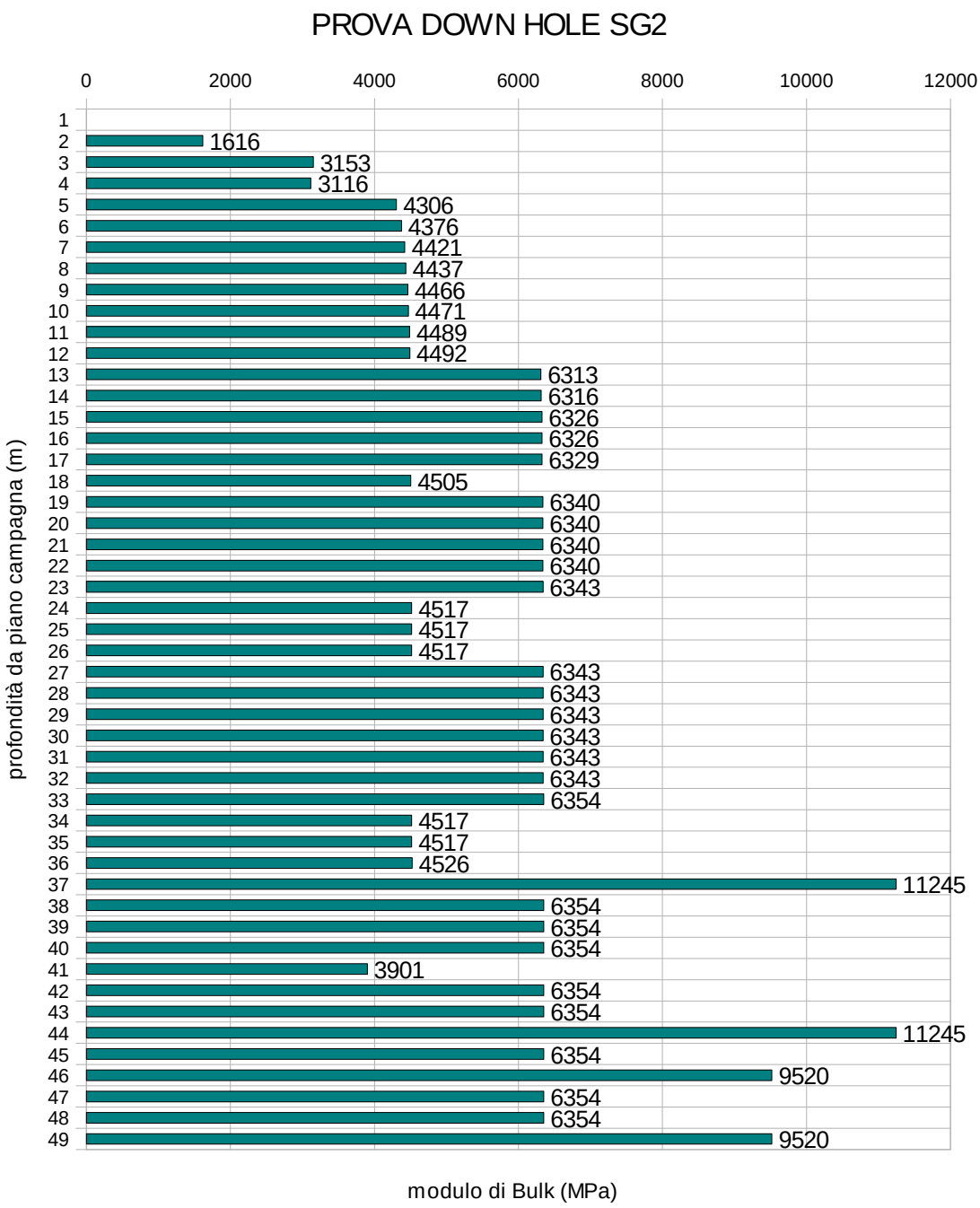
PROVA DOWN-HOLE SG2: VARIAZIONE DEL MODULO DI TAGLIO CON LA PROFONDITÀ



PROVA DOWN-HOLE SG2: VARIAZIONE DEL MODULO DI YOUNG CON LA PROFONDITÀ



PROVA DOWN-HOLE SG2: VARIAZIONE DEL MODULO DI BULK CON LA PROFONDITÀ



Savona, 09.12.2015

Geologo dott. Giorgio Lombardi