

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA

TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE - GELA

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

S.O. GEOLOGIA TECNICA DELL'AMBIENTE E DEL TERRITORIO

RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA

LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - NISCEMI

INDAGINI GEOFISICHE

CAMPAGNA 2022

SCALA:

-

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

RS6K 00 R 69 IG GE0005 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	SOCOTEC Srl	Luglio 2022	F.L. Falciani	Luglio 2022	P. Mosca	Aprile 2022	M. Comedini Gennaio 2023
B	Emissione Esecutiva	SOCOTEC Srl	Gennaio 2023	F.L. Falciani	Gennaio 2023	P. Mosca	Gennaio 2023	ITALFERR Dati Geol. e Geofisici Correlati Campagna 2022 M. Comedini

File: RS6K00R69IGGE0005001B n. Elab.:

Sommario

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
2.4 RISULTATI INDAGINI MASW.....	9
3. PROSPEZIONE DOWN HOLE.....	10
3.1. ACQUISIZIONE.....	11
3.2. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	11
3.3. PROCESSING INDAGINE DOWN HOLE.....	13
3.4 RISULTATI INDAGINE DOWN HOLE	18
4. METODO HVSR	18
4.1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO	18
4.2. FREQUENZA FONDAMENTALE DEL SITO.....	19
4.3. PROFILI SISMICO-STRATIGRAFICI E PARAMETRO VSEQ.....	20
4.4. ACQUISIZIONE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	21
4.5 RISULTATI INDAGINI HVSR	24
5. BIBLIOGRAFIA	25
ALLEGATI	26

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche realizzate lungo la linea ferroviaria Niscemi-Gela. In dettaglio, sono state eseguite n°6 prospezione MASW, n°1 prospezione down-Hole, n° 6 indagini HVSR. Le indagini sono state realizzate nel mese di febbraio 2022.



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)
MASW8	48	37° 8'26.60"N 14°23'44.63"E	37° 8'25.05"N 14°23'45.20"E
MASW9	48	37° 8'26.25"N 14°23'44.80"E	37° 8'24.60"N 14°23'45.50"E
MASW10	69	37° 7'14.89"N 14°24'32.46"E	37° 7'15.50"N 14°24'29.76"E
MASW11	69	37° 6'47.42"N 14°24'8.21"E	37° 6'46.39"N 14°24'5.61"E
MASW12	69	37° 4'30.45"N 14°21'3.68"E	37° 4'30.15"N 14°21'0.82"E
MASW13	69	37° 4'6.51"N 14°20'8.89"E	37° 4'7.81"N 14°20'6.65"E

ID Prova	Coordinate
DH_SRIL 12	37° 4'29.49"N 14°21'1.58"E

ID Prova	Coordinate
HVSR 8	37° 8'25.23"N 14°23'44.76"E
HVSR 9	37° 7'48.22"N 14°24'29.63"E
HVSR 10	37° 7'15.21"N 14°24'30.87"E
HVSR 11	37° 6'47.37"N 14°24'6.82"E
HVSR 12	37° 4'29.74"N 14°21'1.45"E
HVSR 13	37° 4'7.40"N 14°20'7.96"E

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 Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. La

determinazione delle Vs viene ottenuta tramite l'inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh (Fig. 2).

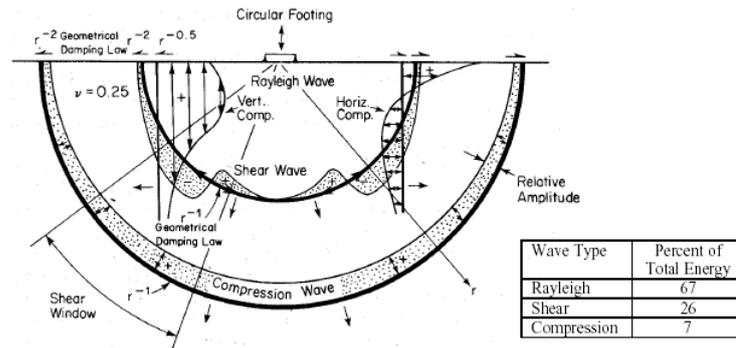


Figura 2 - Distribuzione delle onde di Rayleigh nel sottosuolo.

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 $U(x, f)$:

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

	RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA					
	LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - NISCEMI					
Indagini geofisiche	COMMESSA RS6J	LOTTO 01 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 5 di 27

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:

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

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 ϕ , 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).

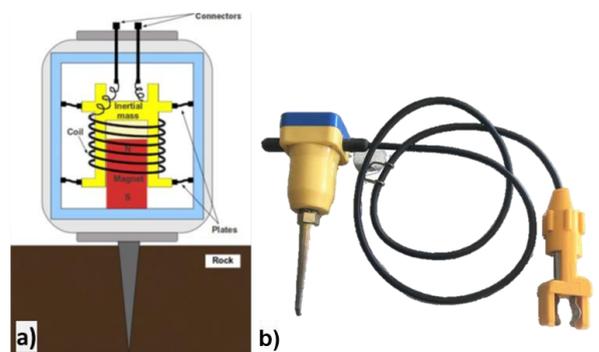


Figura 3 – Geofoni per onda P ed Sh; a) schema di funzionamento del geofono per onda P; b) geofono per onda P con frequenza caratteristica di 4.5 Hz.

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).

A/D Conversion:	24 bit (Crystal Semiconductor sigma-delta converters)
DynamicRange:	144 dB (system), 110 dB (instantaneous, measured) at 2ms, 24dB.
Distortion:	0.0005% @ 2 ms, 1.75 to 208 Hz.
Bandwidth:	1.75 Hz to 20 kHz
Common Mode Rejection:	> -100 dB at <=100 Hz, 36 dB.
Crosstalk:	-125 dB at 23.5 Hz, 24 dB, 2 ms.
Noise Floor:	0.2uV, RFI at 2 ms, 36 dB, 1.75 to 208 Hz.
Stacking Trigger Accuracy:	1/32 of sample interval.

Maximum Input Signal:	2.8 VPP.
Input Impedance:	20 kOhm, 0.02 uf.
Preamplifier Gains: dB, or 0dB.	24 or 36 dB
Anti-alias Filters:	-3 dB at 83% of Nyquist frequency, down 90 dB.
Pre-trigger Data:	Up to 4,096 Samples.
Sample Interval:	0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 ms.
Record Length:	16,000 samples standard
Delay:	0 to 9999 ms in 1 ms steps.
Data Transmission:	Ethernet connections

Tabella 2 - Specifiche tecniche Sismografo GEODE.

2.3. Schema di acquisizione

Gli stendimenti sismici sono stati realizzati utilizzando 24 canali d'acquisizione (geofoni) con passo intergeofonico pari a 2 m per le Masw 8 e 9 e con passo intergeofonico pari a 3 m per le Masw da 10 a 13 (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 μ s;



Figura 5 - Fasi di acquisizione

2.4 RISULTATI INDAGINI MASW

Le indagini MASW 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, secondo la nuova normativa NTC2018.

Le indagini MASW (Tab. 3) indicano dei suoli classificabili come categoria C, pur essendo caratterizzati da inversioni di velocità asseverabili alla presenza di lenti limoso/argillose inglobate in suoli sabbiosi più veloci. La MASW 9 indica una V_{seq} maggiore inquadrando il suolo nella categoria B.

Per l'interpretazione delle indagini MASW, sono stati consultati i sondaggi geognostici presenti nell'area.

ID MASW	$V_{seq(0-30)}$	SUOLO
MASW 8	343	C
MASW 9	529	B
MASW 10	327	C
MASW 11	352	C
MASW 12	327	C
MASW 13	260	C

Tabella 3 – Tabella riassuntiva delle indagini MASW

	RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - NISCEMI					
Indagini geofisiche	COMMESSA RS6J	LOTTO 01 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 10 di 27

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

3. PROSPEZIONE DOWN HOLE

Lo scopo della prova DH, prova sismica in foro, è quello di valutare la velocità delle onde sismiche primarie V_p e secondarie V_{sh} , dal piano campagna sino ad una profondità pari a 30 m (Gasperini & Signanini, 1983). Le prove sismiche Down-Hole vengono eseguite con lo scopo di misurare la velocità delle onde dirette che si propagano dalla superficie in profondità. Il terreno viene energizzato in superficie, in prossimità di testa-foro, e la registrazione avviene in foro grazie ad un geofono triassiale ancorato a profondità crescenti. Tale geofono registra gli spostamenti, tradotti sotto forma di impulsi elettrici, lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x , y , z). Le onde sismiche vengono generate energizzando il terreno in direzione verticale e in direzione trasversale (parallelamente al suolo). Nel primo caso, verranno generate prevalentemente onde compressive (onde P) che si propagano in profondità e vengono registrate al meglio dal geofono verticale (asse z). Nel secondo caso, verranno generate prevalentemente onde di taglio (onde Sh) visibili principalmente sui geofoni con l'asse posto orizzontalmente (assi x e y). Le onde di taglio, avendo velocità inferiori rispetto a quelle compressive, solitamente intorno al 60 - 70%, raggiungono il geofono quando il primo fronte d'onda compressiva è già transitato. Questo passaggio, purtroppo, costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali, in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda Sh. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda compressiva P e l'energia dell'onda trasversale S a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto. La sottrazione delle forme d'onda relative a queste due acquisizioni, riduce sensibilmente la componente compressiva presente nel segnale. Tali prove forniscono una dettagliata stratigrafia di velocità delle onde compressive (V_p) e delle onde di taglio (V_{sh}).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA					
	LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - NISCEMI					
Indagini geofisiche	COMMESSA RS6J	LOTTO 01 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 11 di 27

3.1. Acquisizione

La distanza tra le sorgenti di onde P e Sh ed il boccaforo è pari a 2 metri. Una volta raggiunta la profondità di prova (fondo foro), i ricevitori vengono assicurati alla parete del tubo di rivestimento mediante dei pistoni azionati da un compressore; la sorgente viene colpita in senso verticale per generare onde di compressione P e lateralmente per generare onde di taglio Sh (Fig. 6 e 7) facendo partire, per mezzo del trigger, la registrazione del segnale acquisita secondo i seguenti parametri:

Sampling interval (ms)	0.125
Record length (s)	0.5
Spacing (m)	1

Tabella 4 - Parametri di campionamento prove DH

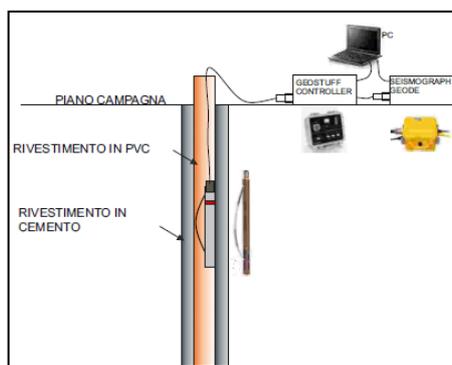


Figura 6 - Schema di acquisizione prova Down-Hole

3.2. Strumentazione impiegata

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

- sistema energizzante;
- sistema di ricezione;

Indagini geofisiche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6J	01 R 69	RG	GE0005 001	A	12 di 27

- 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. È stata utilizzata una massa battente da 5kg.

sistema di ricezione: per l'indagine è stato utilizzato il geofono da foro triassiale "BHG-2 Borehole Geophone". Il modello Geostuff BHG-2 (Fig. 8) contiene 2 geofoni, posizionati sulla stessa verticale e distanziati 1 m tra loro, orientati in un modello X-Y-Z. Il geofono longitudinale punta verso la molla del morsetto. Il diametro esterno è di 1,85 pollici (47 mm), abbastanza piccolo da adattarsi all'interno di un tubo di plastica da 40 pollici. Il meccanismo di blocco consiste in una robusta molla in acciaio compressa da un motore elettrico CC. La lunghezza del geofono è 700 mm e il peso di 2 kg. I cavi down-hole si collegano alla scatola di controllo. Due scatole di controllo possono essere salvate in modo da poter leggere i risultati dei due geofoni del foro da un sismografo a 12 canali.



Figura 7 - Geofono da foro "BHG-2 Borehole Geophone"

	RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - NISCEMI					
Indagini geofisiche	COMMESSA RS6J	LOTTO 01 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 13 di 27

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 si è 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*. Per i dettagli, si rimanda al paragrafo 2.3.

3.3. Processing indagine Down Hole

La misura dei tempi dei primi arrivi delle onde sismiche deve essere realizzata con precisione e con un dettaglio pari a circa un decimo di millisecondo. La prima fase dell'elaborazione consiste nella determinazione dei primi arrivi sia delle onde P che delle onde Sh. Il picking dei tempi delle onde P è una operazione relativamente semplice, mentre per la corretta individuazione dei tempi di arrivo delle onde Sh, è necessario evidenziare l’inversione di fase dell’onda di taglio. A tale scopo, si effettua la sovrapposizione dei sismogrammi ricavati per la stessa profondità dai due punti di battuta; la corretta localizzazione delle onde Sh si avrà quando, sovrapponendo le tracce, si noterà un movimento uguale ed opposto della fase d’onda. La prima operazione da fare è la correzione, sulla verticale, dei tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto della distanza tra la sorgente e il bocca-foro. Con i tempi corretti si realizza il grafico (Tcorr, z), sia per le onde P che per le onde Sh. Le velocità dei terreni investigati vengono finalmente ottenute in maniera indiretta con il “metodo intervallo”: i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due posizioni consecutive del ricevitore posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (velocità d'intervallo). La seconda fase consiste nel calcolo delle dromocrone; la velocità media delle onde sismiche, in strati omogenei di terreno, è rappresentata dall’inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali. Successivamente alla costruzione delle dromocrone ed alla determinazione della velocità di propagazione del segnale sismico nei diversi strati di terreno, si

potranno calcolare i moduli elastici caratteristici avendo informazioni sulla densità dei litotipi incontrati durante la perforazione.

Il modulo di Young E (o modulo di elasticità longitudinale) è definito a partire dalla legge di Hooke:

$$E = \sigma/\epsilon$$

Con σ : sforzo, viene misurato in Pascal; ϵ : deformazione, è una grandezza adimensionale, spesso la si esprime in percentuale. Il modulo di Young viene determinato dal diagramma sforzo-deformazione mediante la formula appena vista, nel tratto in cui il materiale subisce una deformazione elastica (ovvero rimuovendo lo sforzo il materiale deve essere in grado di ritornare alle dimensioni iniziali, Fig. 8).

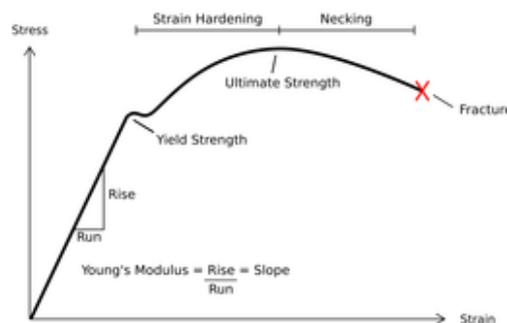


Figura 8 - Diagramma sforzo - deformazione di un materiale duttile

Il modulo di taglio μ , detto anche modulo di scorrimento, di rigidità o di elasticità tangenziale, è una costante di Lamè che esprime il rapporto sforzo-deformazione tangenziali.

Data una piastra di lunghezza indefinita di spessore h , perpendicolare all'asse x , sulle cui facce agisce una coppia di tensioni tangenziali (o di taglio) di verso opposto T_1 e $-T_1$, si produrrà uno spostamento $\delta/2$ nel senso delle z positive e $\delta/2$ nel senso opposto. In pratica è come se una faccia rimanesse ferma e si producesse uno spostamento di δ . Lo spostamento totale δ sarà in relazione allo sforzo di taglio T_1 e allo spessore h secondo la relazione:

	RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA					
	LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - NISCEMI					
Indagini geofisiche	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS6J	01 R 69	RG	GE0005 001	A	15 di 27

$$dl = \frac{1}{\mu} h T_1$$

dove μ è il modulo di taglio.

Considerando lo spostamento angolare α , ponendo l'angolo uguale alla sua tangente, la relazione diventerà semplicemente:

$$\alpha = \frac{T_1}{\mu}$$

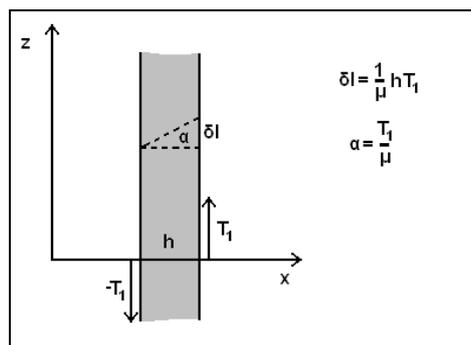


Figura 9 - Esempio di resistenza al taglio

Il modulo bulk K (o modulo di compressibilità) di materiale definisce la capacità dello stesso di resistere ad una forza di compressione uniforme. È definito come l'incremento di pressione necessario a causare un relativo decremento di volume secondo la relazione:

$$K = -V \frac{\partial p}{\partial V}$$

dove K è appunto il modulo di compressibilità, p la pressione e V il volume.

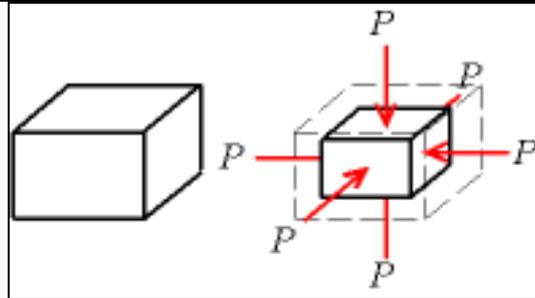


Figura 10 - Esempio di compressione uniforme

Si precisa inoltre che i moduli presentati nelle sezioni cui afferisce questa nota tecnica sono moduli DINAMICI cioè ottenuti calcolando i valori a piccolissime deformazioni rappresentate dal tratto iniziale *reversibile* della curva sforzi deformazioni. Per tanto, essi risulteranno essere molto maggiori rispetto a quelli calcolati con prove in situ e/o di laboratorio, in cui il terreno viene portato a rottura.

In particolare, nel presente lavoro è stato utilizzato il “Metodo della velocità di intervallo”.

Per interpretare i dati ottenuti dalla down-hole, è necessario correggere il i tempi di arrivo (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tener conto dell’inclinazione del percorso delle onde. Se d è la distanza dall'asse sorgente del foro (Fig. 12), r la distanza tra la sorgente e i geofoni, z la profondità, è possibile ottenere il tempo corretto (t_{corr}) usando la seguente formula di conversione: $t_{corr} = \frac{z}{r} t$.

In particolare, nel metodo della velocità di intervallo, i tempi di percorrenza sono misurati tra due ricevitori ubicati sulla stessa verticale (Fig. 12) ma a diverse profondità, consentendo quindi misurazioni di qualità migliore (velocità intervalli).

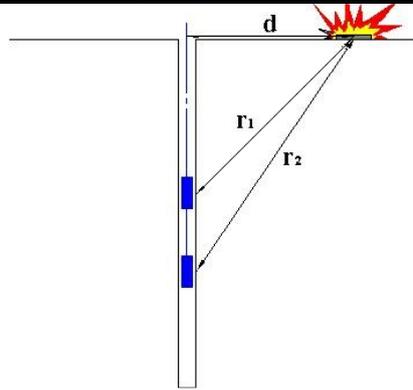


Figura 11 - Diagramma di una down-hole utilizzando il metodo d'intervallo.

Attraverso le misurazioni ottenute, è possibile calcolare il range di velocità delle onde P e S (Fig. 12), con la seguente formula:

$$v_{P,S} = \frac{z_2 - z_1}{t_{2cor} - t_{1cor}}$$

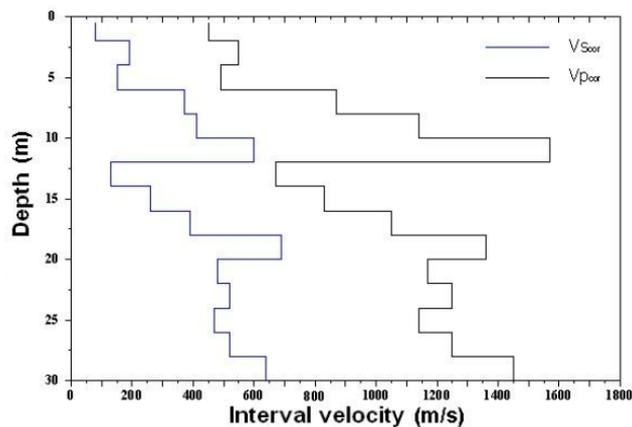


Figura 12 - Profilo di velocità sismica col metodo d'intervallo.

	RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA					
	LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - NISCEMI					
Indagini geofisiche	COMMESSA RS6J	LOTTO 01 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 18 di 27

3.4 RISULTATI INDAGINE DOWN HOLE

La prova down-hole, eseguita fino a 40 m, è stata interpretata basandosi sul sondaggio geognostico S_RIL_12. L'indagine ha evidenziato un graduale aumento delle velocità, sia in onda P che in onda Sh. L'indagine, pur non intercettando il basamento sismico, ha evidenziato la presenza di terreni sabbiosi con intercalazioni argilloso/limose caratterizzati da V_{seq} basse, in linea con le indagini MASW eseguite.

Per il dettaglio si rimanda all'allegato grafico.

4. METODO HVSR

4.1. 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^{-2} - 10^{-6} 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 V_s a patto che si dispone di informazioni aggiuntive sul modello geologico del sottosuolo o si hanno informazioni di letteratura sul sito

	RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA					
	LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - NISCEMI					
Indagini geofisiche	COMMESSA RS6J	LOTTO 01 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 19 di 27

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 microtremiti, si stimano le frequenze che possono essere amplificate in caso di sisma.

4.2. 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.13a) 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.13b). 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.

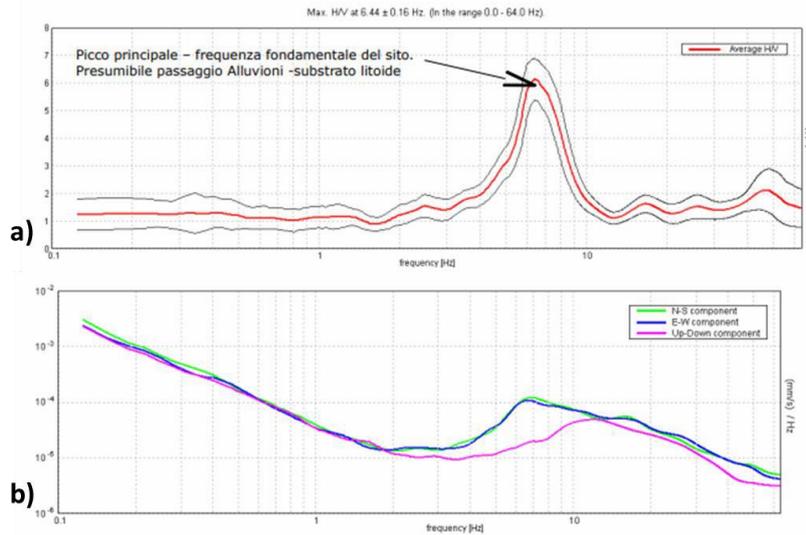


Figura 13 - a) Rapporto spettrale H/V; b) Esempio di spettri a singole componenti

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.

4.3. 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.14), 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 $h=Vs/4f$).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA					
	LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - NISCEMI					
Indagini geofisiche	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	RS6J	01 R 69	RG	GE0005 001	A	21 di 27

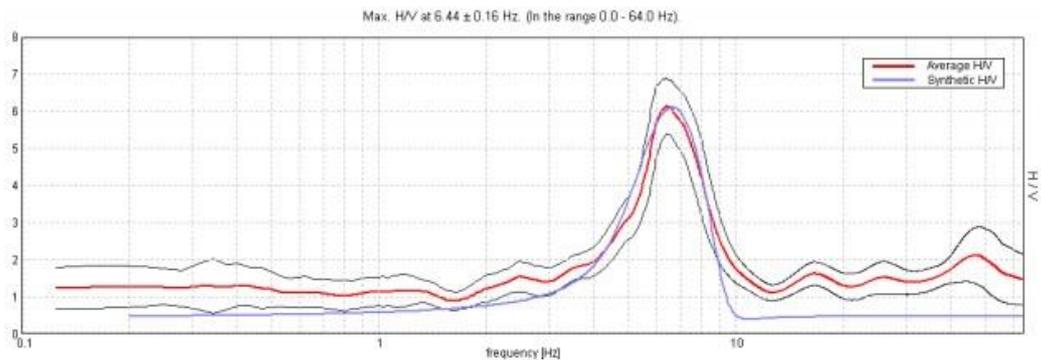


Figura 14 - esempio di fittaggio del modello teorico

4.4. 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). I dati vengono acquisiti attraverso il Tromino della Micromed (Fig. 15).



Figura 15 - Tromino della Micromed

In Tabella 5 sono elencate le caratteristiche dello strumento.

Tromino	
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 40 minuti con una frequenza di campionamento pari a 128 Hz (Fig. 16). 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 16 - Fasi di acquisizione

4.5 RISULTATI INDAGINI HVSR

Tutte le prove hanno individuato la presenza del basamento sismico ($V_s \geq 800$ m/s) a profondità variabile tra i 90 e 160 metri. Inoltre, è possibile evidenziare due aree dove il basamento ha diverse profondità; nell'area più a Sud verso la città di Gela, si rinviene a circa 100 metri, mentre nella zona di Niscemi il basamento si ritrova a circa 150 metri di profondità.

ID PROVA	Basamento sismico	Profondità (m)
HVSR8	X	155.4
HVSR9	X	157.7
HVSR10	X	165
HVSR11	X	155.5
HVSR12	X	102.5
HVSR13	X	91.8

Tabella 6 – tabella delle H/V

	RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA					
	LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - NISCEMI					
Indagini geofisiche	COMMESSA RS6J	LOTTO 01 R 69	CODIFICA RG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 25 di 27

5. 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 travelttime fields in refraction seismology. *Geophysical prospecting*, 33, 9, 973-992. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1987.tb00855.x>.

Gasperini 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. *Internation 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.



RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA

LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - NISCEMI

Indagini geofisiche

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6J	01 R 69	RG	GE0005 001	A	26 di 27

ALLEGATI



TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Caltagirone (CT)		
NOME TEST:	MASW 8		
DATA DI ESECUZIONE	22/02/2022		
COORDINATE	Y	37° 8'25.03"N	
	X	14°23'45.19"E	





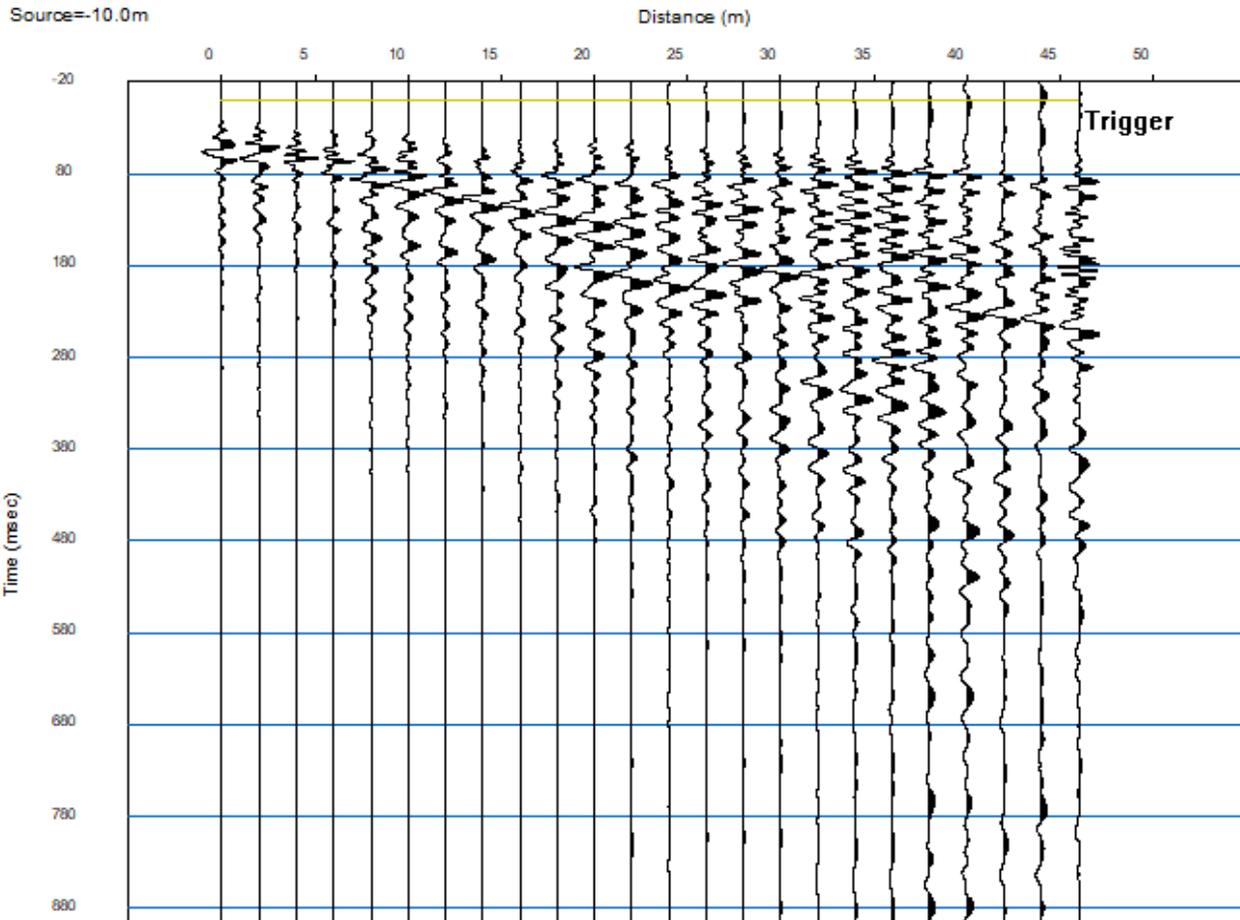
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Caltagirone (CT)		
NOME TEST:	MASW 8		
DATA DI ESECUZIONE	22/02/2022		
COORDINATE	Y	37° 8'25.03"N	
	X	14°23'45.19"E	

SISMOGRAMMA





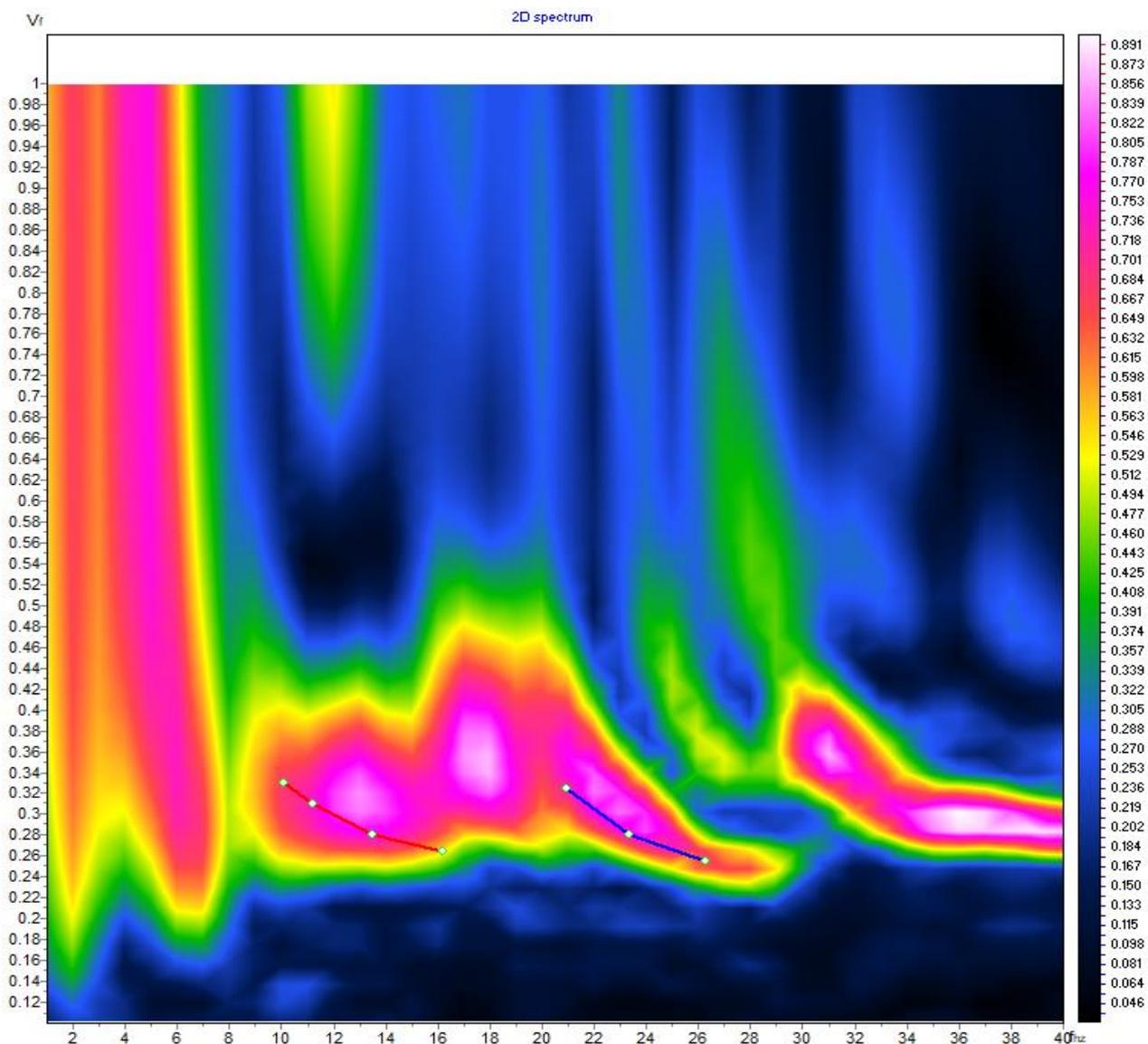
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Caltagirone (CT)		
NOME TEST:	MASW 8		
DATA DI ESECUZIONE	22/02/2022		
COORDINATE	Y	37° 8'25.03"N	
	X	14°23'45.19"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

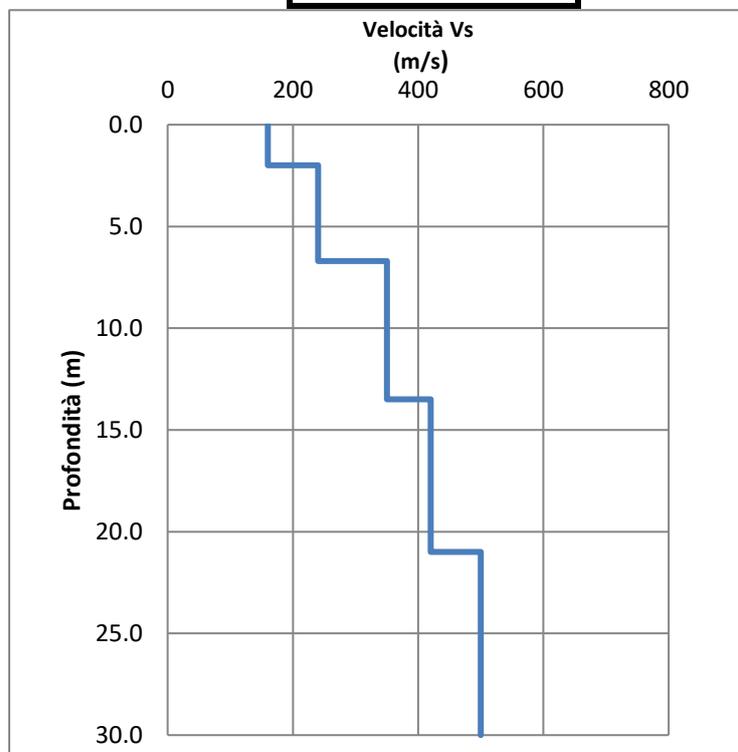
MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Caltagirone (CT)		
NOME TEST:	MASW 8		
DATA DI ESECUZIONE	22/02/2022		
COORDINATE	Y	37° 8'25.03"N	
	X	14°23'45.19"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.00	2.00	160.00
2	2.00	6.70	4.70	240.00
3	6.70	13.50	6.80	350.00
4	13.50	21.00	7.50	420.00
5	21.00	inf.	inf.	500.00

Vs eq (0-30) **343**
Suolo **C**





TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE	Comune di Niscemi		
NOME TEST	MASW 9		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 7'48.22"N	
	Long.	14°24'29.63"E	





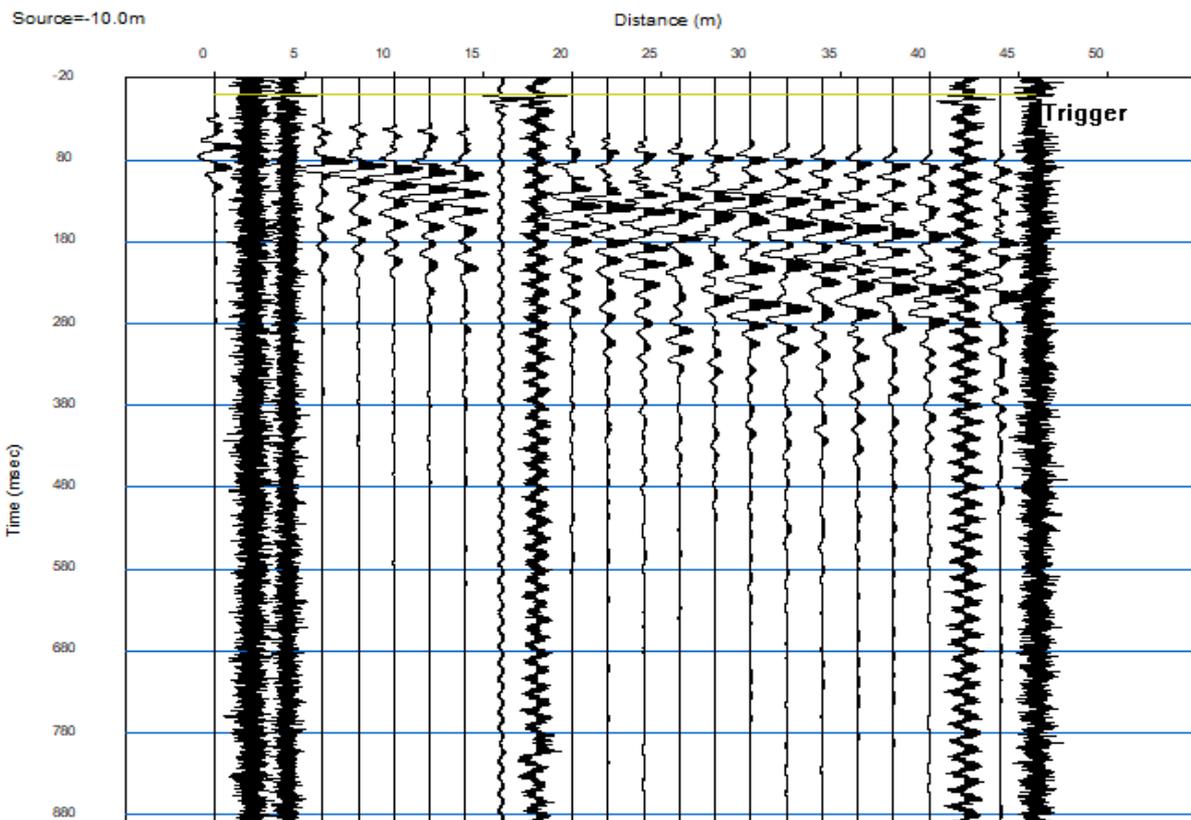
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Niscemi		
NOME TEST	MASW 9		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 7'48.22"N	
	Long.	14°24'29.63"E	

SISMOGRAMMA





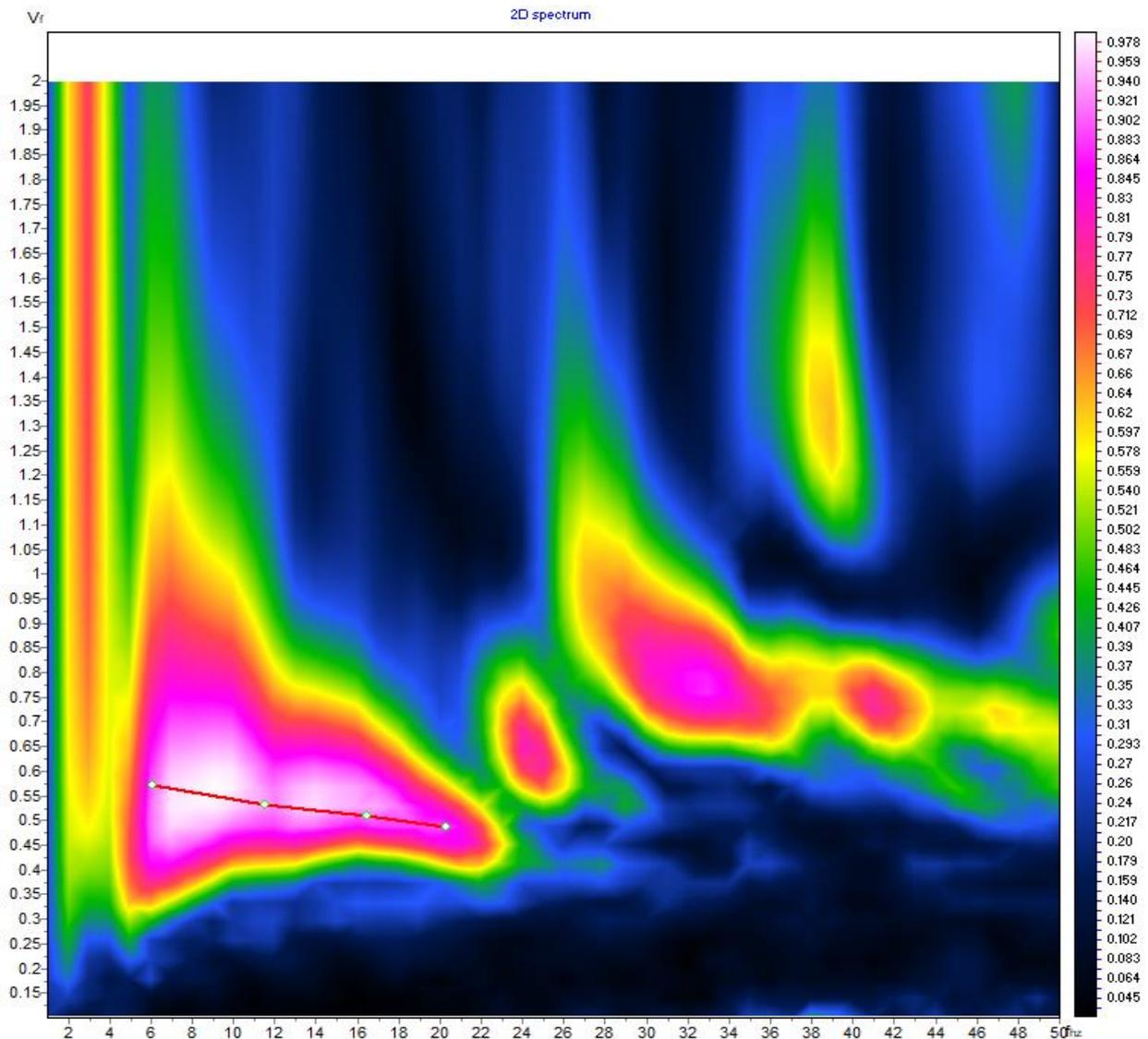
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Niscemi		
NOME TEST	MASW 9		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 7'48.22"N	
	Long.	14°24'29.63"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

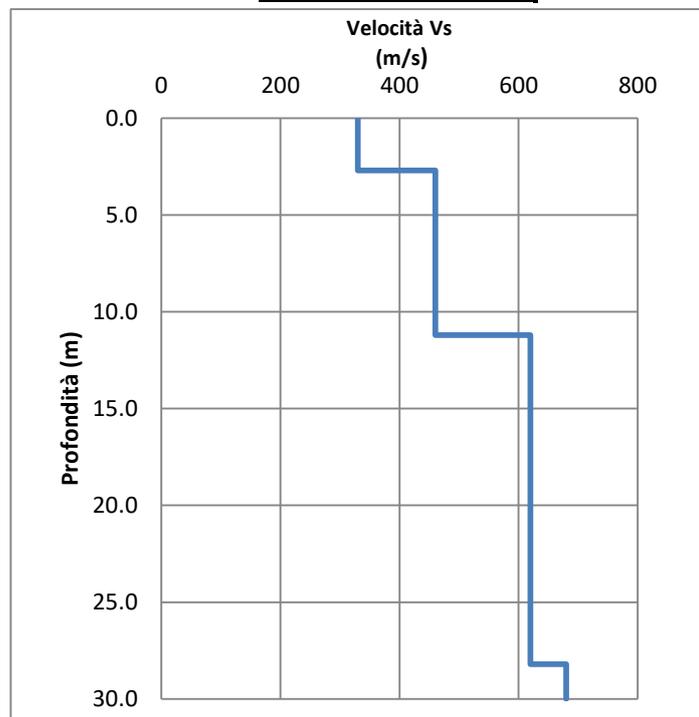
MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Niscemi		
NOME TEST:	MASW 9		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 7'48.22"N	
	Long.	14°24'29.63"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.70	2.70	330.00
2	2.70	11.20	8.50	460.00
3	11.20	28.20	17.00	620.00
4	28.20	inf.	inf.	680.00

Vs eq (0 - 30) **529**
Suolo **B**





TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE	Comune di Niscemi		
NOME TEST	MASW 10		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 7'15.40"N	
	Long.	14°24'30.83"E	





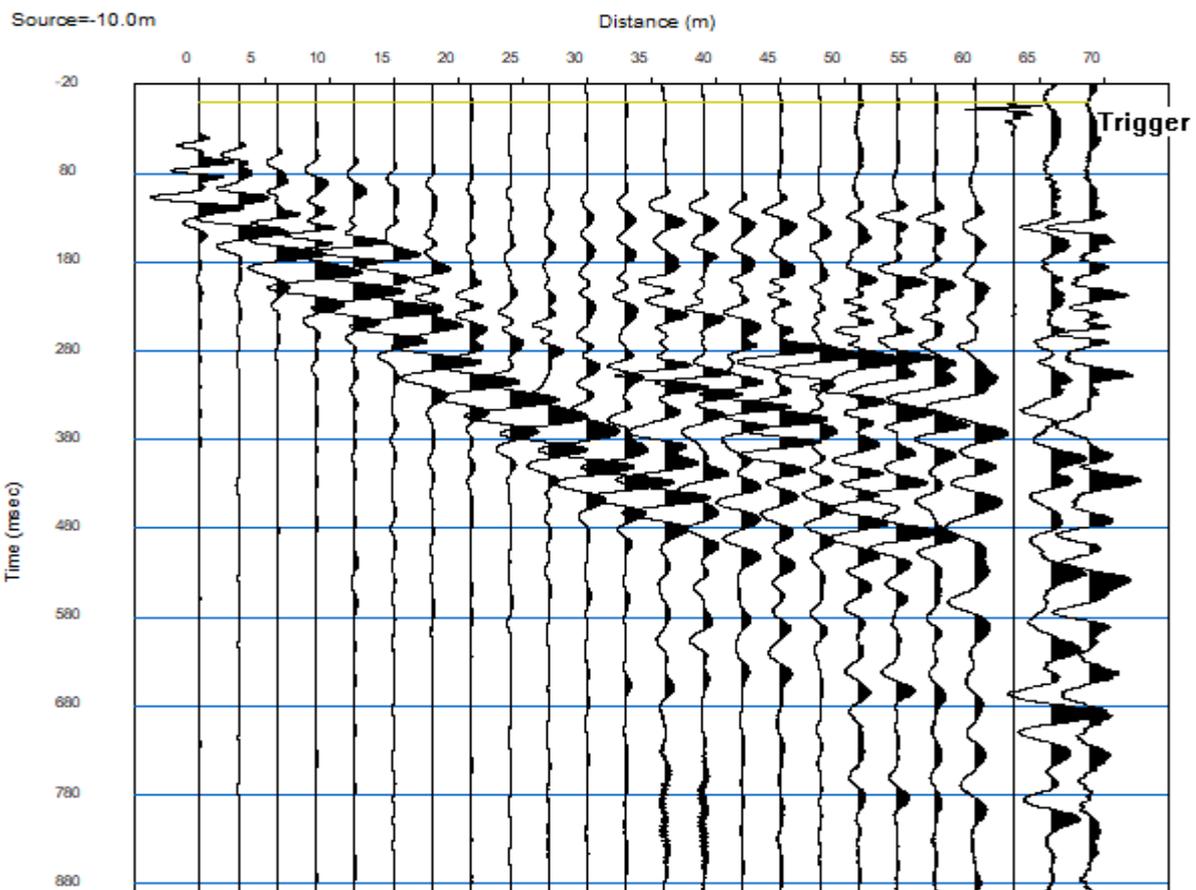
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Niscemi		
NOME TEST	MASW 10		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 7'15.40"N	
	Long.	14°24'30.83"E	

SISMOGRAMMA





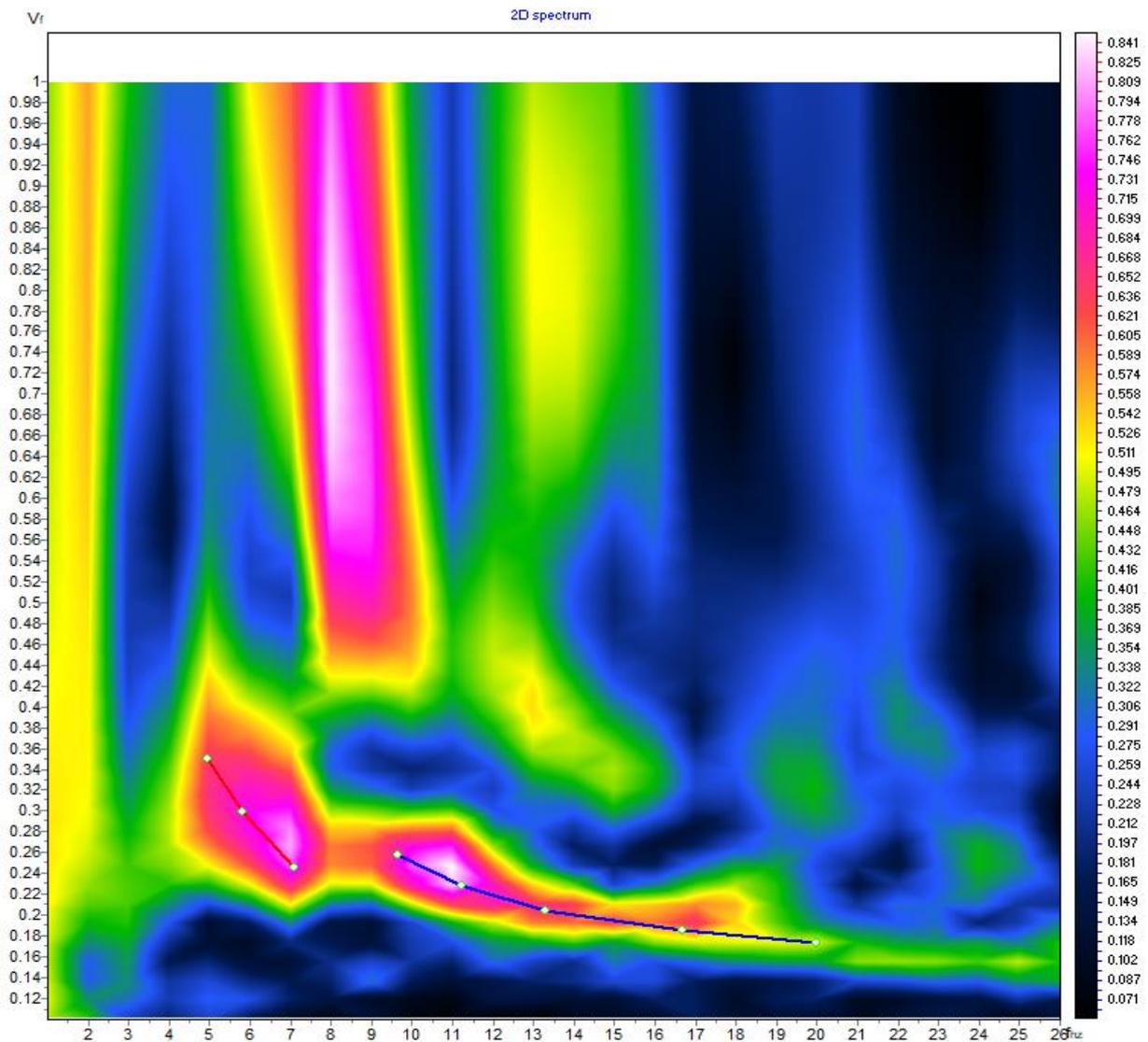
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Niscemi		
NOME TEST	MASW 10		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 7'15.40"N	
	Long.	14°24'30.83"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

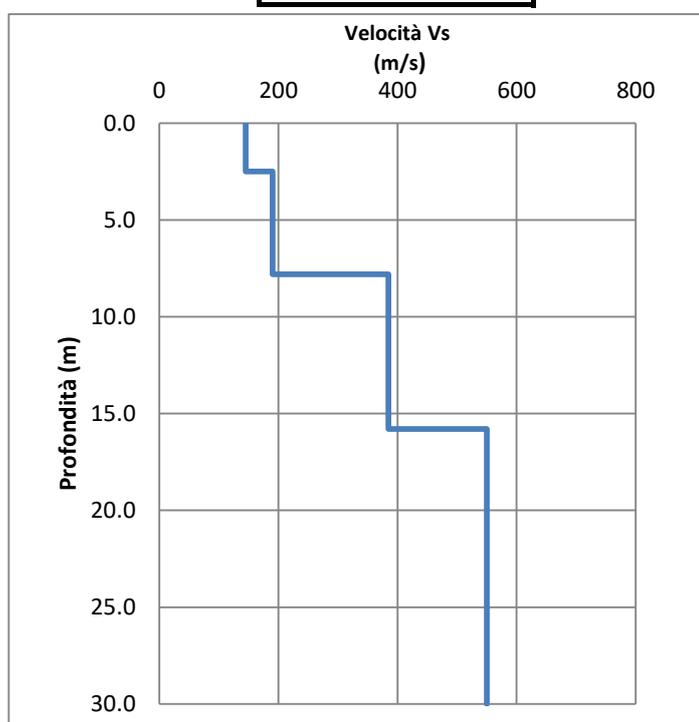
MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Niscemi		
NOME TEST:	MASW 10		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 7'15.40"N	
	Long.	14°24'30.83"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.50	2.50	145.00
2	2.50	7.80	5.30	190.00
3	7.80	15.80	8.00	385.00
4	15.80	inf.	inf.	550.00

Vs eq (0 - 30) **327**
Suolo **C**





TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE	Comune di Niscemi		
NOME TEST	MASW 11		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 6'47.01"N	
	Long.	14°24'7.20"E	





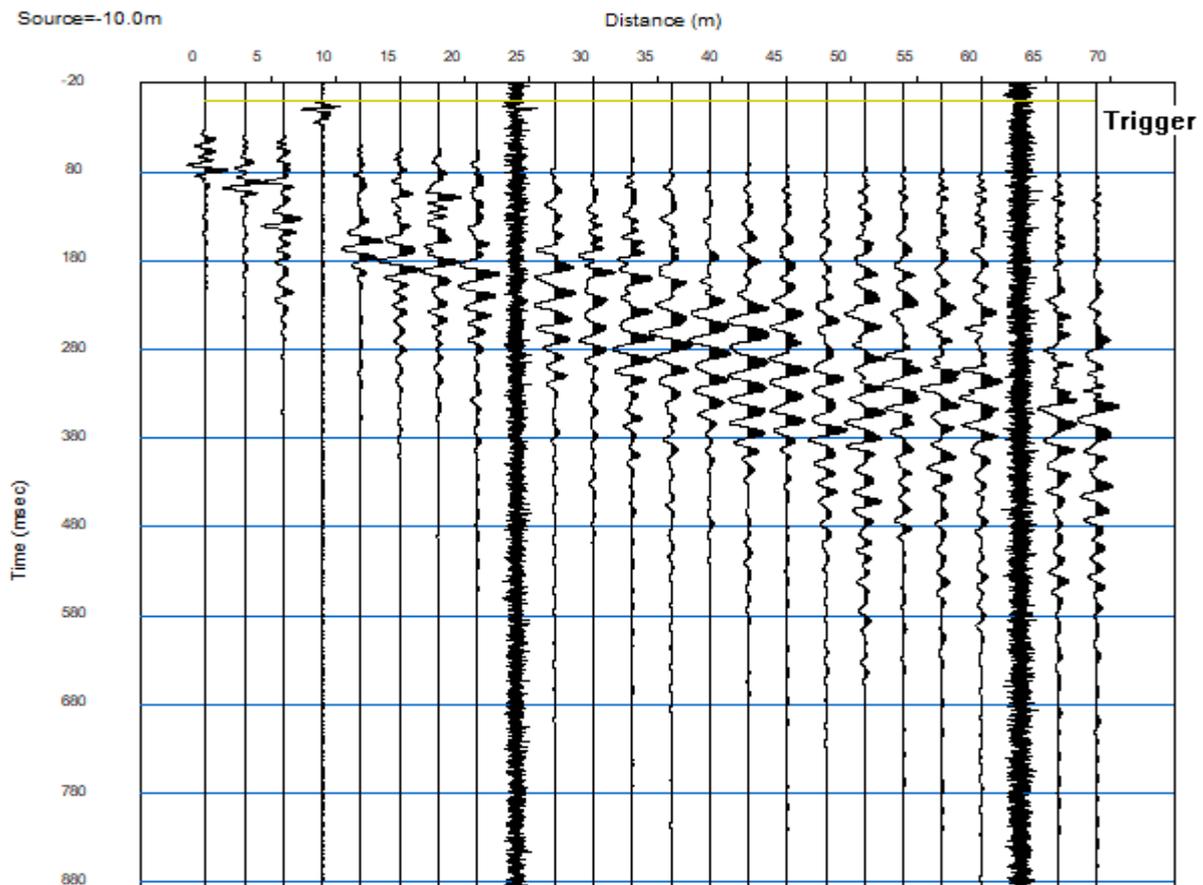
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Niscemi		
NOME TEST	MASW 11		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 6'47.01"N	
	Long.	14°24'7.20"E	

SISMOGRAMMA





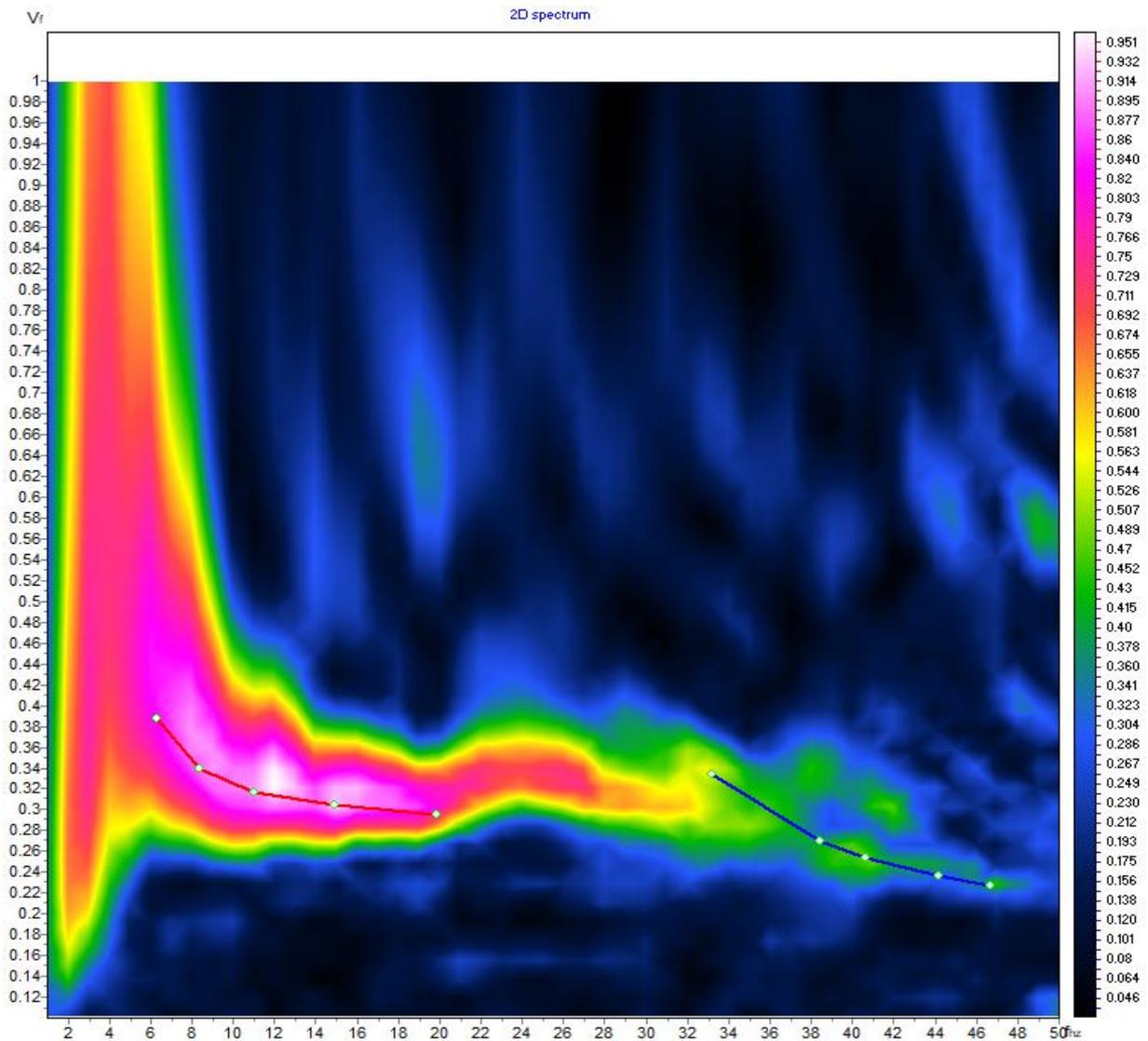
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Niscemi		
NOME TEST	MASW 11		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 6'47.01"N	
	Long.	14°24'7.20"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

MASW

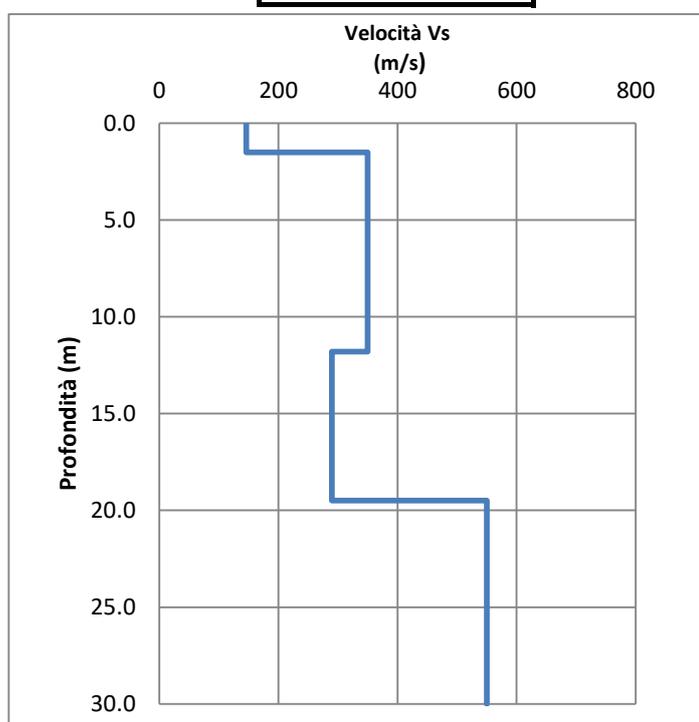
CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Niscemi		
NOME TEST:	MASW 11		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 6'47.01"N	
	Long.	14°24'7.20"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	1.50	1.50	146.00
2	1.50	11.80	10.30	350.00
3	11.80	19.50	7.70	290.00
4	19.50	inf.	inf.	550.00

Vs eq (0 - 30) **352**

Suolo -





TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE	Comune di Gela		
NOME TEST	MASW 12		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 4'30.33"N	
	Long.	14°21'1.92"E	





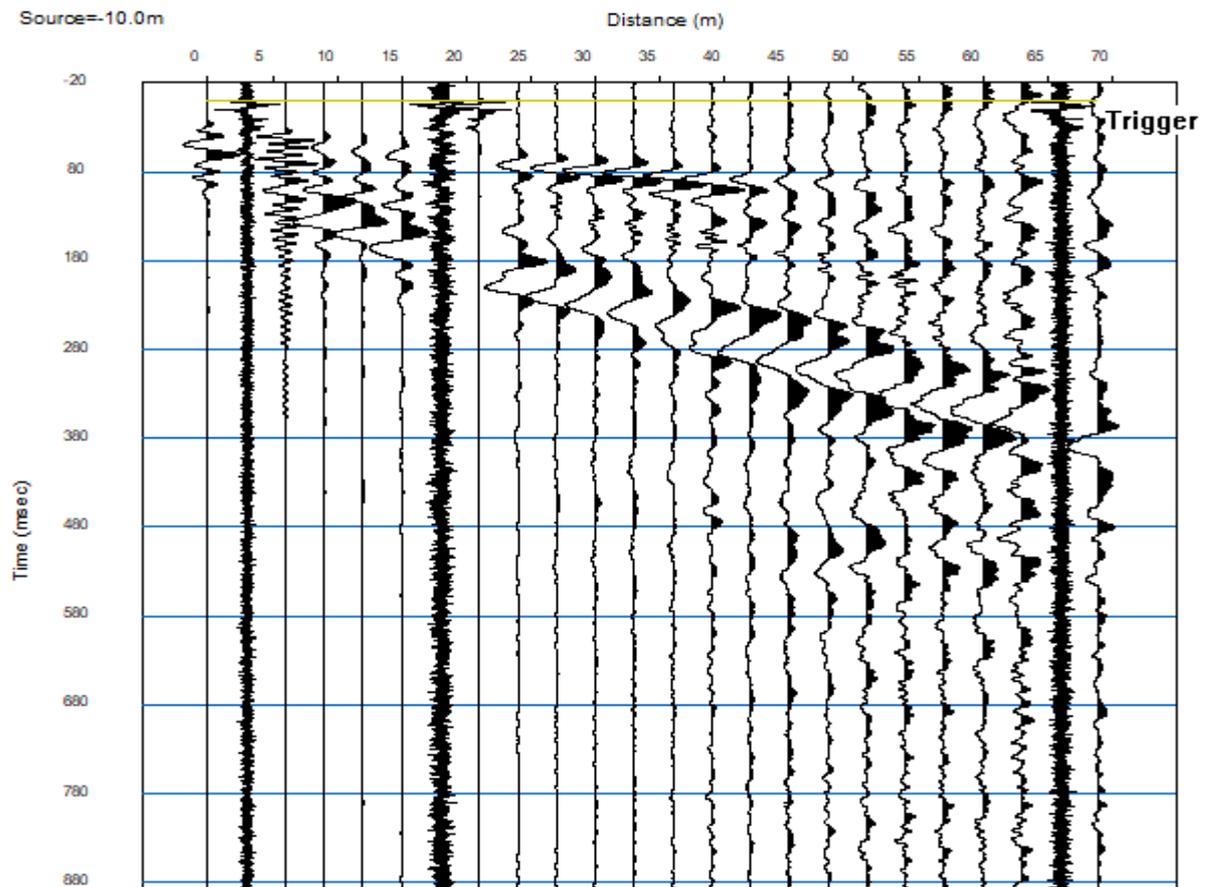
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Gela		
NOME TEST	MASW 12		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 4'30.33"N	
	Long.	14°21'1.92"E	

SISMOGRAMMA





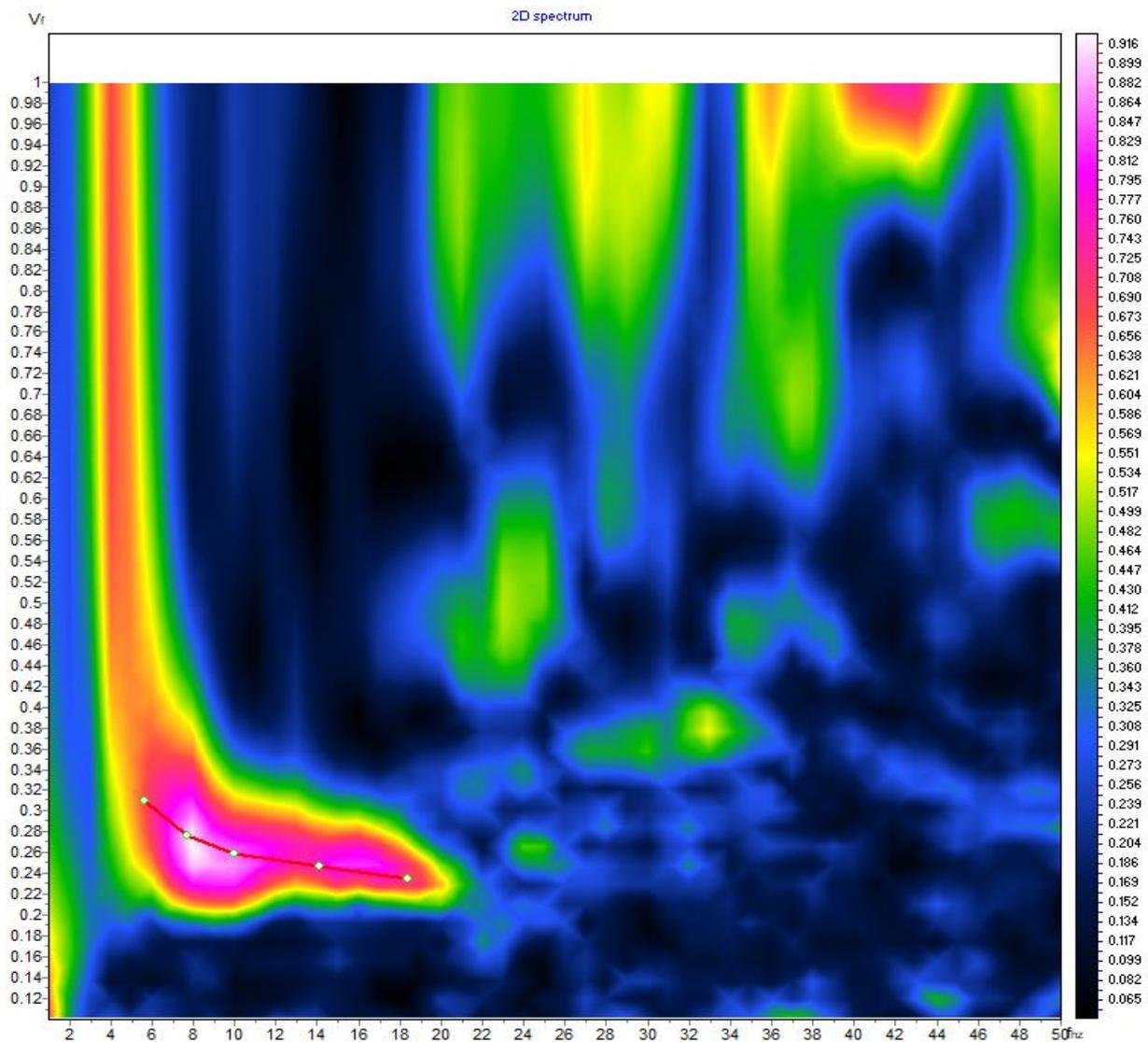
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Gela		
NOME TEST	MASW 12		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 4'30.33"N	
	Long.	14°21'1.92"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

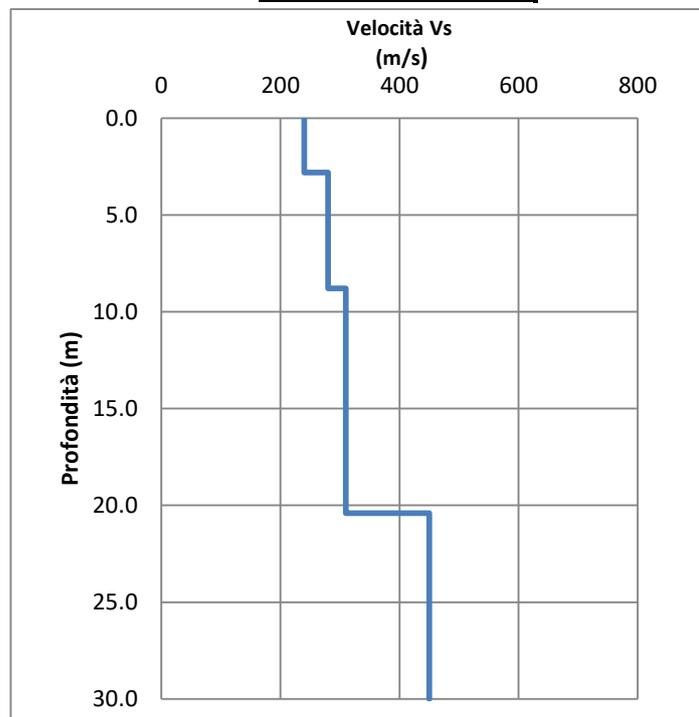
MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Gela		
NOME TEST:	MASW 12		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 4'30.33"N	
	Long.	14°21'1.92"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.80	2.80	240.00
2	2.80	8.80	6.00	280.00
3	8.80	20.40	11.60	310.00
4	20.40	inf.	inf.	450.00

Vs eq (0 - 30) **327**
Suolo **C**





TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE	Comune di Gela		
NOME TEST	MASW 13		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 4'7.49"N	
	Long.	14°20'7.79"E	





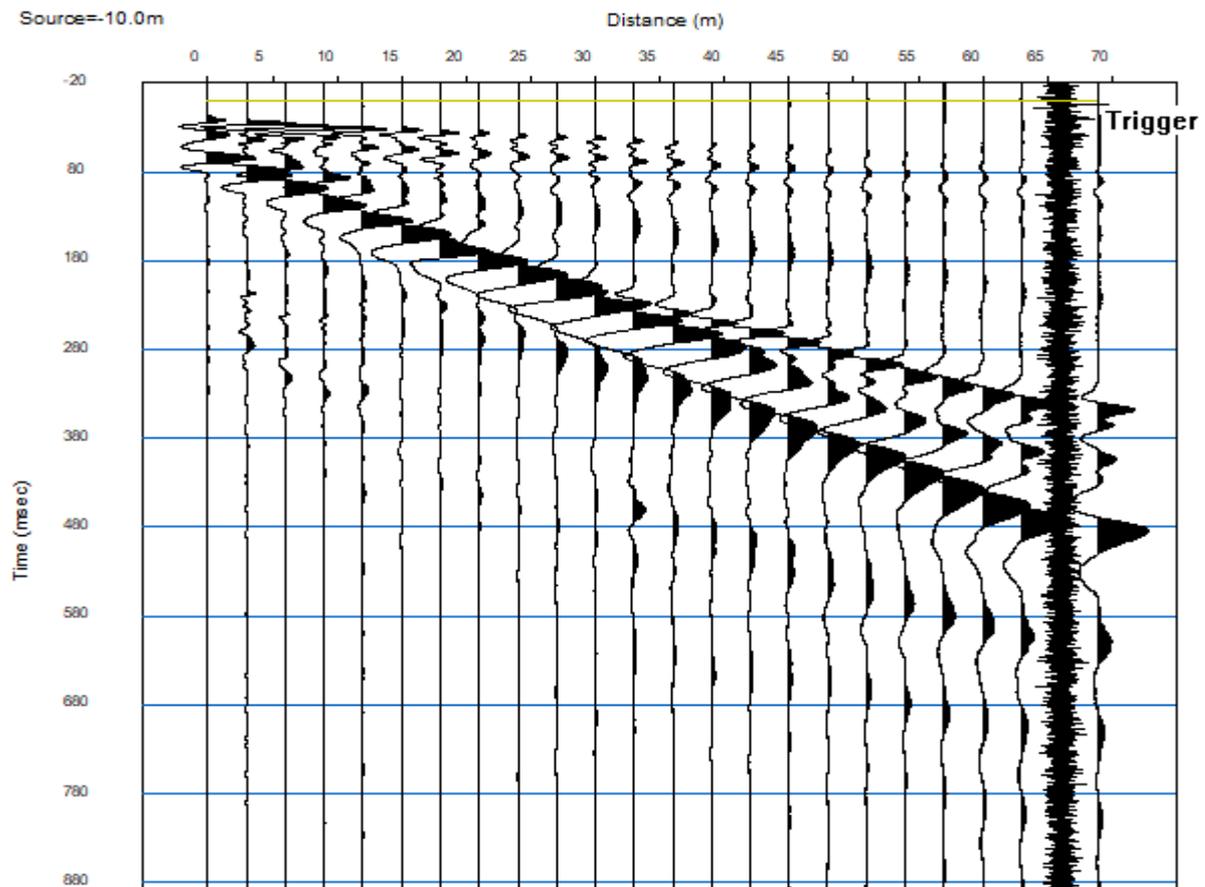
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Gela		
NOME TEST	MASW 13		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 4'7.49"N	
	Long.	14°20'7.79"E	

SISMOGRAMMA





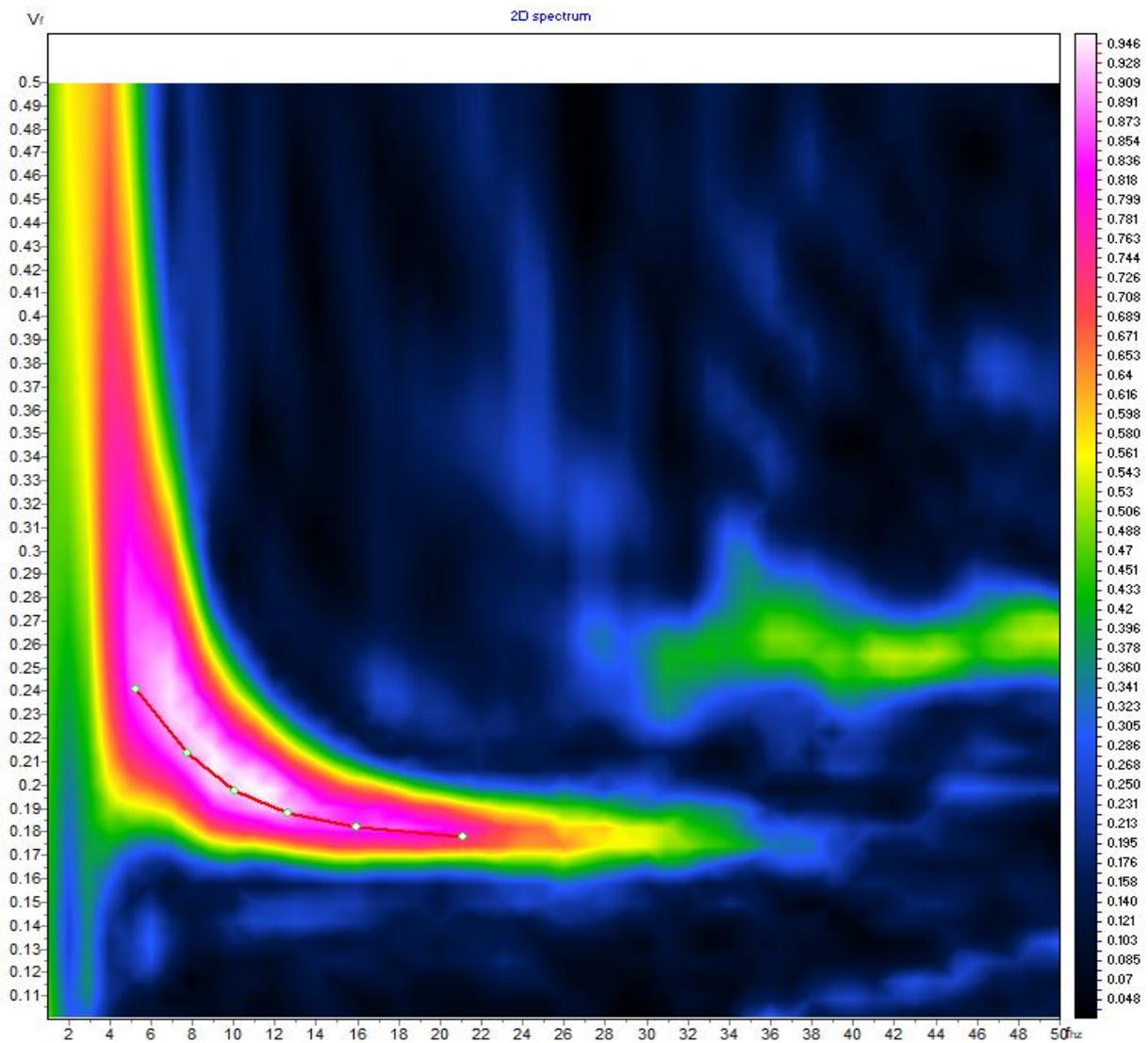
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Gela		
NOME TEST	MASW 13		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 4'7.49"N	
	Long.	14°20'7.79"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

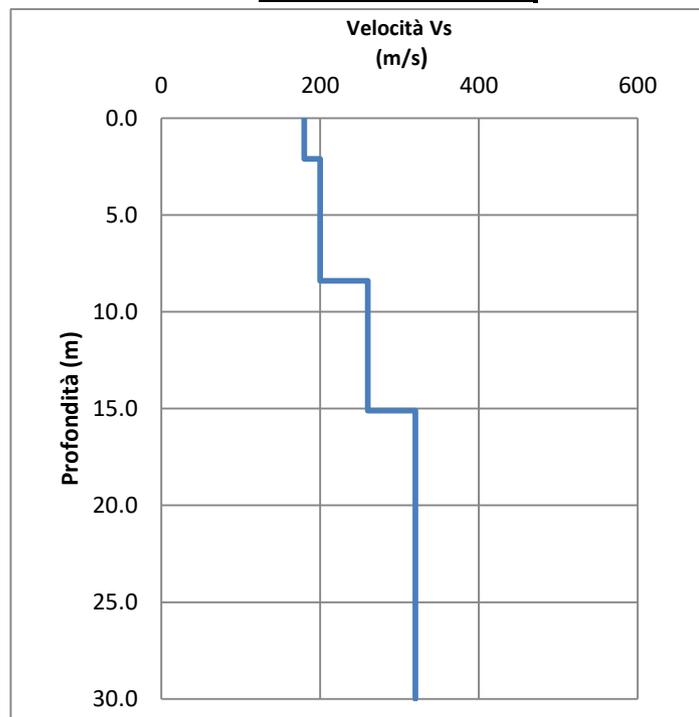
MASW

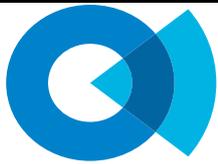
CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di Indagini Geofisiche Integrative per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della linea Caltagirone - Gela.		
UBICAZIONE:	Comune di Gela		
NOME TEST:	MASW 13		
DATA DI ESECUZIONE	24/02/2022		
COORDINATE	Lat.	37° 4'7.49"N	
	Long.	14°20'7.79"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.10	2.10	180.00
2	2.10	8.40	6.30	200.00
3	8.40	15.10	6.70	260.00
4	15.10	inf.	inf.	320.00

Vs eq (0 - 30) **260**
Suolo **C**



**SOCOTEC****TEST REPORT**

1/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	Italferr s.p.a		
LAVORO:	Esecuzione di indagini geognostiche integrative per il progetto di fattibilità tecnico-economico della linea Gela - Caltagirone		
UBICAZIONE:	Comune di Gela		
NOME TEST:	DH S RIL 12		
DATA DI ESECUZIONE	22/04/2022		
COORDINATE	Y	37°04'29.5" N	
	X	14°21'01.47" E	

Profondità (m)	Onde P		Onde S		Poisson	Young (MPa)	Taglio (MPa)	Bulk (MPa)	γ (kN/m ³)
	Tempo	Velocità	Tempo	Velocità					
1.00	2.12	471.93	5.00	200.06	0.39	188.6	67.8	287.0	16.9
2.00	3.84	580.57	9.92	203.28	0.43	202.8	70.9	483.9	17.2
3.00	5.15	765.21	13.66	267.14	0.43	357.9	125.1	859.7	17.5
4.00	6.33	847.25	17.20	282.38	0.44	405.6	141.1	1082.1	17.7
5.00	7.45	889.67	20.98	264.47	0.45	361.0	124.4	1241.4	17.8
6.00	8.41	1039.62	24.52	283.05	0.46	422.9	144.8	1760.9	18.1
7.00	9.51	914.90	28.58	246.10	0.46	315.5	108.0	1348.4	17.8
8.00	10.58	928.30	32.61	247.84	0.46	320.6	109.7	1392.5	17.9
9.00	11.46	1144.24	35.77	317.31	0.46	537.1	184.1	2149.0	18.3
10.00	12.29	1202.83	38.79	330.63	0.46	587.2	201.2	2394.6	18.4
11.00	13.12	1197.67	42.00	311.68	0.46	523.1	178.7	2400.4	18.4
12.00	14.00	1147.76	45.28	304.73	0.46	496.8	169.9	2183.6	18.3
13.00	14.61	1640.96	47.44	464.23	0.46	1210.5	415.6	4638.1	19.3
14.00	15.14	1856.90	49.49	486.75	0.46	1366.8	467.1	6174.7	19.7
15.00	15.73	1703.61	51.68	455.87	0.46	1178.9	403.3	5094.7	19.4
16.00	16.24	1982.95	53.55	534.93	0.46	1669.1	571.3	7089.0	20.0
17.00	16.76	1892.96	55.53	505.34	0.46	1477.0	505.3	6416.2	19.8
18.00	17.30	1848.23	57.46	518.82	0.46	1545.2	530.2	6021.3	19.7
19.00	17.87	1764.23	59.53	482.82	0.46	1328.9	455.2	5471.3	19.5
20.00	18.43	1780.61	61.47	516.04	0.45	1514.9	520.9	5507.5	19.6
21.00	19.11	1483.27	63.93	406.05	0.46	912.8	312.7	3755.9	19.0
22.00	19.80	1436.98	66.44	397.84	0.46	871.4	298.7	3499.0	18.9
23.00	20.50	1430.52	68.91	405.98	0.46	905.4	310.9	3445.2	18.9
24.00	21.22	1392.79	71.54	380.33	0.46	793.3	271.7	3281.8	18.8
25.00	21.94	1395.19	74.20	375.24	0.46	773.1	264.6	3304.9	18.8
26.00	22.62	1459.70	76.73	395.62	0.46	864.9	296.1	3636.4	18.9
27.00	23.23	1648.76	79.08	425.45	0.46	1023.0	349.3	4780.1	19.3
28.00	23.90	1484.51	81.30	451.13	0.45	1118.9	386.1	3665.6	19.0
29.00	24.55	1536.68	83.46	461.83	0.45	1180.0	406.8	3961.5	19.1
30.00	25.32	1295.69	86.08	381.34	0.45	785.4	270.4	2760.7	18.6
31.00	26.01	1457.87	88.24	463.01	0.44	1171.1	405.5	3479.6	18.9
32.00	26.63	1625.80	90.34	478.15	0.45	1278.8	440.2	4501.8	19.3
33.00	27.30	1479.67	92.54	454.19	0.45	1132.7	391.1	3629.5	19.0
34.00	28.01	1410.06	94.74	454.56	0.44	1121.5	388.9	3223.4	18.8
35.00	28.81	1246.79	97.11	421.06	0.44	941.4	327.9	2437.6	18.5
36.00	29.59	1290.55	99.45	427.29	0.44	976.0	339.2	2642.4	18.6
37.00	30.22	1574.48	101.40	512.51	0.44	1449.3	503.0	4076.4	19.1
38.00	30.96	1358.47	103.66	443.32	0.44	1059.7	367.8	2963.6	18.7
39.00	31.77	1234.65	106.16	399.65	0.44	850.4	295.0	2422.1	18.5
40.00	32.51	1353.74	108.40	446.99	0.44	1075.6	373.8	2930.0	18.7



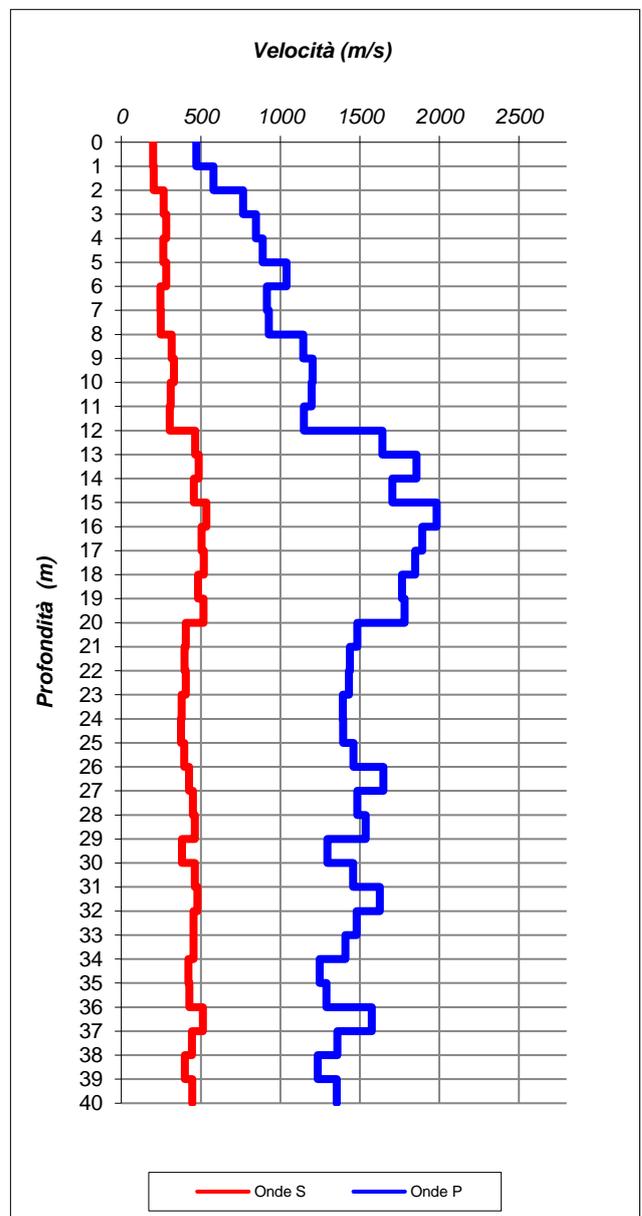
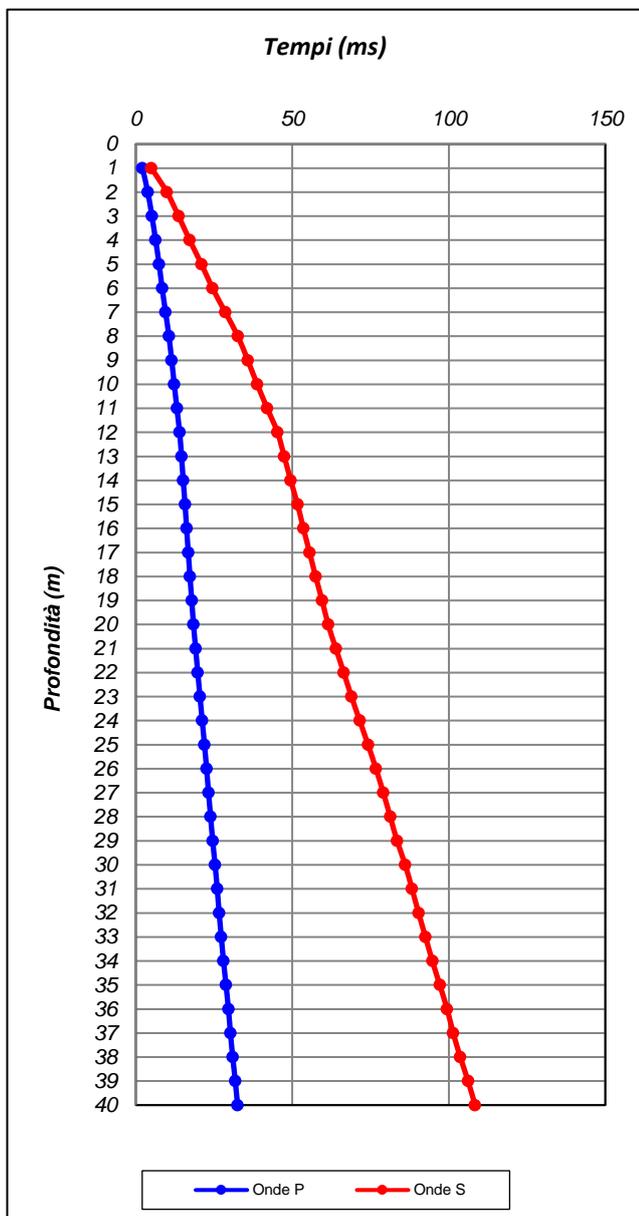
SOCOTEC

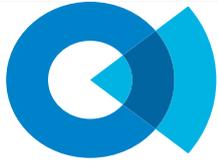
TEST REPORT

2/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	Italferr s.p.a		
LAVORO:	Esecuzione di indagini geognostiche integrative per il progetto di fattibilità tecnico-economico della linea Gela - Caltagirone		
UBICAZIONE:	Comune di Gela		
NOME TEST:	DH S RIL 12		
DATA DI ESECUZIONE	22/04/2022		
COORDINATE	Y	37°04'29.5" N	
	X	14°21'01.47" E	





SOCOTEC

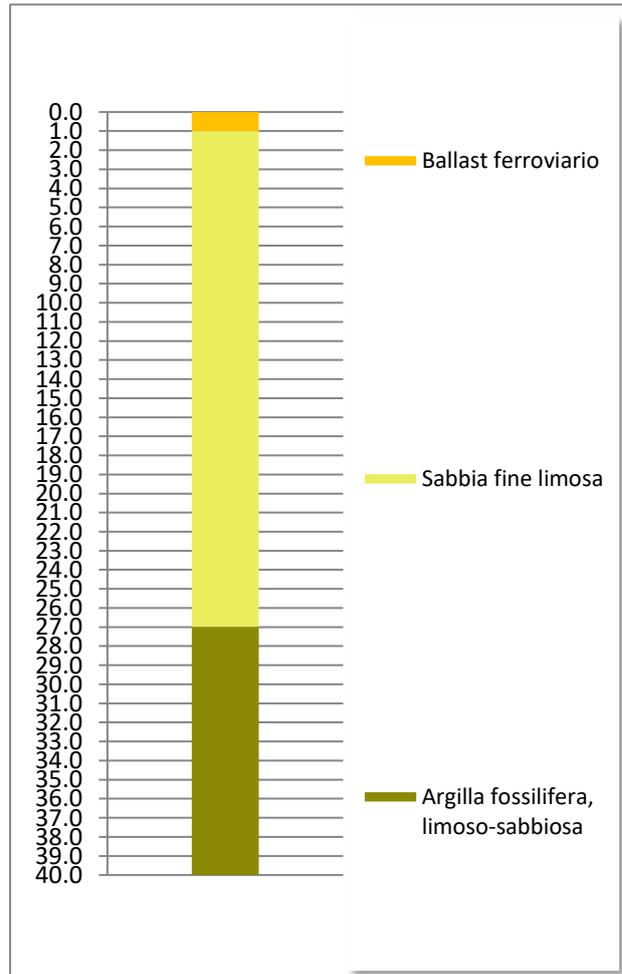
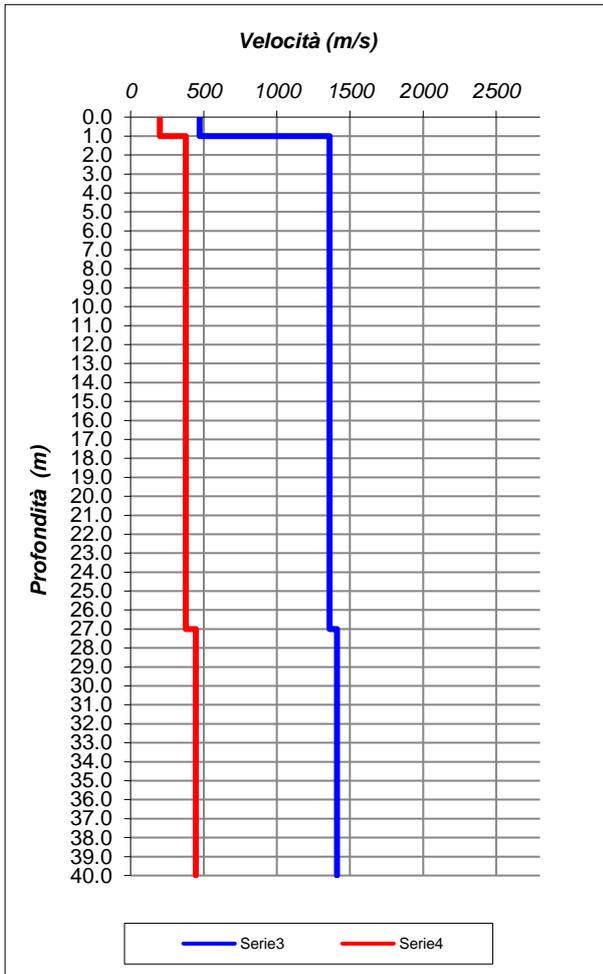
TEST REPORT

3/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	Italferr s.p.a		
LAVORO:	Esecuzione di indagini geognostiche integrative per il progetto di fattibilità tecnico-economico della linea Gela - Caltagirone		
UBICAZIONE:	Comune di Gela		
NOME TEST:	DH S RIL 12		
DATA DI ESECUZIONE	22/04/2022		
COORDINATE	Y	37°04'29.5" N	
	X	14°21'01.47" E	

Profondità base(m)	Onde P	Onde S	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	γ (kN/m ³)
	Velocità (m/sec)	Velocità (m/sec)					
1.00	471.93	200.06	0.39	188.59	67.82	286.96	16.9
27.00	1360.60	377.30	0.46	777.34	266.51	3110.39	18.7
40.00	1411.46	445.77	0.44	1080.66	374.04	3251.22	18.8



$V_{S eq(10-40)}$ 355	Suolo C
---------------------------------	--------------------------

HVSR 8, LOTTO 2

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 23/02/2022 18:31:02 End recording: 23/02/2022 19:11:02

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

GPS data not available

Trace length: 0h40'00". Analyzed 98% trace (automatic window selection)

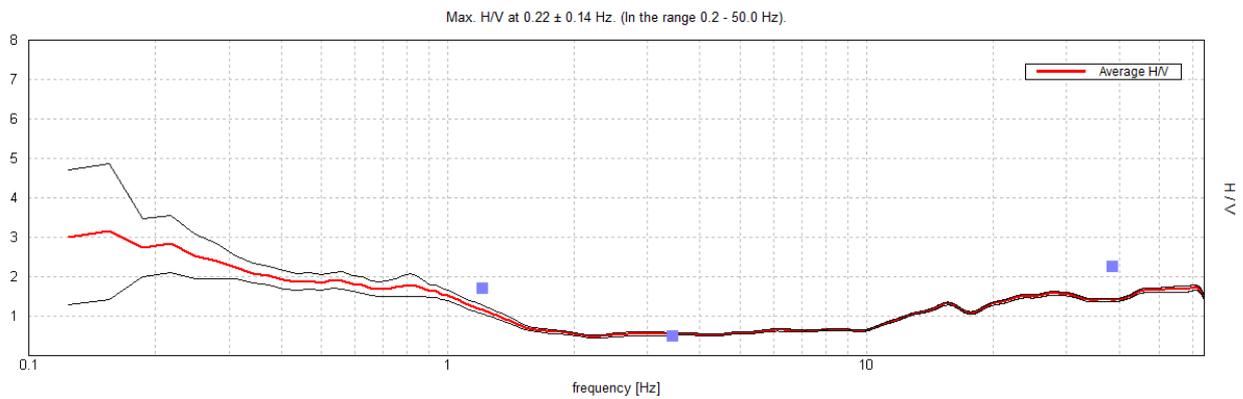
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

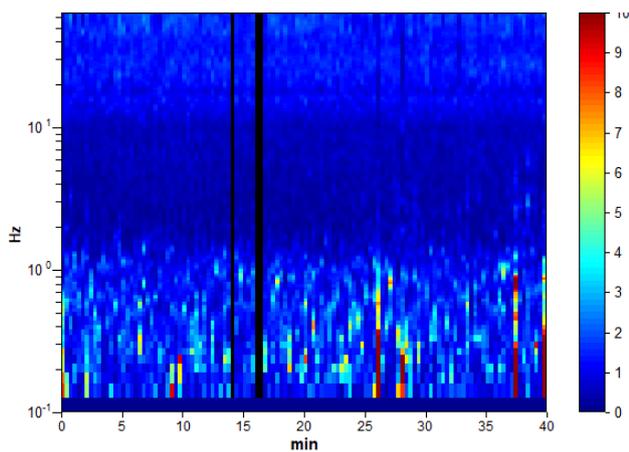
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

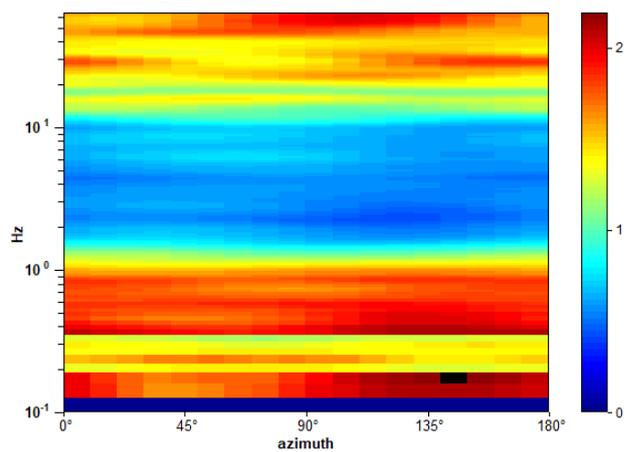
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



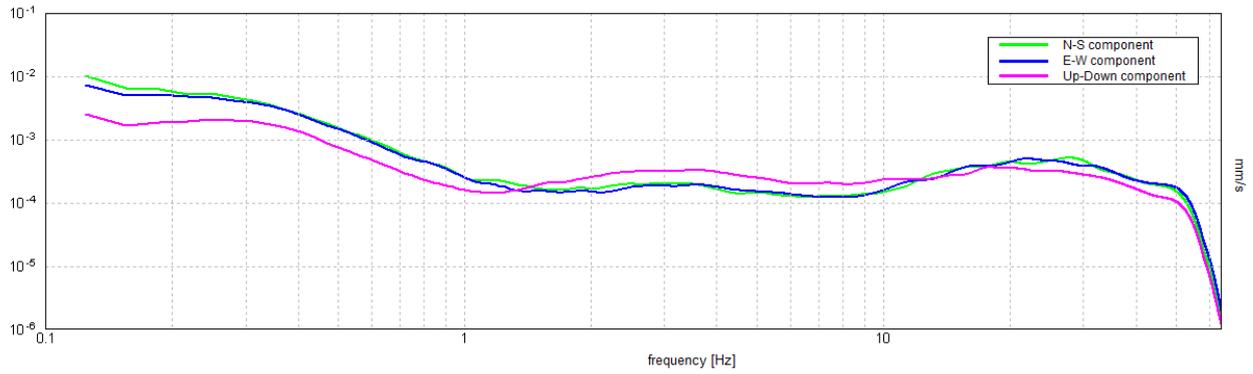
H/V TIME HISTORY



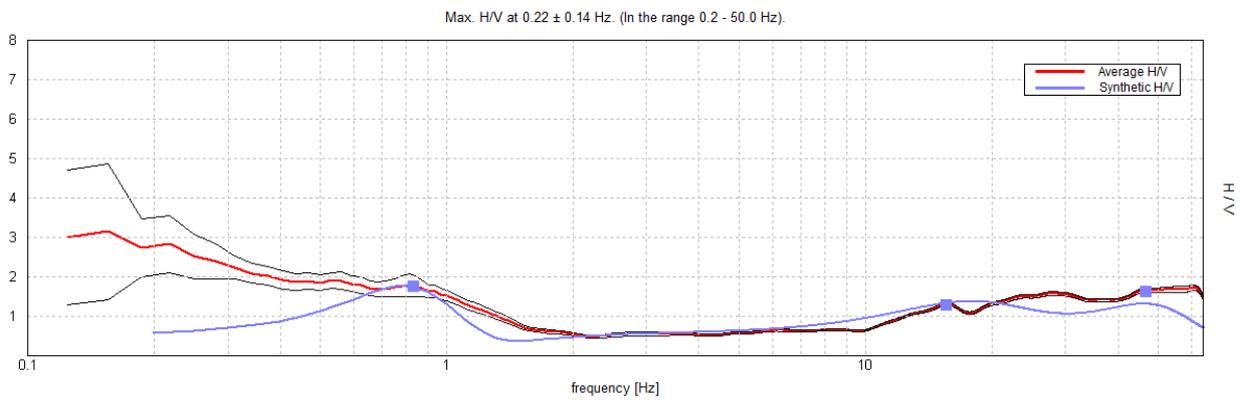
DIRECTIONAL H/V



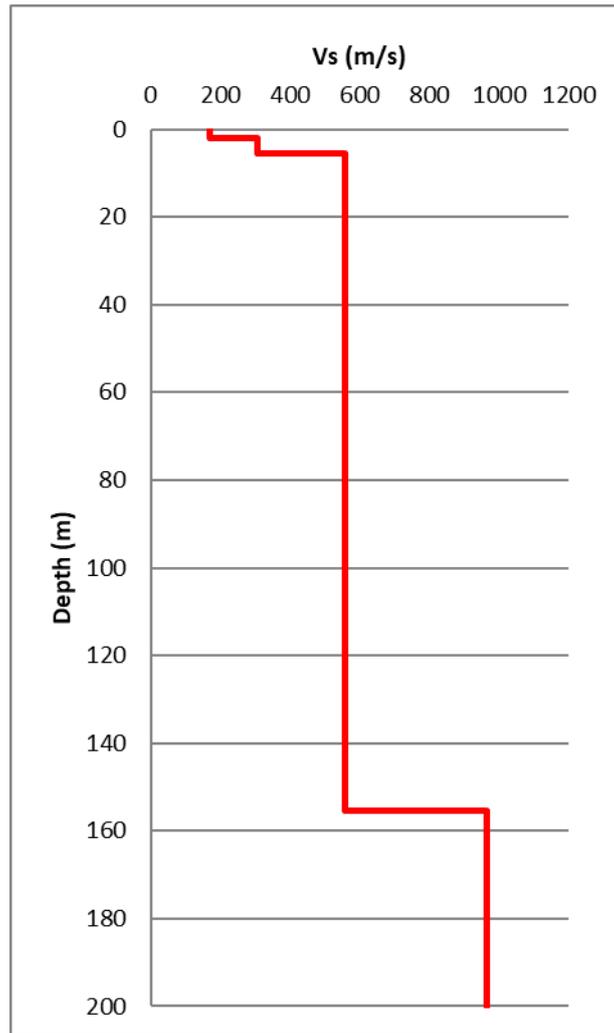
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
2.00	2.00	183
5.40	3.40	303
155.40	150.00	542
inf.	inf.	890



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

Max. H/V at 0.22 ± 0.14 Hz (in the range 0.2 - 50.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.22 > 0.50		NO
$n_c(f_0) > 200$	511.9 > 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 11 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.84 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.63504 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.13892 < 0.04375		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.7248 < 2.5	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
σ_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 σ_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

HVSR 9, LOTTO 2

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 24/02/2022 16:10:54 End recording: 24/02/2022 16:50:54

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN; north south; east west; up down
GPS data not available

Trace length: 0h40'00". Analyzed 96% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

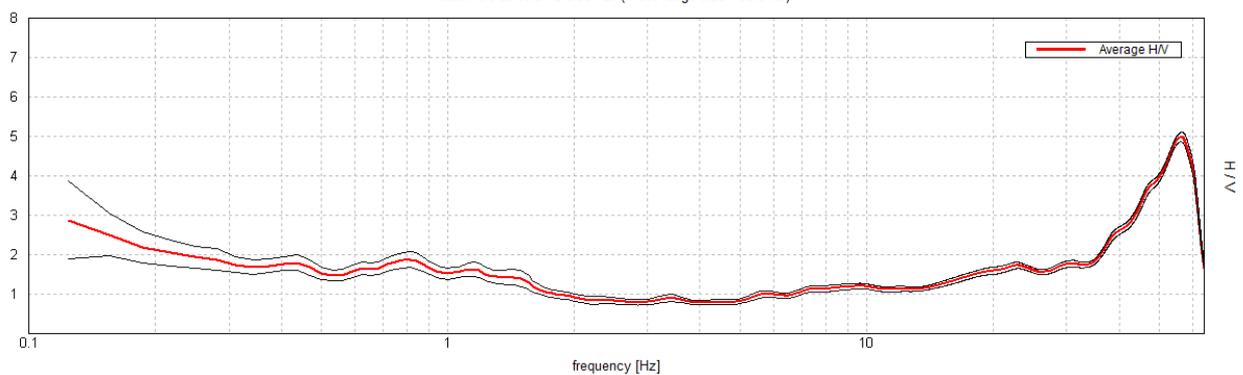
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

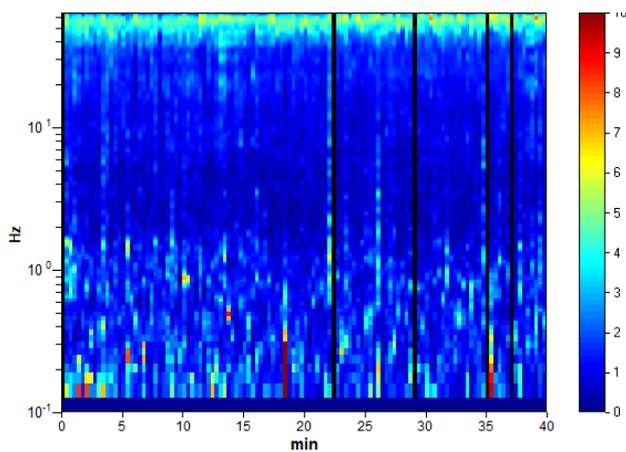
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

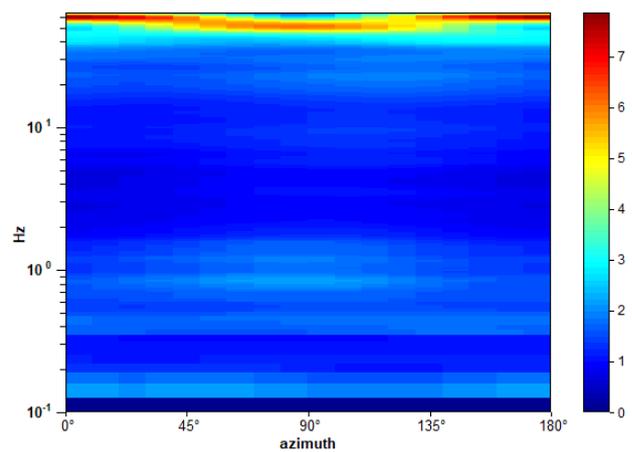
Max. H/V at 49.97 ± 6.39 Hz. (In the range 0.25 - 50.0 Hz).



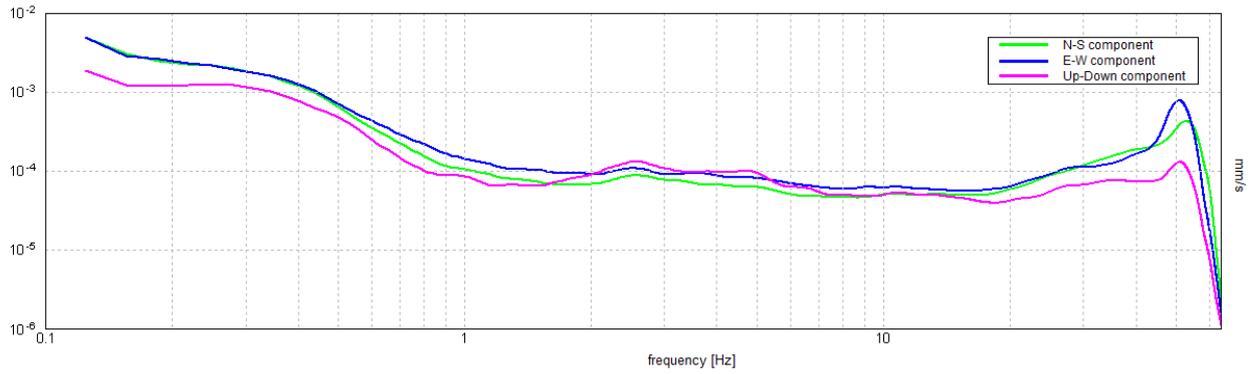
H/V TIME HISTORY



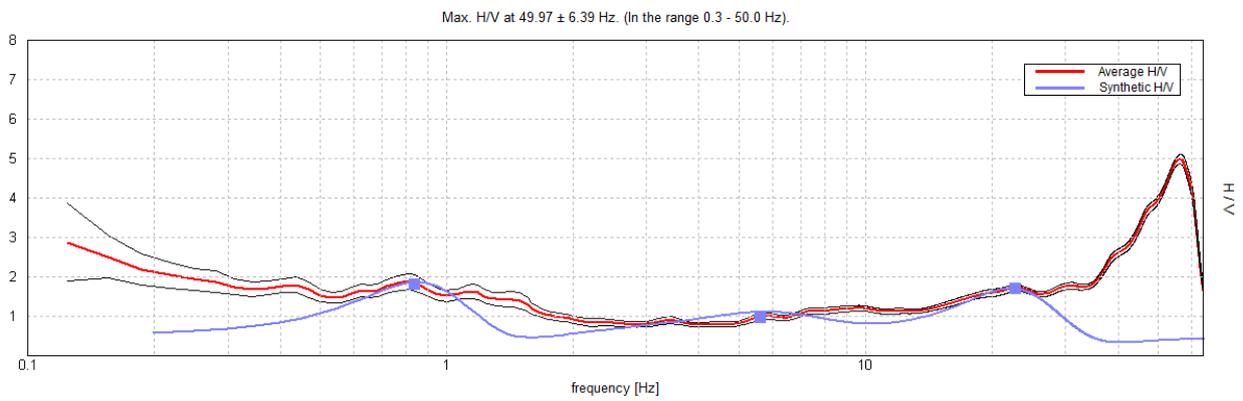
DIRECTIONAL H/V



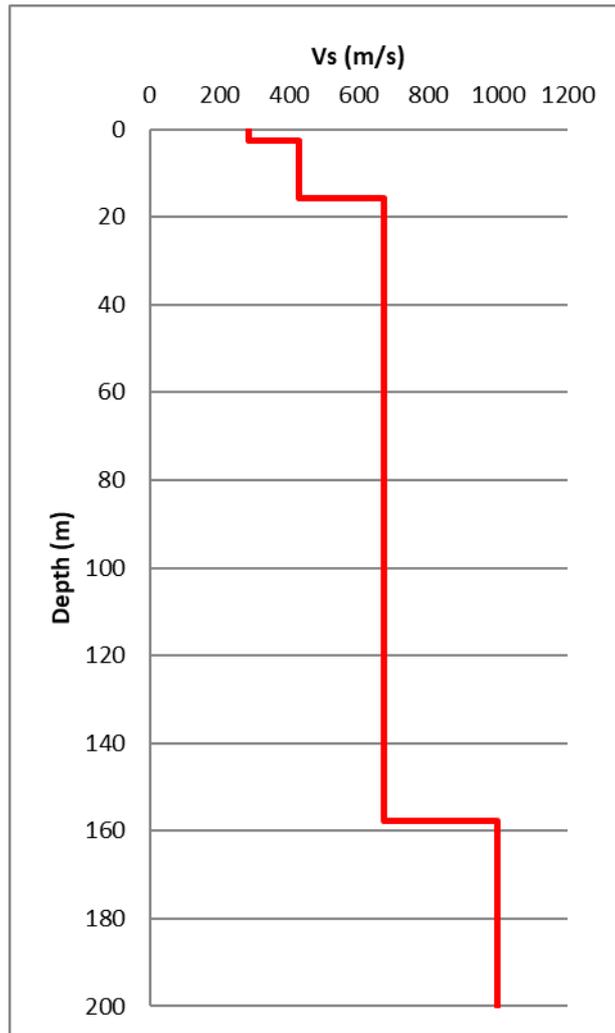
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
2.70	2.70	285
15.70	13.00	427
157.70	142.00	674
inf.	inf.	997



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

Max. H/V at 49.97 ± 6.39 Hz (in the range 0.25 - 50.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	49.97 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	114928.1 > 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 1249 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	36.0 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	63.344 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.97 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.12788 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	6.38988 < 2.49844		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1002 < 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
σ_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 σ_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

HVSR 10, LOTTO 2

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 24/02/2022 14:31:20 End recording: 24/02/2022 15:11:20

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

GPS data not available

Trace length: 0h40'00". Analyzed 94% trace (automatic window selection)

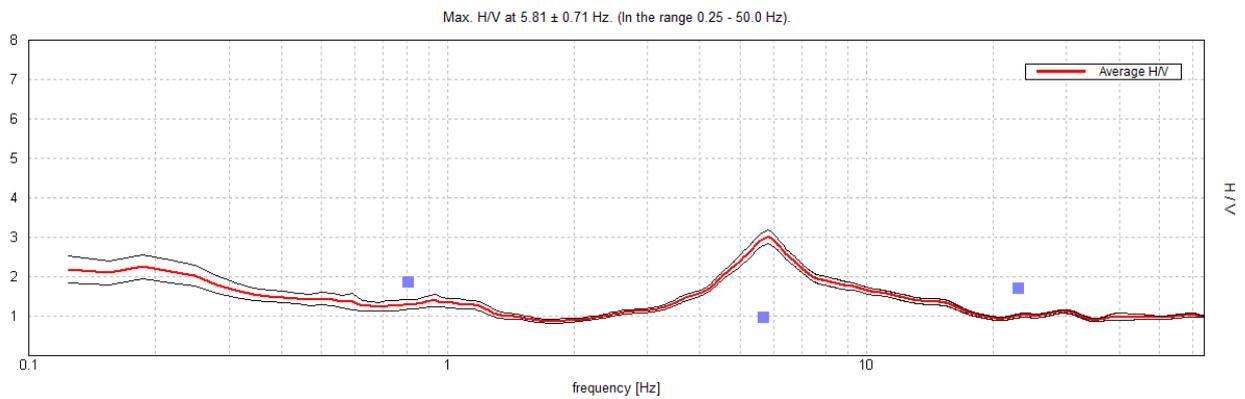
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

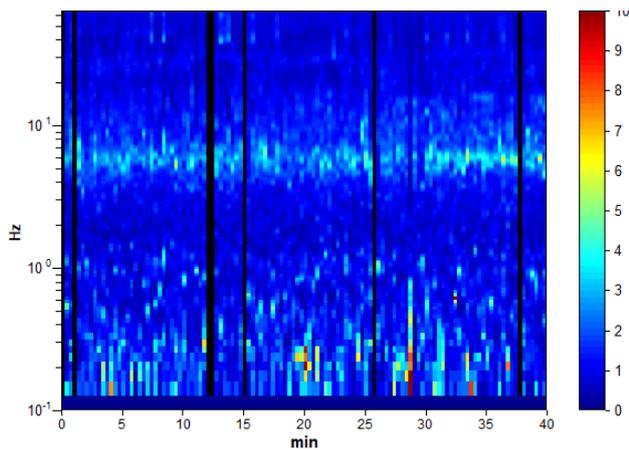
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

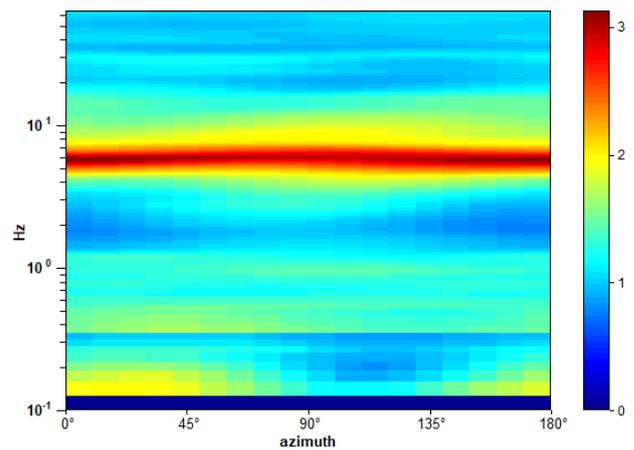
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



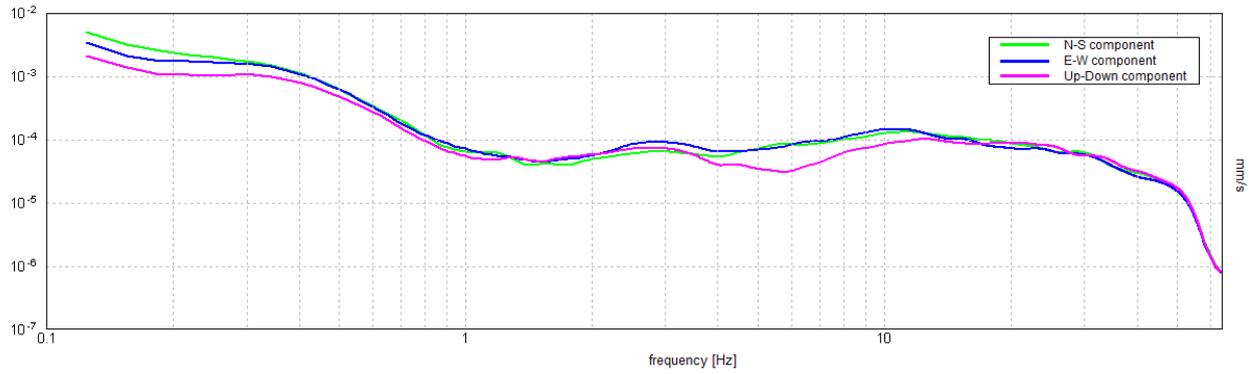
H/V TIME HISTORY



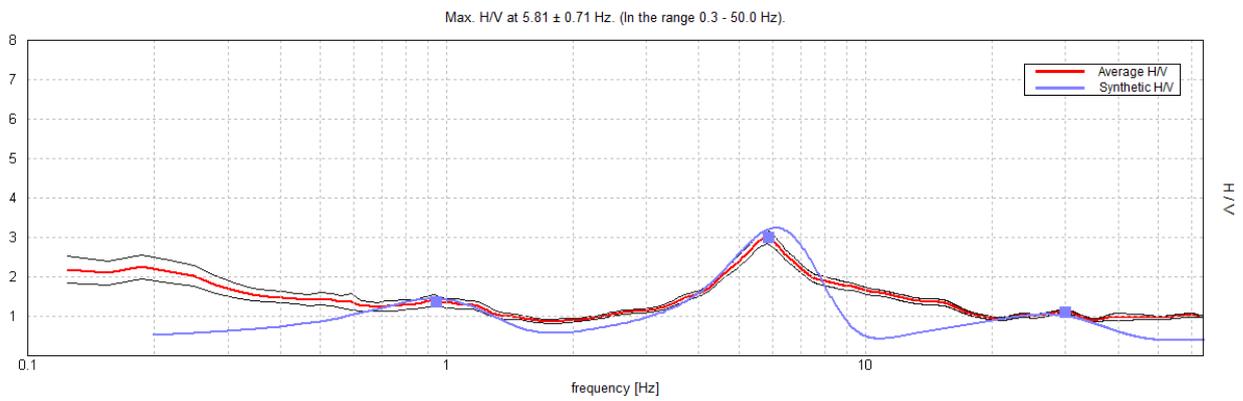
DIRECTIONAL H/V



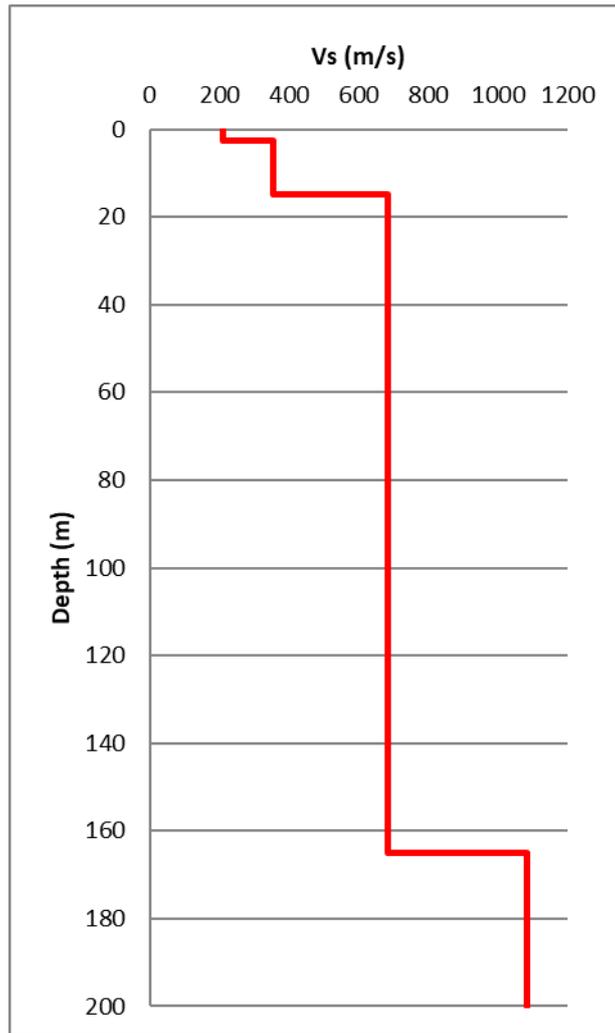
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
2.50	2.50	209
15.00	12.50	355
165.00	150.50	682
inf.	inf.	1082



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

Max. H/V at 5.81 ± 0.71 Hz (in the range 0.25 - 50.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	5.81 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	13136.3 > 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 280 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.781 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	11.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.01 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.12173 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.70756 < 0.29063		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1731 < 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
σ_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 σ_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

HVSR 11, LOTTO 2

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 24/02/2022 13:13:31 End recording: 24/02/2022 13:53:31

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

GPS data not available

Trace length: 0h40'00". Analyzed 94% trace (automatic window selection)

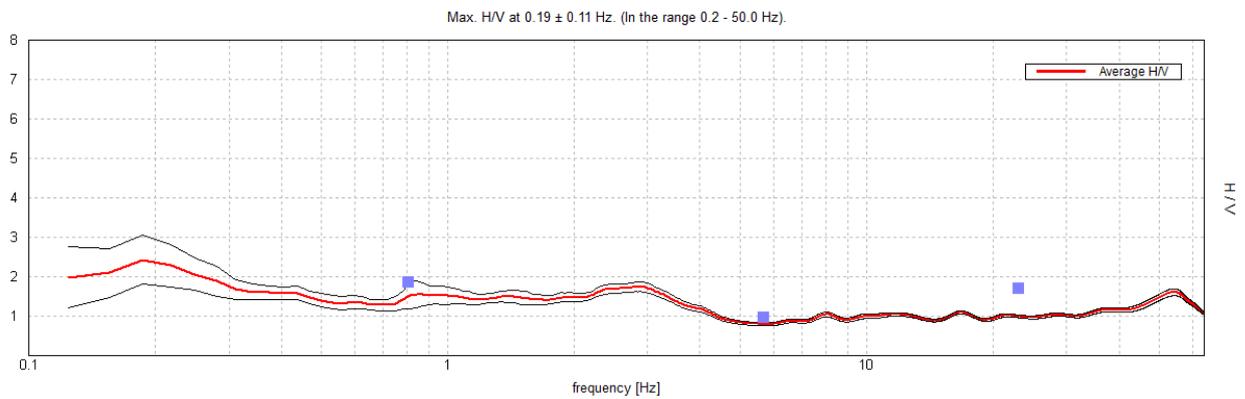
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

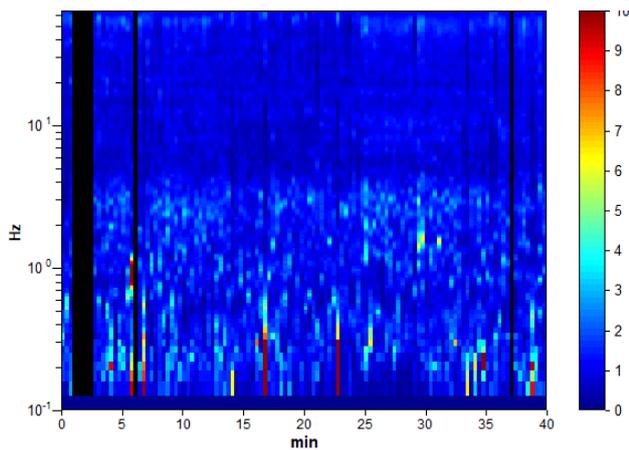
Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

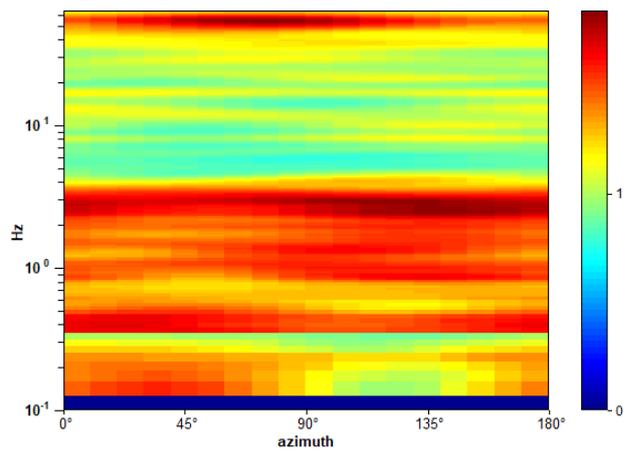
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



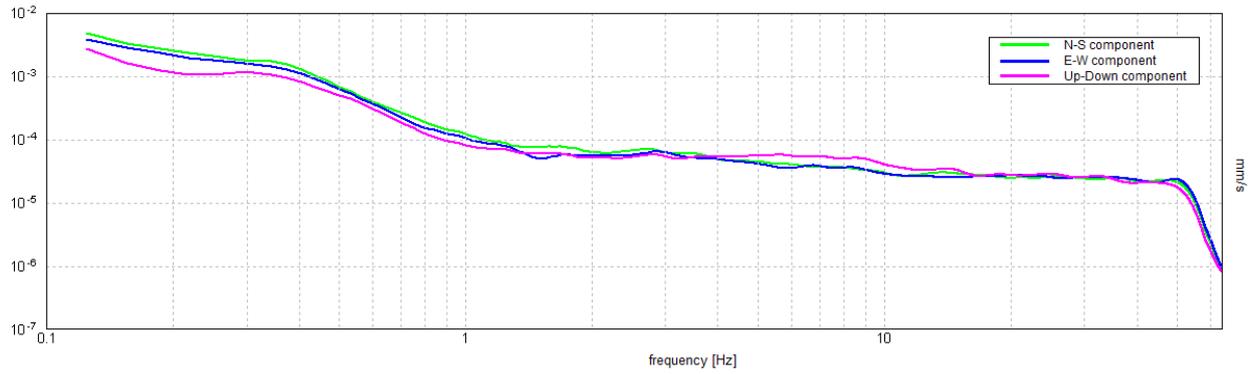
H/V TIME HISTORY



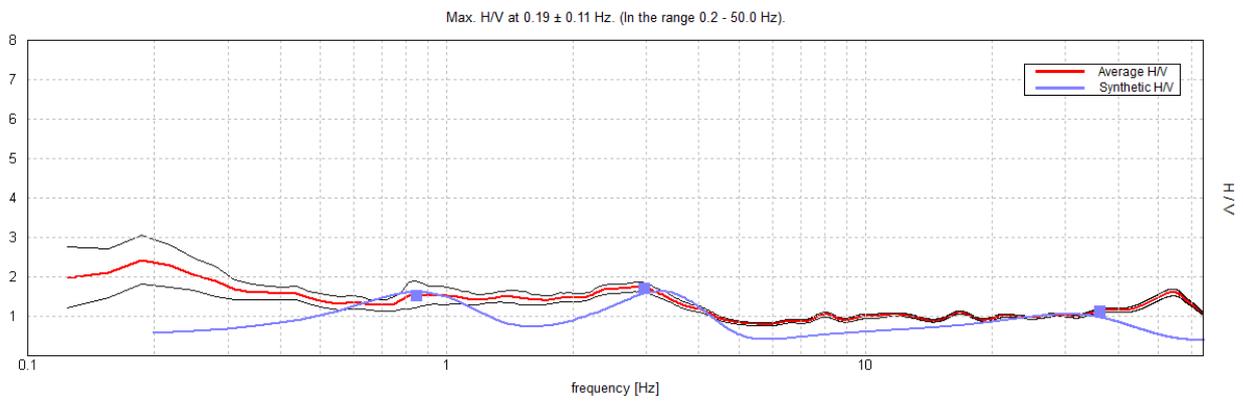
DIRECTIONAL H/V



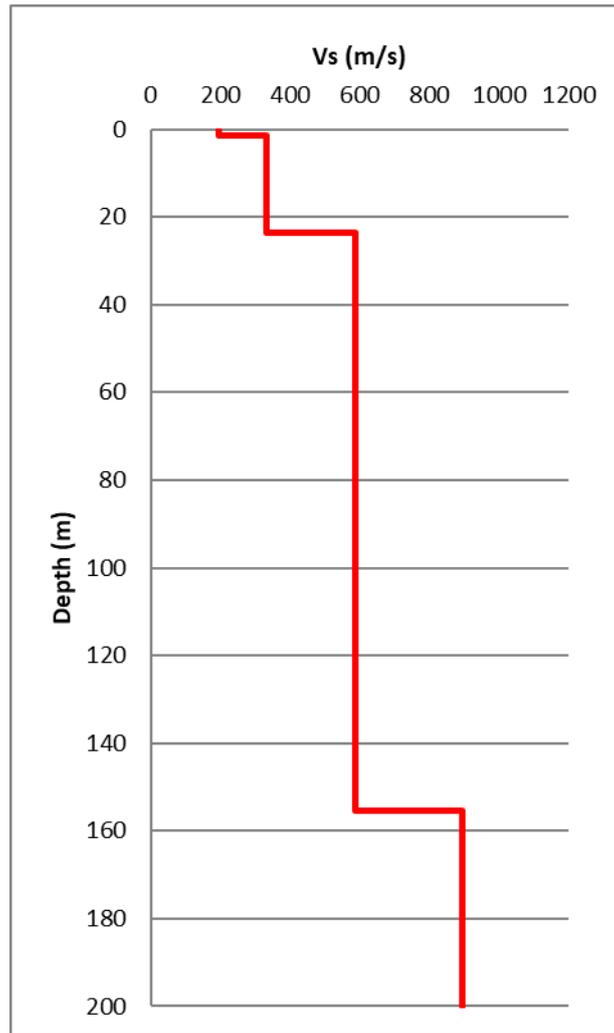
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
1.50	1.50	196
23.50	22.00	334
155.50	132.00	586
inf.	inf.	895



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

Max. H/V at 0.19 ± 0.11 Hz (in the range 0.2 - 50.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.19 > 0.50		NO
$n_c(f_0) > 200$	423.8 > 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 10 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.094 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.43 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.60784 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.11397 < 0.04688		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.6181 < 3.0	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
σ_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 σ_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

HVSR 12, LOTTO 2

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 24/02/22 11:46:03 End recording: 24/02/22 12:14:49

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

GPS data not available

Trace length: 0h28'36". Analyzed 94% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

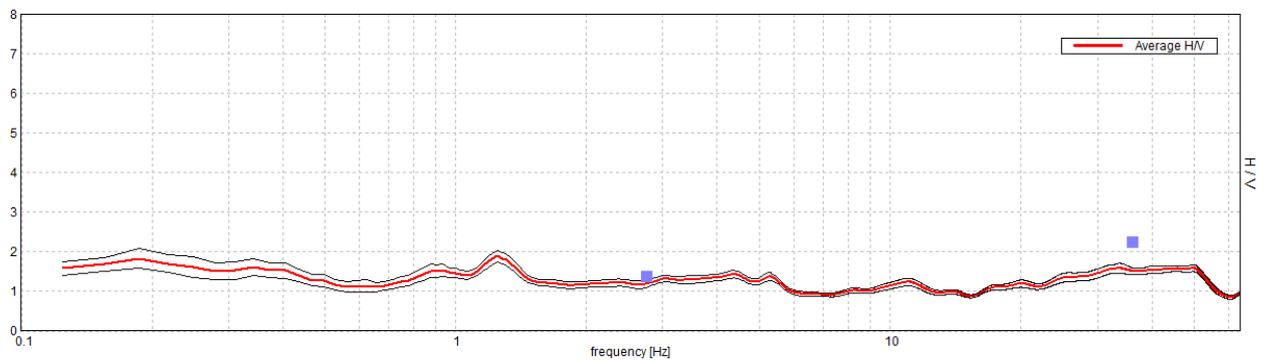
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

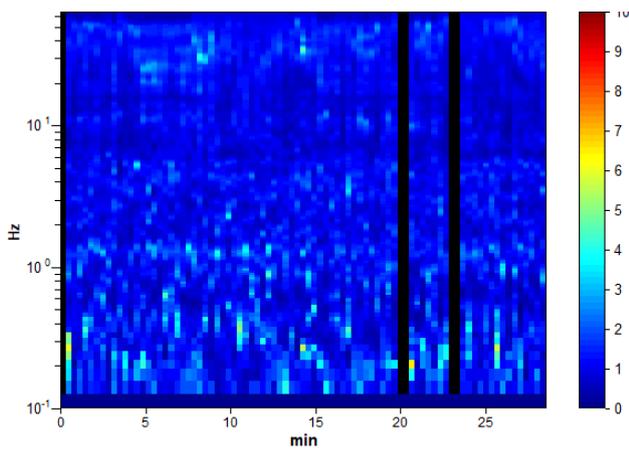
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

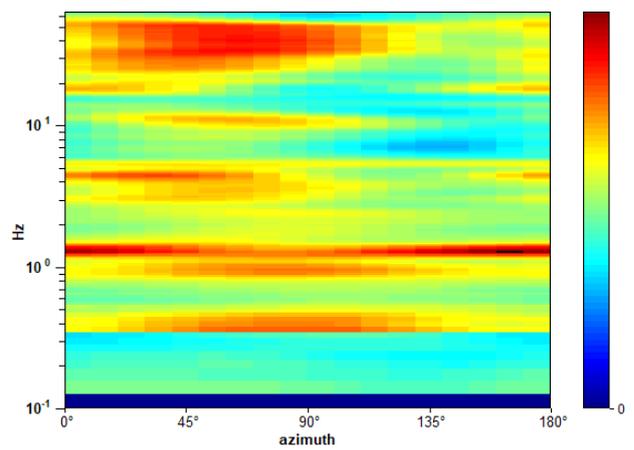
Max. H/V at 1.25 ± 0.49 Hz. (In the range 0.0 - 50.0 Hz).



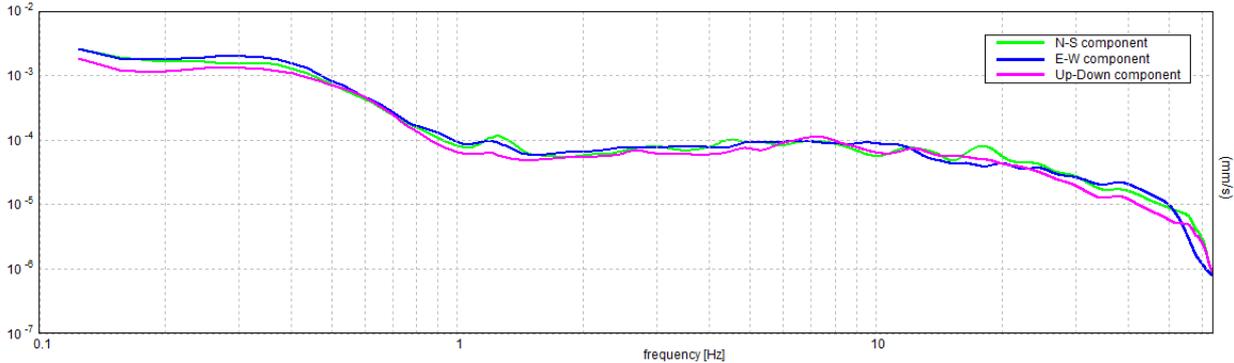
H/V TIME HISTORY



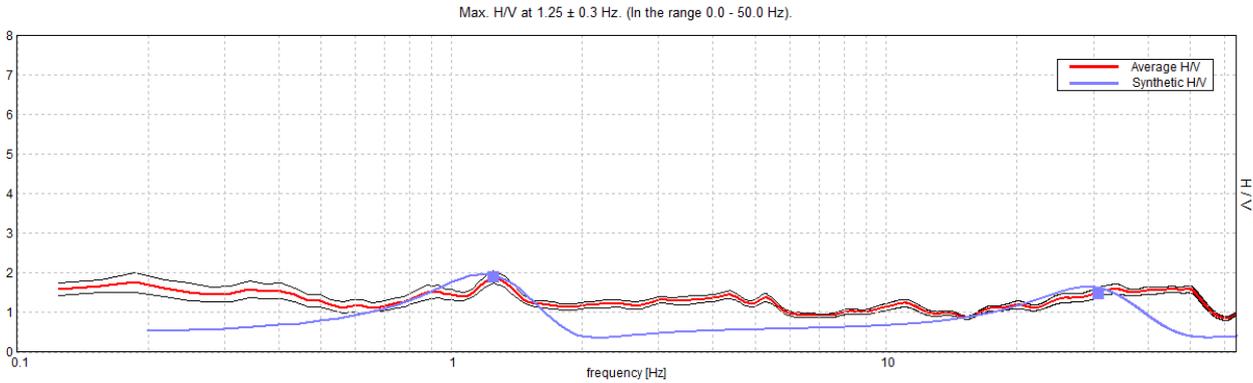
DIRECTIONAL H/V



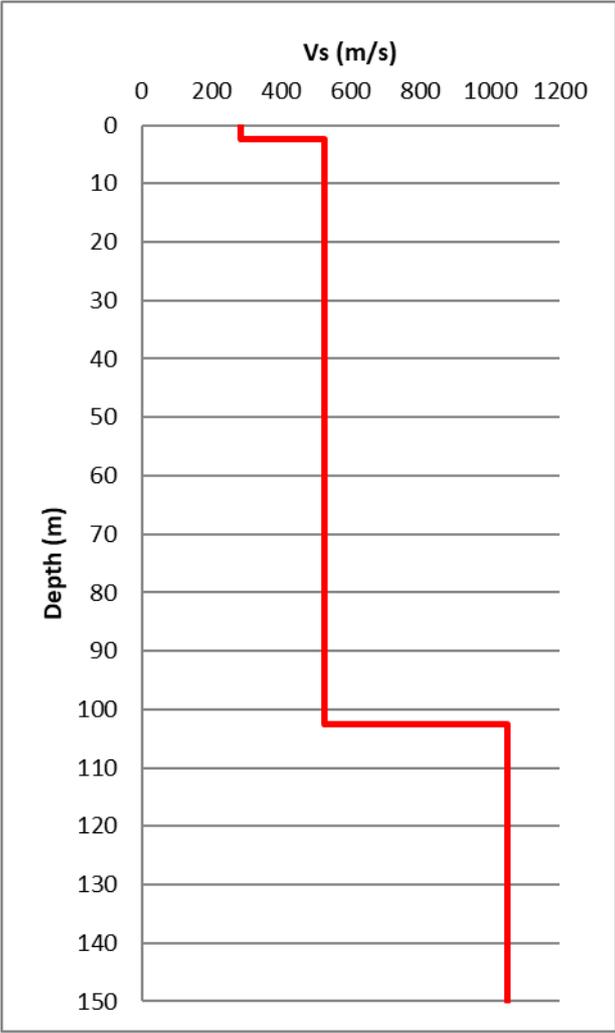
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
2.50	2.50	285
102.50	100.00	523
inf.	inf.	1050



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

Max. H/V at 1.25 ± 0.49 Hz (in the range 0.0 - 50.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.25 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2000.0 > 200$	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 61 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$		OK	
$A_0 > 2$	$1.89 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.39288 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.4911 < 0.125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1517 < 1.78$	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
σ_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 σ_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

HVSR 13, LOTTO 2

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 24/02/22 10:32:53 End recording: 24/02/22 11:12:53

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

GPS data not available

Trace length: 0h40'00". Analyzed 92% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

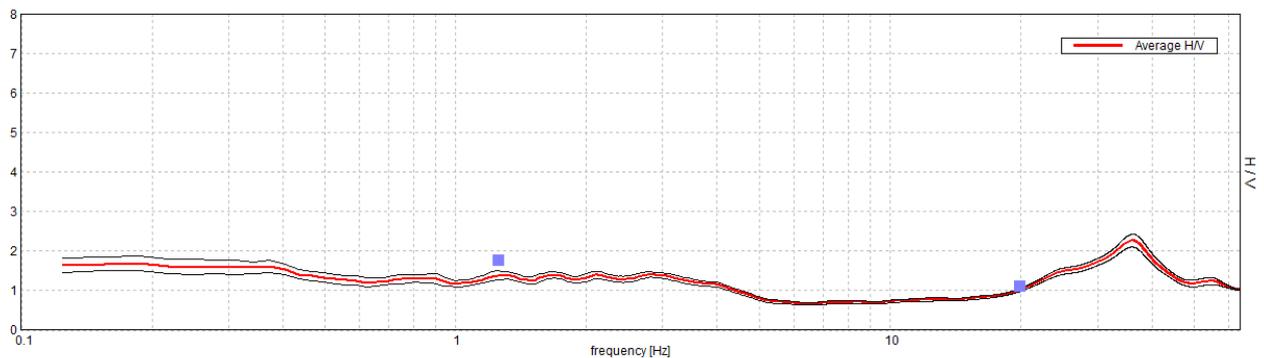
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

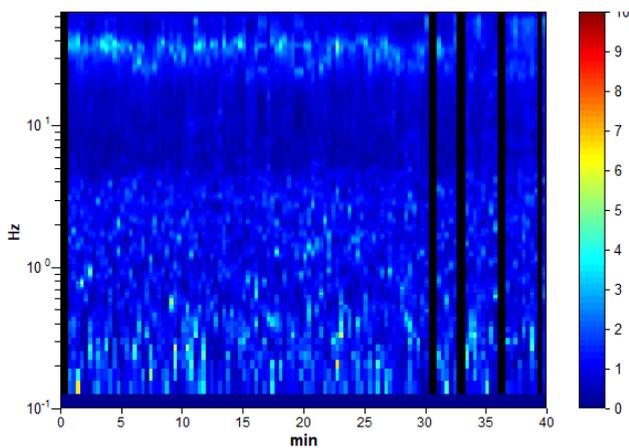
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

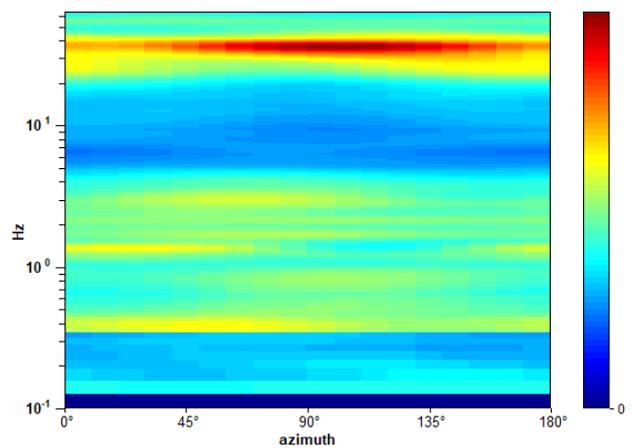
Max. H/V at 35.94 ± 3.41 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



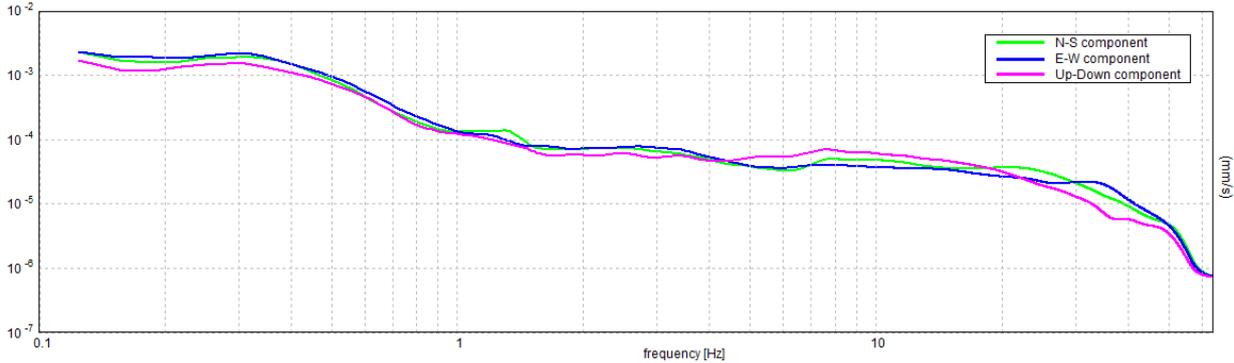
H/V TIME HISTORY



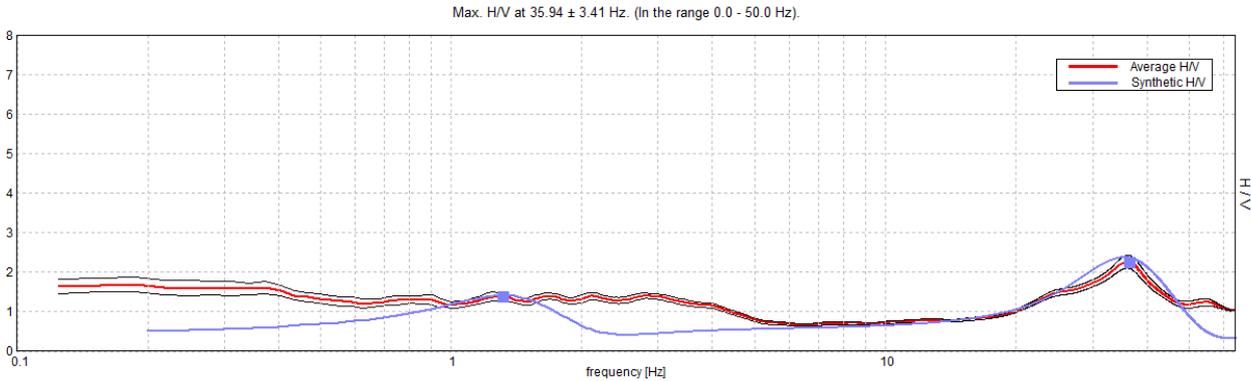
DIRECTIONAL H/V



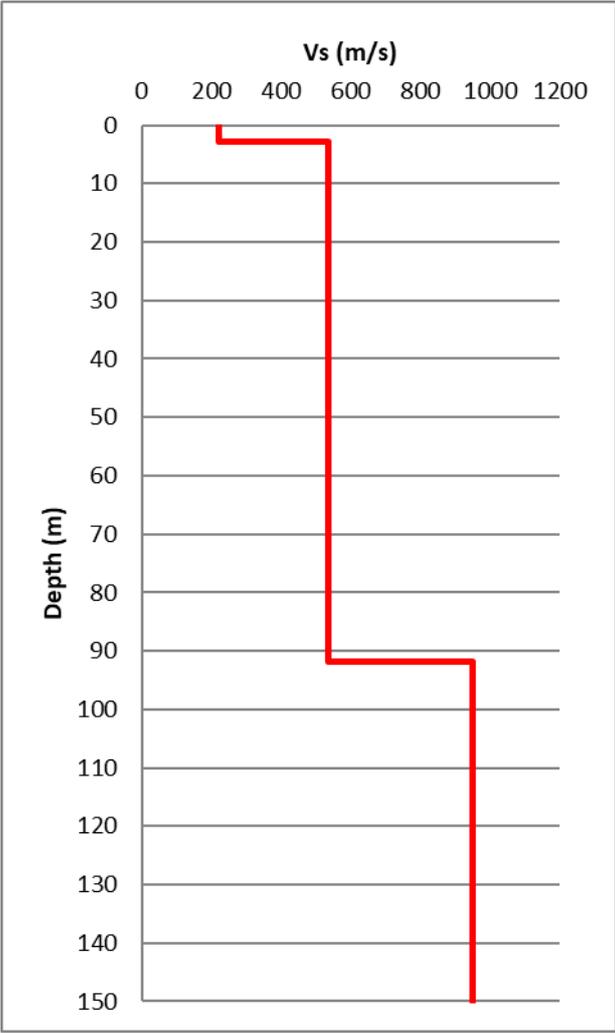
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
2.80	2.80	222
91.80	89.00	537
inf.	inf.	949



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

Max. H/V at 35.94 ± 3.41 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	35.94 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	79781.3 > 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 1474 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	21.063 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	58.906 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.26 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09486 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	3.40912 < 1.79688		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1602 < 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
σ_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 σ_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