

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



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

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

**LINEA COSENZA – PAOLA / S. LUCIDO
NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA
RADDOPPIO COSENZA – PAOLA / S. LUCIDO**

INDAGINI GEOGNOSTICHE

Indagini Geofisiche

SCALA:

-

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

RC1C 03 R 69 IG GE0005 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	Socotec	Ottobre 2021	A. Salvagnini	Ottobre 2021	I. D'Amore	Ottobre 2021	M. Comedini Ottobre 2021



File: RC1C03R69IGGE0005001A.doc

n. Elab.:

Indice

1.	PREMESSA	2
2.	METODO MASW.....	5
2.1	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO	5
2.2	STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	7
2.3	SCHEMA DI ACQUISIZIONE	9
3.	METODO SISMICA A RIFRAZIONE (SRT)	11
3.1.	PRINCIPI BASE DEL METODO.....	11
3.2.	FATTORI DI INFLUENZA DELLE VELOCITÀ SISMICHE.....	13
3.3.	STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	15
3.4.	SCHEMA DI ACQUISIZIONE.....	16
3.5.	PROCESSING.....	17
3	METODO HVSR	20
3.1	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO	20
3.2	FREQUENZA FONDAMENTALE DEL SITO.....	21
3.3	ACQUISIZIONE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	23
4	PROSPEZIONE DOWN HOLE.....	26
4.1	ACQUISIZIONE.....	27
4.2	PROCESSING INDAGINE DOWN HOLE	28
5	RISULTATI INDAGINI	33
5.1	AREA COSENZA	33
5.2	AREA PAOLA.....	34
6	BIBLIOGRAFIA	36
	ALLEGATI	38

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p>												
<p>INDAGINI GEOFISICHE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03 R 69</td> <td>IG</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>2 di 39</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC1C	03 R 69	IG	GE0005 001	A	2 di 39
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC1C	03 R 69	IG	GE0005 001	A	2 di 39								

1. **PREMESSA**

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche eseguite nei pressi delle località di Cosenza e Paola (CS). Nello specifico, sono state realizzate le seguenti indagini nel comune di Cosenza:

- n°2 prospezioni di sismica tipo MASW;
- n°2 stendimenti di sismica a rifrazione (SRT) in onda P e Sh;
- n°2 prospezioni di sismica di tipo HVSR;
- n°1 indagine tipo DH.

Nel comune di Paola sono state realizzate le seguenti indagini:

- n°2 prospezioni di sismica di tipo MASW;
- n°5 stendimenti di sismica a rifrazione (SRT) in onda P e Sh;
- n°2 prospezioni di sismica di tipo HVRS;
- n°2 indagini tipo DH.

Le suddette indagini, realizzate nei mesi di giugno e luglio 2021, sono state realizzate per l'esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria – Tratta Cosenza-Paola. L'ubicazione delle indagini svolte è stata riportata in Figura 1 (a e b); si specifica che la posizione delle prospezioni HVSR è situata al centro degli stendimenti delle prospezioni MASW.

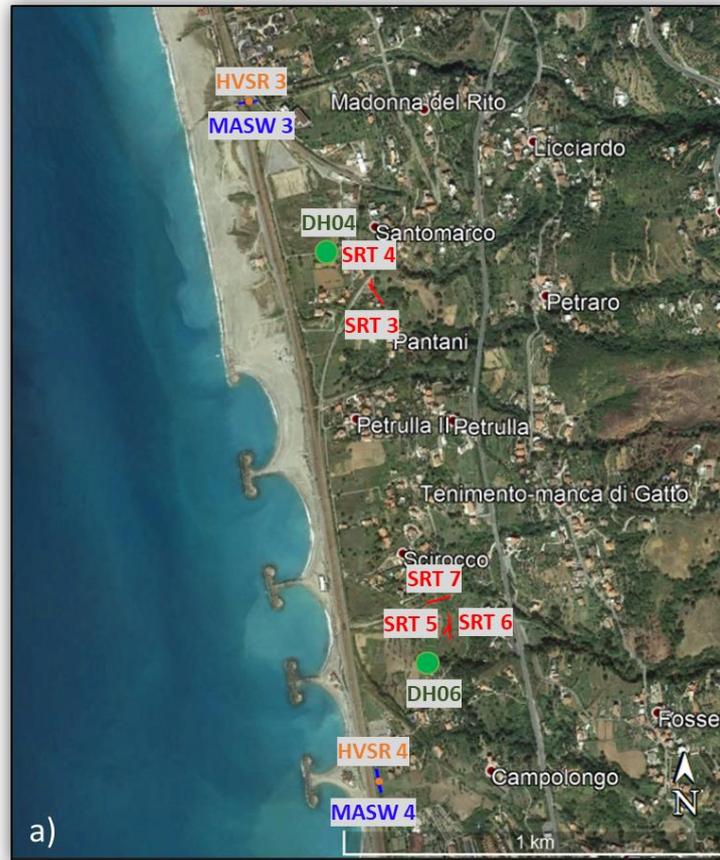


Figura 1 - Ubicazione Indagini, a) comune di Paola b) comune di Cosenza.

Si riporta di seguito il riepilogo delle indagini eseguite:

ID Prova	Lunghezza (m)	UTM – WGS84 Fuso 33 T (A)	UTM – WGS84 Fuso 33 T (B)
MASW 1	48	4359279.32 m N 606551.52 m E	4359237.33 m N 606586.14 m E
MASW 2	48	4359745.97 m N 605735.64 m E	4359729.65 m N 605785.24 m E
MASW3	48	4356034.48 m N 589360.40 m E	4356044.10 m N 589415.96 m E
MASW4	72	4354183.23 m N 589765.03 m E	4354116.16 m N 589779.92 m E
SRT 1	72	4359424.81 m N 604123.53 m E	4359491.00 m N 604100.00 m E
SRT 2	72	4359484.00 m N 604074.00 m E	4359505.00 m N 604143.00 m E
SRT 3	72	4355537.00 m N 589724.00 m E	4355478.00 m N 589766.00 m E
SRT 4	36	4355551.00 m N 589732.00 m E	4355515.00 m N 589734.00 m E
SRT 5	36	4354564.00 m N 589938.00 m E	4354595.00 m N 589954.00 m E
SRT 6	72	4354620.00 m N 589951.00 m E	4354549.00 m N 589955.00 m E
SRT 7	72	4354650.00 m N 589890.00 m E	4354673.00 m N 589957.00 m E

ID Prova	UTM – WGS84 Fuso 33 T
HVSR1	4359259.00 m N 606568.00 m E
HVSR2	4359738.37 m N 605756.89 m E
HVSR3	4356039.28 m N 589390.24 m E
HVSR4	4354148.55 m N 589773.50 m E
DH02	4359452.99 m N 606346.92 m E
DH04	4355634.08 m N 589631.16 m E
DH06	4354549.56 m N 589886.18 m E

Tabella 1 - Riepilogo e coordinate delle prospezioni geofisiche effettuate.

2. METODO MASW

2.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo

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

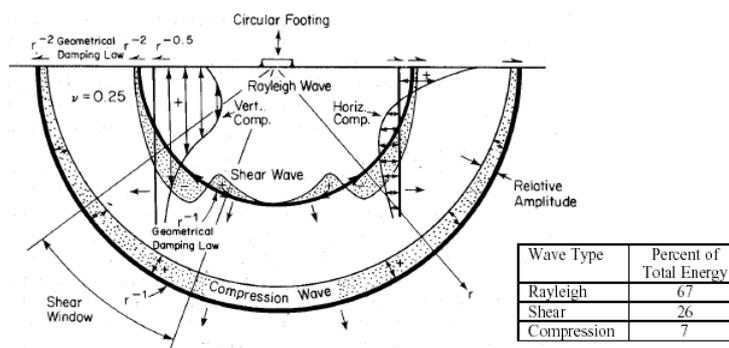


Figura 2 - Distribuzione delle onde di Rayleigh nel sottosuolo.

In un mezzo stratificato, le onde di Rayleigh sono dispersive, ossia onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999; Aki, K. and Richards, P.G., 1980). La velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh, quindi, dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza, ossia con lunghezza d'onda corta, si propagano negli strati più superficiali dando, quindi, informazioni sulla porzione più superficiale del suolo. Onde a bassa frequenza, invece, si propagano negli strati più profondi dando informazioni, quindi, sulla parte più profonda del suolo. Le indagini MASW si distinguono in attive e passive o in una combinazione di entrambe. Nel metodo attivo, le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate da uno stendimento lineare di sensori. Nel metodo passivo, lo stendimento dei sensori può essere sia lineare, sia circolare e consente di misurare anche il rumore ambientale di fondo esistente.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

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

Per un dato valore di ϕ , dove si verifica un massimo della funzione $V(f, \phi)$, la velocità di fase c_f può essere determinata. Tenendo conto che $c_f = f/\phi$, la funzione $V(f, \phi)$ può essere trasformata nella funzione $I(f, c_f)$ che viene definita “spettro di velocità di fase”. In essa, lungo l’asse c_f , 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 ottenere un modello monodimensionale di onde di taglio.

2.2 Strumentazione impiegata

L’apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove 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 e 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile (oscillazione orizzontale), con frequenza caratteristica di 8 Hz (Fig. 3).

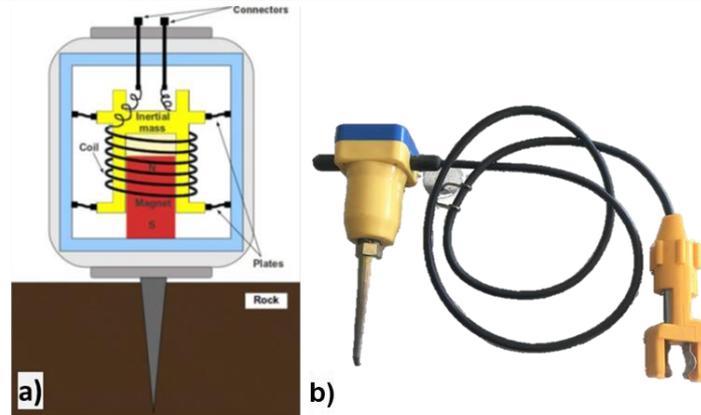


Figura 3 – Geofoni per onda P ed Sh; a) schema di funzionamento del geofono per onda P; b) geofono per onda P con frequenza caratteristica di 4.5 H.

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* (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.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A



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 tipo MASW 1 e 2 in località Cosenza sono stati realizzati entrambi utilizzando 24 canali d'acquisizione (geofoni), con passo intergeofonico di 2 m.

INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC1C	03 R 69	IG	GE0005 001	A	10 di 39

Gli stendimenti sismici di tipo MASW 3 e 4 in località Paola sono stati realizzati entrambi utilizzando 24 canali d'acquisizione (geofoni), con passo intergeofonico di 2 m per l'indagine MASW 3 e con un passo di 3 m per l'indagine MASW 4 (Fig. 5).

L'acquisizione dei dati sismici, per entrambe le località, è stata condotta secondo la seguente configurazione spazio temporale sia per le prospezioni:

- n° geofoni: 24;
- tempo di acquisizione: 1 s;
- intervallo di campionamento 0.125 μ s;



Figura 5 - Fasi di acquisizione

3. METODO SISMICA A RIFRAZIONE (SRT)

3.1. Principi base del metodo

Le indagini indirette, ed in particolare la metodologia a rifrazione, permettono la ricostruzione areale delle geometrie e degli spessori dei depositi di copertura, la profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali, nonché di determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali attraverso la determinazione dei moduli elastici dinamici. Il metodo di sismica a rifrazione si basa sul concetto della bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche e uno stendimento di geofoni lungo un profilo, giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde coniche o birifratte (*head wave*): le onde analizzate sono quelle birifratte ossia quelle che giungono sulla superficie di separazione con un angolo d'incidenza critico (secondo la legge di Snell) e che quindi vengono rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza. I contrasti di proprietà possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche. L'indagine viene eseguita disponendo una serie di i trasduttori del moto del suolo (velocimetri o accelerometri) lungo la superficie libera del suolo e generando onde elastiche da una sorgente puntiforme che può essere una massa battente, un fucile sismico o una carica esplosiva. I trasduttori situati più vicino alla sorgente rilevano prima l'onda diretta che arriva con velocità legata alle caratteristiche meccaniche dello strato di terreno più superficiale, mentre quelli più lontani rilevano le onde birifratte che viaggiano a velocità più elevata. Quando l'onda birifratta avrà percorso sufficiente distanza alla velocità V_2 , essa arriverà prima della diretta (Fig. 6).

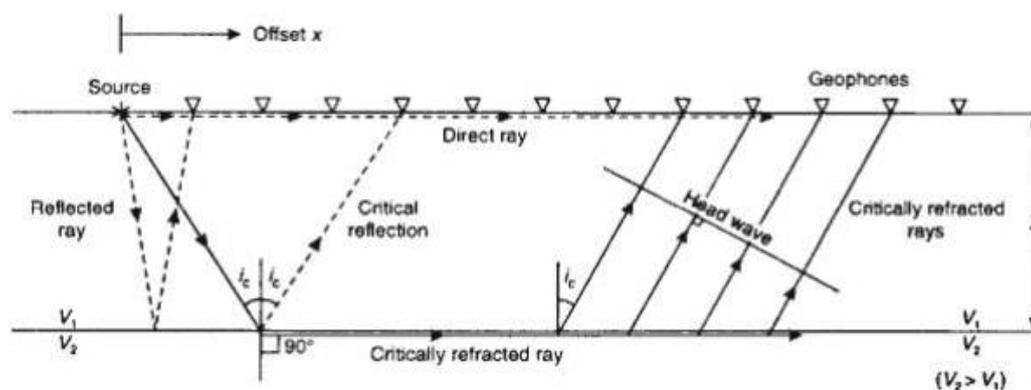


Figura 6 - Schema illustrativo delle onde sismiche

Se si riporta in un semplice grafico x-y, per ogni distanza di ciascun ricevitore, il tempo di arrivo del primo impulso letto sui sismogrammi, i punti si dispongono in una serie di allineamenti di cui il primo passante per l'origine: ciascuna linea è detta "dromocrona" ed è rappresentativa della velocità di propagazione delle onde elastiche nel mezzo posto al di sopra di un rifrattore (una superficie di separazione più o meno netta tra due materiali a comportamento elastico diverso). Il coefficiente angolare della dromocrona passante per l'origine rappresenta l'inverso della velocità di propagazione delle onde elastiche nel primo strato (V_0), i coefficienti angolari delle altre dromocrone rappresentano l'inverso delle velocità degli strati sottostanti (dal più superficiale al più profondo). L'intersezione tra due dromocrone è detto "punto di ginocchio" e rappresenta il punto in cui arrivano contemporaneamente le onde rifratte da due rifrattori adiacenti o, se consideriamo le prime due dromocrone, le onde dirette e le onde rifratte dal primo rifrattore. In un'indagine di sismica a rifrazione sarà possibile individuare un numero di punti di ginocchio pari al numero di rifrattori investigati (Fig. 7).

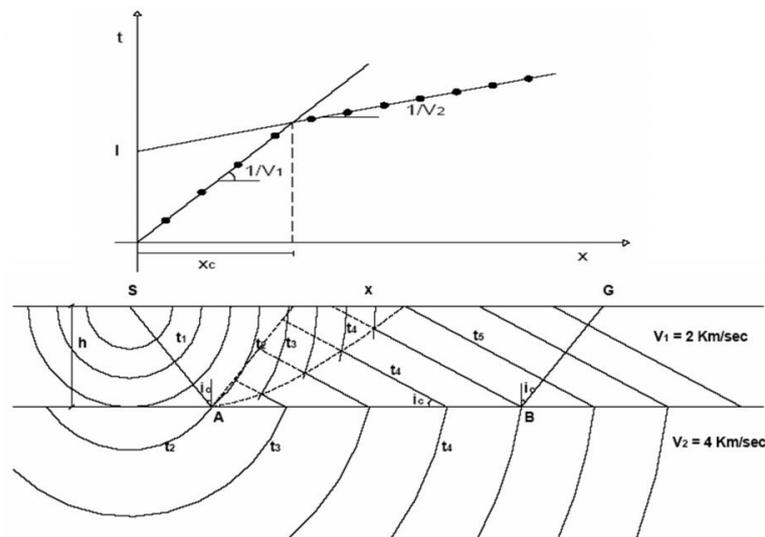


Figura 7 - Schema esemplificativo delle dromocrone in un sottosuolo a 2 strati.

Pertanto, più è profondo il rifrattore più il rispettivo punto di ginocchio sarà distante dalla sorgente: da ciò si deduce che gli impulsi rifratti possono essere ricevuti solo a partire da una certa distanza proporzionale alla profondità del rifrattore e che quindi la profondità totale di indagine è legata alla

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

lunghezza dello stendimento dei ricevitori. Tramite semplici relazioni trigonometriche è possibile, note le velocità di propagazione delle onde elastiche nei diversi strati omogenei del sottosuolo, conoscere gli spessori di ciascuno di essi. Se gli strati sono poco spessi e caratterizzati da velocità crescente con la profondità (come normalmente avviene nei terreni non consolidati), i percorsi delle onde saranno curvi, con concavità rivolta verso l'alto, ed anche la corrispondente dromocrona sarà una curva. Nei casi reali, si assume che l'effetto delle onde dirette, in termini di ampiezza delle vibrazioni, sia predominante rispetto a quello delle onde indirette, tanto da potere trascurare queste ultime e considerare il mezzo, limitatamente all'area comprendente la sorgente e il ricevitore, come mezzo omogeneo, isotropo e non confinato.

3.2. Fattori di influenza delle velocità sismiche

Schema d Sebbene la velocità dell'onda P sia un buon indicatore del tipo di terreno o di roccia, non è un indicatore univoco. Ogni tipo di sedimento o roccia ha una vasta gamma di velocità sismiche e molti di questi range si sovrappongono tra loro. Ci sono molte variabili che influenzano il modulo elastico e quindi la velocità delle onde di compressione delle rocce e dei terreni. Nelle tabelle 3 e 4, si riportano le velocità da bibliografia di alcune delle principali litologie.

VELOCITA' ONDE DI COMPRESSIONE		
LITOLOGIA	VELOCITA' [m/sec]	
Suoli superficiali	300	700
Limi ed argille sature	1100	2500
Arenarie sature e porose	2000	3500
Acqua	1450	1500
Sabbie asciutte	400	1200
Sabbie sature	1500	2000
Arenarie	2100	4400
Argilliti	2000	6000
Calcari	2000	7000
Dolomie	2500	6500
Marne	2000	3000

Tabella 3 - Velocità delle onde di compressione di alcuni terreni.

VELOCITA' ONDE DI TAGLIO		
LITOLOGIA	VELOCITA' [m/sec]	
Suoli superficiali	50	300
Limi ed argille sature	200	800
Arenarie sature e porose	800	1800
Acqua	-	-
Sabbie asciutte	100	500
Sabbie sature	400	600
Arenarie	900	3100
Argilliti	500	2100
Calcari	1000	3500
Dolomie	1200	3800
Marne	750	1500

Tabella 4 - Velocità delle onde di taglio di alcuni terreni.

I primi esperimenti sulla variazione delle proprietà elastiche delle rocce sono iniziate tra il 1950 e il 1960. A quel tempo molti ricercatori (Wyllie et al., 1956; 1962; 1963; 1985) hanno studiato i cambiamenti della velocità di elasticità onde in funzione di saturazione, porosità e contenuto in argilla, fratturazione. In particolare:

- Saturazione: in condizioni di saturazione totale, la velocità delle onde P è controllata dal mezzo liquido (che è incompressibile) se superiore a quello dello scheletro solido: questo perché la velocità delle onde S non risulta influenzata da tale parametro (l'acqua non può sostenere sforzi di taglio). Per saturazioni parziali, invece, la velocità delle onde P è inferiore a quella ottenibile alla massima saturazione ma, nel contempo, è inferiore anche a quella che si ottiene per gli stati secchi.
- Porosità e contenuto in argilla: la diminuzione della velocità associata ad un aumento del contenuto di argilla può essere confrontata con la diminuzione della velocità associata ad un aumento della porosità. Infatti, le particelle di argilla creano una microporosità composta da piccoli pori di 1 μm riducendo notevolmente la dimensione dei pori. Da vari studi effettuati in merito, si evince che una gran parte della variazione della velocità dovuta al cambiamento di contenuto di argilla, è attribuibile alla significativa quantità di microporosità presente all'interno

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

di minerali di argilla. Si riscontra, infatti, un brusco cambiamento delle proprietà della matrice rocciosa con l'aggiunta di una piccola quantità d'argilla.

- **Fratturazione:** il grado di fratturazione di una formazione rocciosa è legato alle proprietà idrogeologiche delle rocce, come la porosità e la permeabilità (capacità delle rocce di farsi attraversare dalle acque). L'importanza dell'impiego del metodo sismico per la valutazione del grado di fratturazione di una formazione rocciosa, è basata sulle evidenze sperimentali che indicano una diminuzione della velocità delle onde di compressione (V_p) e di taglio (V_s) e un aumento del coefficiente di attenuazione α al crescere della densità di frattura. In sintesi, le indagini suggeriscono che le velocità delle onde P e S decrescono con l'aumentare dei parametri di frattura, mentre il rapporto V_p/V_s aumenta con il decrescere dei parametri di frattura.

Le velocità sismiche che si andranno a misurare su rocce o terreni, pertanto, saranno spesso influenzate dall'effetto contemporaneo di tutti i fattori citati (oltre che ad altri meno importanti nel nostro contesto).

3.3. Strumentazione impiegata

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove è la stessa utilizzata nelle indagini MASW. Inoltre sono stati utilizzati 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile (oscillazione orizzontale), con frequenza caratteristica di 8 Hz (Fig. 8)



Figura 8 – geofono per onda S con frequenza caratteristica di 8 Hz.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 16 di 39

3.4. Schema di acquisizione

Gli stendimenti sismici sono stati realizzati utilizzando un passo intergeofonico pari a 3 m per le indagini svolte nel comune di Cosenza, mentre per il comune di Paola gli stendimenti sismici sono stati realizzati con un passo intergeofonico di 3 m nel caso delle SRT 1, SRT 6 SRT 7 e di 1.5 m per le SRT 4 e SRT 5, tutte utilizzando 24 canali di acquisizione (Fig. 9).

Tutti gli stendimenti sono caratterizzati da:

- tempo di acquisizione: 1 s;
- intervallo di campionamento 0.125 μ s.



Figura 9 - Fasi di acquisizione

3.5. Processing

Il processing del dataset di sismica a rifrazione è stato condotto mediante il Software RAYFRACT (Intelligent Resources Inc., Canada), studiato per l'elaborazione di dati relativi ad indagini sismiche

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p>					
<p>INDAGINI GEOFISICHE</p>	<p>COMMESSA RC1C</p>	<p>LOTTO 03 R 69</p>	<p>CODIFICA IG</p>	<p>DOCUMENTO GE0005 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 18 di 39</p>

eseguite in superficie, realizzate sia con onde P che S, per scopi geotecnico-ingegneristici, ambientali, nonché per l'esplorazione nel campo delle georisorse. Rayfract consente sia la ricostruzione della geometria dei rifrattori con la sismica a rifrazione tradizionale, che la realizzazione di dettagliati modelli di velocità del sottosuolo con le più evolute tecniche tomografiche, soprattutto nel caso di strutture profonde.

Lo schema di interpretazione utilizzato nel presente lavoro è basato sulla creazione di un modello iniziale ottenuto mediante interpretazione con una tecnica sofisticata di processo dei tempi di primo arrivo basata sui metodi dei "Fronti d'onda" (Brückl, 1987; Jones and Jovanovich, 1985) e del Plus-minus (Hagedoorn, 1959), fondata su una regressione del campo dei tempi di primo arrivo (Brückl, 1987). Tale metodo può essere considerato un'ottimizzazione dell'algoritmo del GRM, capace di risolvere l'immagine dei rifrattori con andamenti topografici molto accidentati. A partire dal modello sopraccitato è stato quindi utilizzato il codice di calcolo per la modellazione tomografica che utilizza, nell'algoritmo d'inversione, un "raytracing" con raggi curvilinei e metodi di calcolo ai minimi quadrati attraverso il metodo Delta t-v (Gebrande and Miller, 1985), al fine di migliorare il riconoscimento e la localizzazione di strutture di forma anomala, stabilizzando la soluzione dell'algoritmo d'iterazione. In generale, il tempo di percorrenza di un'onda sismica lungo un percorso S attraverso un mezzo bidimensionale (2D) può essere scritto come

$$t = \int_S u[\mathbf{r}(x, y)] \quad (2.1)$$

dove $u(\mathbf{r})$ è il campo delle lentezze (l'inverso delle velocità) e \mathbf{r} è il vettore posizione. Discretizzando il campo di lentezze $u(\mathbf{r})$ con m celle equidimensionali ognuna caratterizzata da una lentezza costante u_k ($k=1, 2, \dots, m$) la dromocrona i -esima delle n disponibili può essere scritta come

$$t_i = \sum_{k=1}^m l_{ik} \cdot u_k \quad (2.2)$$

dove l_{ik} rappresenta la porzione dell' i -esima dromocrona nella cella k -esima. Considerando tutte le dromocrone disponibili si ottiene il seguente sistema

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

$$\mathbf{t} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{u} \quad (2.3)$$

dove \mathbf{t} è il vettore dei dati sperimentali (tempi di primo arrivo letti sui sismogrammi), \mathbf{M} è la matrice rettangolare contenente le porzioni dei percorsi nelle varie celle, \mathbf{u} è il vettore delle lentezze (incognite del problema). Il problema inverso da risolvere è pertanto:

$$\mathbf{u} = \tilde{\mathbf{M}}^{-1} \cdot \mathbf{t} \quad (2.4)$$

dove \mathbf{M} è la matrice inversa generalizzata. Poiché i percorsi sismici dipendono dalle lentezze, la matrice \mathbf{M} dipende anche dalle lentezze e quindi il problema inverso è un problema non-lineare che deve essere risolto iterativamente partendo da una soluzione iniziale (modello di partenza). L'equazione da considerare è pertanto la seguente

$$\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} = \Delta \mathbf{t} \quad (2.5)$$

dove $\Delta \mathbf{t}$ è la differenza tra i tempi sperimentali e i tempi calcolati per il modello di lentezze iniziale \mathbf{u}_0 ; $\Delta \mathbf{u}$ è la perturbazione del modello iniziale; e \mathbf{J} è la matrice jacobiana contenente le derivate parziali delle dromocrone rispetto alle lentezze nelle celle. Poiché il problema è parzialmente sovradeterminato (per alcune celle si hanno molti percorsi) e parzialmente sottodeterminato (per alcune celle non è disponibile nessun percorso) esso è stato risolto con la tecnica dei minimi quadrati smorzati, cioè è stata minimizzata con la seguente funzione errore

$$\varphi = \|\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} - \Delta \mathbf{t}\|^2 + \lambda \|\mathbf{L}_2 \mathbf{u}\|^2 \quad (2.6)$$

dove λ è il fattore di smorzamento e la matrice \mathbf{L}_2 è una matrice derivata seconda (operatore laplaciano) che forza la soluzione verso la soluzione più regolare possibile (smoothest solution).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

3 METODO HVSR

3.1 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 Vs a patto che si dispone di informazioni aggiuntive sul modello geologico del sottosuolo o si hanno informazioni di letteratura sul sito in esame (per es. profondità del bedrock sismico, stratigrafie da sondaggi a carotaggio continuo o profili Vs da prove MASW o di sismica a rifrazione).

Il metodo si basa sul rapporto spettrale tra la componente orizzontale (H) e quella verticale (V) (eseguito nel dominio delle frequenze). Esso fu introdotto come strumento speditivo per stimare l'incidenza delle condizioni locali sull'amplificazione dello scuotimento dovuto ad un sisma. Il principio si basa sul fatto che, misurando il rapporto H/V determinabile da microtremori, si stimano le frequenze che possono essere amplificate in caso di sisma.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p>					
<p>INDAGINI GEOFISICHE</p>	<p>COMMESSA RC1C</p>	<p>LOTTO 03 R 69</p>	<p>CODIFICA IG</p>	<p>DOCUMENTO GE0005 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 21 di 39</p>

3.2 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.10a) 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.11b). 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.

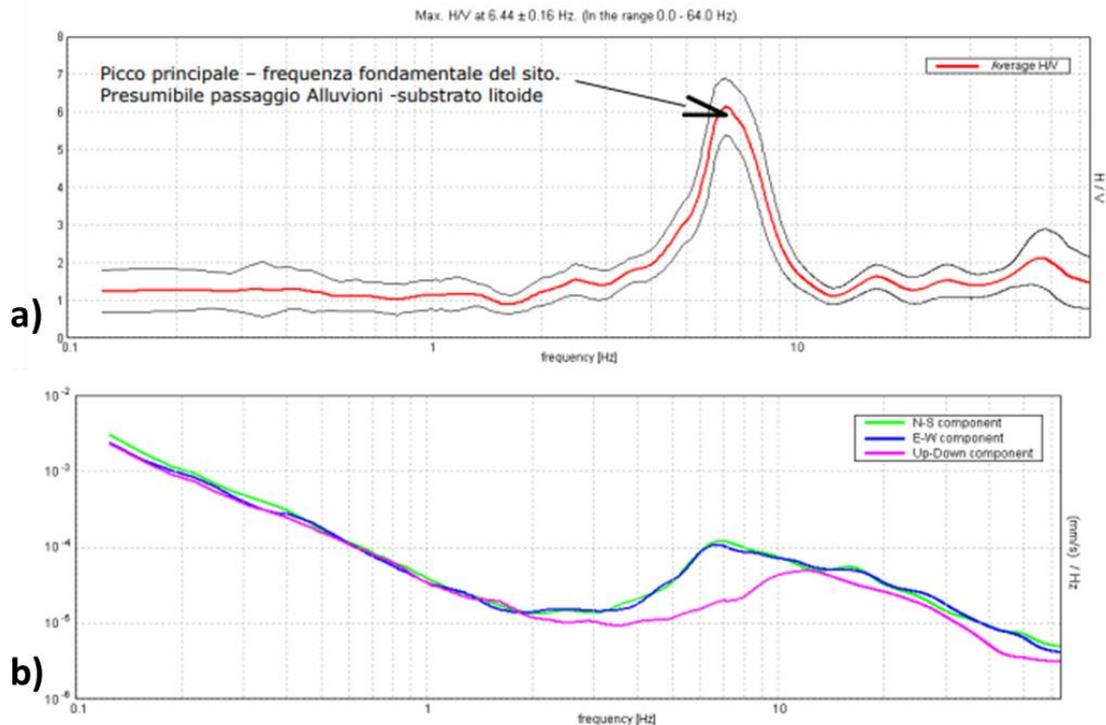


Figura 10 - a) Rapporto spettrale H/V; b) Esempio di spettri a singole componenti

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.

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.11), basandosi sulla nota equazione che lega la frequenza di risonanza (f) allo spessore (h) dello strato e alla velocità delle onde di taglio (Vs): $f = V_s / 4h$ (da cui $h = V_s / 4f$).

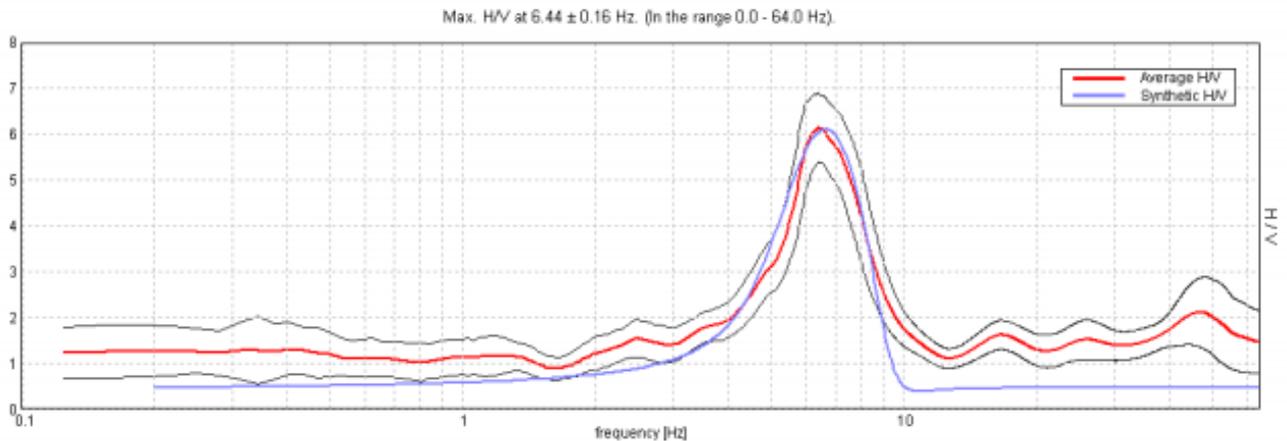


Figura 11 - esempio di fittaggio del modello teorico

3.3 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.uifgrenoble.fr/Delivrables/Del-D23_HV_User_Guidelines.pdf). I dati vengono acquisiti attraverso il Tromino della Micromed (Fig. 12).



Figura 12 - Tromino della Micromed

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

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

In Tabella 5 sono elencate le caratteristiche dello strumento.

Tabella 5 - Velocità delle onde di compressione di alcuni terreni.

Per tutte le misure l'intervallo di registrazione utilizzato è di 40 minuti con una frequenza di campionamento pari a 128 Hz. 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.

	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 25 di 39

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 monodimensionali 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.8.1 (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 13 - Fasi di acquisizione

4 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,

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

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}).

4.1 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. 14) 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 6 - Parametri di campionamento prove DH

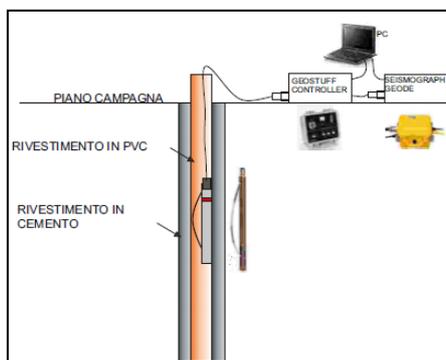


Figura 14 - Schema di acquisizione prova Down-Hole

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

Le indagini down hole sono state effettuate all'interno dei fori di sondaggio corrispondenti a DH02 per il comune di Cosenza e DH04 e DH06, per il comune di Paola (Fig. 15).



Figura 15 - Fasi di acquisizione

4.2 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 (T_{corr}, 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:

$$E = \sigma/\varepsilon$$

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. 16).

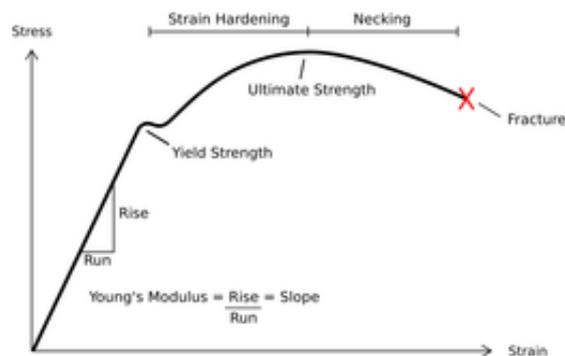


Figura 16 - Diagramma sforzo - deformazione di un materiale duttile

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 δl sarà in relazione allo sforzo di taglio T_1 e allo spessore h secondo la relazione:

$$\delta l = \frac{1}{\mu} h T_1$$

dove μ è il modulo di taglio. Considerando lo spostamento angolare α , ponendo l'angolo uguale alla sua tangente, la relazione diventerà semplicemente:

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

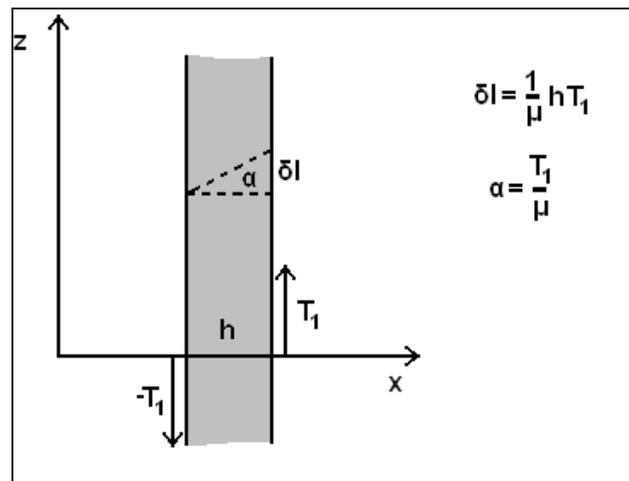


Figura 17 - Esempio di resistenza al taglio

Il **modulo bulk K** (o modulo di compressibilità) di un 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.

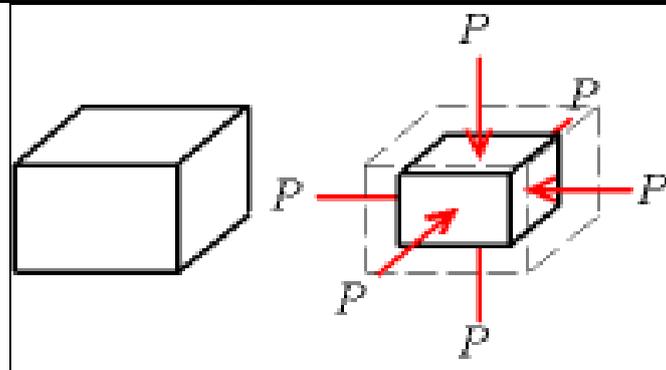


Figura 18 - Esempio di compressione uniforme

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. 19), 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: $t_{corr} = \frac{d}{r} t$.

In particolare, nel metodo della velocità di intervallo, i tempi di percorrenza sono misurati tra due ricevitori ubicati sulla stessa verticale (Fig. 19) ma a diverse profondità, consentendo quindi misurazioni di qualità migliore (velocità intervalli).

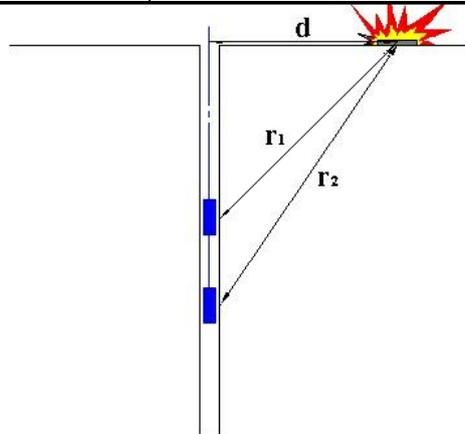


Figura 19 - Diagramma di una down-hole utilizzando il metodo d'intervallo.

Attraverso le misurazioni ottenute, è possibile calcolare il range di velocità delle onde P e S (Fig. 20), con la seguente formula:

$$v_{p,s} = \frac{z_2 - z_1}{t_{2cor} - t_{1cor}}$$

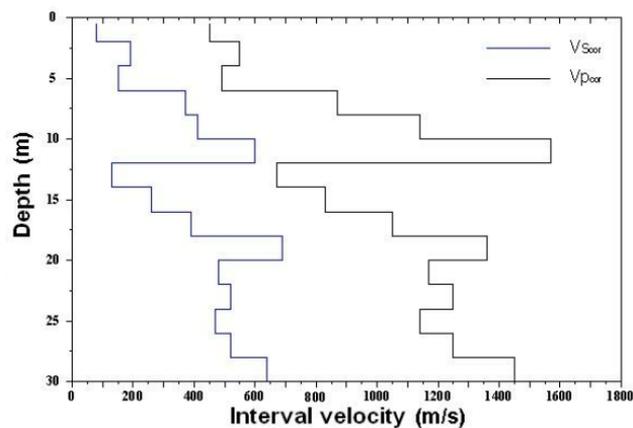


Figura 20 - Profilo di velocità sismica col metodo d'intervallo.

5 RISULTATI INDAGINI

Al fine di meglio interpretare le indagini sismiche, è stata consultata la cartografia geologica in scala 1:100.000 del Servizio Geologico Italiano, foglio 229 - Paola (fig. 21), la quale mostra la presenza di depositi alluvionali recenti e argille per entrambe le aree indagate; seguono, scisti e filladi. Nell'area del comune di Cosenza si osserva anche la presenza di sabbie gialle e argille intercalate. Inoltre, è stata consultata la stratigrafia ricavata dai sondaggi geognostici effettuati.



Figura 21 – Stralcio della cartografia geologica in scala 1:100.000, foglio 229 -Paola; nei cerchi rossi, le aree investigate del comune di Paola (sinistra) e del comune di Cosenza (destra).

In generale, le indagini MASW hanno consentito di ottenere un modello monodimensionale di Vs che, com'è noto, può essere ritenuto esaustivo del profilo verticale di Vs nel punto centrale dello stendimento. Qualora le indagini presentino delle inversioni di velocità, non è stata specificata alcuna categoria di suolo, così come stabilito dalla normativa vigente NTC18.

5.1 Area Cosenza

L'area è stata indagata attraverso le indagini SRT1, SRT2, MASW1, MASW2 e la DH02. Le indagini MASW e DH, nel settore più orientale, mostrano un graduale aumento delle Vs con le profondità. Inoltre, a circa 5 m dal p.c. si evidenzia la presenza di uno strato caratterizzato da Vs più basse che generano inversioni di velocità sia nelle indagini MASW che DH. Tale decremento delle Vs è riconducibile alla presenza di sabbia ghiaiosa poco compatta, come evidenziato nel sondaggio geognostico SVI-02. L'indagine DH non

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA												
INDAGINI GEOFISICHE	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03 R 69</td> <td>IG</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>34 di 39</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC1C	03 R 69	IG	GE0005 001	A	34 di 39
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC1C	03 R 69	IG	GE0005 001	A	34 di 39								

intercetta il basamento sismico; il Vs equivalente è stato calcolato a partire dal bocca-foto (0 – 30 m). Nel settore occidentale, le indagini sismiche mostrano delle Vp e Vs che non superano valori di 2500 m/s e 700 m/s, rispettivamente. Inoltre, si evidenzia la presenza di aree dalla forma lenticolare caratterizzate da velocità più alte e, talora, più basse rispetto ai valori delle velocità medie al contorno. Ciò potrebbe essere dovuto a lenti di materiale ghiaioso più o meno compatto; l'assenza di sondaggi geognostici vicini alla linea non ha permesso di vincolare le indagini da un punto di vista lito-stratigrafico.

5.2 Area Paola

Il settore settentrionale dell'area è stato indagato con la MASW3 e HVS3 che hanno evidenziato la presenza di basamento sismico a circa 24 m dal p.c., attribuendo una categoria di suolo tipo **B** all'area indagata.

Il settore centrale è stato investigato attraverso le tomografie sismiche SRT3 SRT4 e la DH04 che mostrano un graduale aumento delle velocità con la profondità con la presenza di materiale meno compatto nel settore finale della tomografia SRT3 in cui, solo a circa 13 m dal p.c. le Vs aumentano da 350 a 400 m/s. Inoltre, l'indagine DH ha restituito la presenza di basamento sismico a circa 31 m di profondità, per cui la Vs equivalente è stata calcolata nei primi 30 m dal p.c..

Nel settore meridionale dell'area, sono state effettuate tre indagini di sismica a rifrazione (SRT5 SRT6 SRT7), una DH, una indagine MASW e una HVS3. La tomografia sismica SRT7 risulta essere caratterizzata da velocità sismiche più basse rispetto a quelle ottenute dalle altre tomografie; i valori ed i Vp e Vs, infatti, non superano i 2000 m/s e 450 m/s, rispettivamente. Il sondaggio geognostico SGN07 mostra, infatti, la presenza di argilla limosa e argilla sabbiosa probabilmente caratterizzate da un basso grado di compattazione. Le tomografie SRT5 e SRT6 mostrano un graduale aumento delle velocità sismiche con la profondità, anche se, nel settore finale della SRT6 le velocità sismiche risultano più basse dell'intero stendimento suggerendo la presenza di materiale argilloso meno compatto.

Le indagini SRT, in accordo con l'indagine DH, non mostrano la presenza di basamento sismico entro i primi 50 m dal p.c.. La DH mostra un netto aumento delle Vs a circa 5 m dal p.c. identificato dal passaggio tra limo argilloso e argilla marnoso-sabbiosa; tale indagine non intercettando il basamento sismico, restituisce una Vs equivalente di 448 m/s, calcolata da inizio bocca-foro.

	<p>LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p>												
<p>INDAGINI GEOFISICHE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03 R 69</td> <td>IG</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>35 di 39</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC1C	03 R 69	IG	GE0005 001	A	35 di 39
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC1C	03 R 69	IG	GE0005 001	A	35 di 39								

Le indagini MASW4 e HVSR4 sono ubicate nel settore più meridionale dell'area Paola, a una distanza dalla linea di costa di circa 78 m.

L'indagine MASW mostra un graduale aumento delle velocità con la profondità, in particolare a circa 9 e 26 m dal p.c.; la MASW, non evidenziando la presenza di basamento sismico, ha restituito una categoria di suolo di tipo **B**. Tuttavia, il basamento è stato intercettato dall'indagine HVSR4 che lo attesta a circa 272 m dal p.c..

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC1C	LOTTO 03 R 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

6 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.

Aki K., Richards P. G., 1980. *Quantitative Seismology, Theory and Methods*. Geological Magazine, 118, 02, DOI: 10.1017/S0016756800034439.

Biot M. A., 1956. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. *Journal of the Acoustic Society of America*, 28, 2, 168-191.

Biot M. A., 1962. Mechanism of deformation and acoustic propagation in porous media. *Journal of Applied Physics*, 33, 4, 1482-1498.

Boadu F. K., 1997. Fractured rock mass characterization parameters and seismic properties: Analytical studies. *Journal of Applied Geophysics*, 36, 1-19.

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>.

Cessaro R.K., 1994. Sources of Primary and Secondary Microseisms. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 1, 142-148.

Dogliani C. (1993): Some remarks on the origin of foredeeps. *Tectonophysics*, 228, 1-2, 1-20.

Gutenberg, 1958. Two types of microseisms. *JGR*, 63, 3, 595-597.

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>.

Kahraman S., 2002. The effects of fracture roughness on P-wave velocity. *Engineering Geology*, 63, 347-350.

Klimentos T. & McCann C., 1990. Relationships among compressional wave attenuation, porosity, clay content, and permeability in sandstones. *Geophysics*, 55, 8, 998-1014.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>LINEA COSENZA-PAOLA NUOVA LINEA AV SALERNO – REGGIO CALABRIA RADDOPPIO E VELOCIZZAZIONE TRATTA COSENZA – S. LUCIDO/PAOLA PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA</p>												
<p>INDAGINI GEOFISICHE</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RC1C</td> <td>03 R 69</td> <td>IG</td> <td>GE0005 001</td> <td>A</td> <td>37 di 39</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RC1C	03 R 69	IG	GE0005 001	A	37 di 39
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RC1C	03 R 69	IG	GE0005 001	A	37 di 39								

Kovallis B. J., Jones L. E. & Wang H. F., 1984. Velocity Porosity Clay content systematics of poorly consolidated sandstones. *Journal of Geophysical Resaerch*, 89, B12, 10355-10364.

Leucci G. & De Giorgi L., 2004. Studio degli effetti delle fratture sulla variazione di velocità di propagazione delle onde P ed S nelle calcareniti. *Atti del 22° Convegno Nazionale GNGTS*.

Liu Z., Rector J. W., Nihei K. T., Tomusa L., Myer L. R. & Nakagawa S., 2001. Extensional wave attenuation and velocity in partially-saturated sand in the sonic frequency range. *EG Technical Program Expanded Abstracts 2001*, 1808-1811. DOI:10.1190/1.1816479.

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.

Wyllie M. R., Gregory A. R. & Gardner G. H., 1962. Studies of elastic wave attenuation in porous media. *Geophysics*, 27, 3, 569-589.

Wyllie M. R., Gregory A. R., & Gardner G. H., 1963. Addendum to "Studies of elastic wave attenuation in porous media". *Geophysics*, 28, 6, 1074-1074.

Wyllie M. R., Gregory, A. R. & Gardner G. H., 1985. An experimental investigation of factors affecting elastic wave velocities in porous media. *Geophysics*, 23, 3, 459-493.

ALLEGATI

	TEST REPORT	1/4
	MASW	

CLIENTE	Anas	
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.	
UBICAZIONE	Cosenza (CS)	
NOME TEST	MASW 1	
DATA DI ESECUZIONE	15/06/2021	
COORDINATE	Lat.	39°22'34.44"N
	Long.	16°14'14.12"E





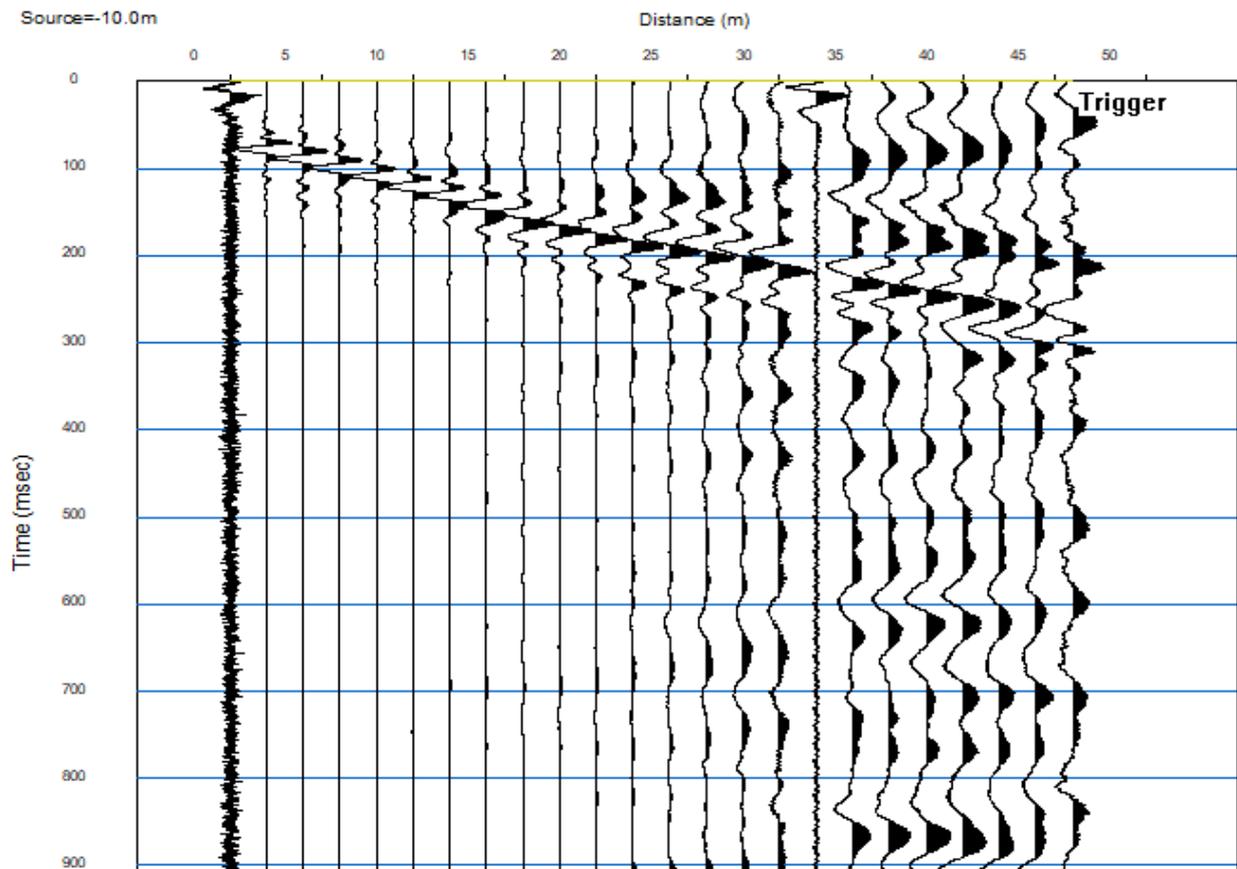
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE:	Cosenza (CS)		
NOME TEST	MASW 1		
DATA DI ESECUZIONE	15/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°22'34.44"N	
	Long.	16°14'14.12"E	

SISMOGRAMMA





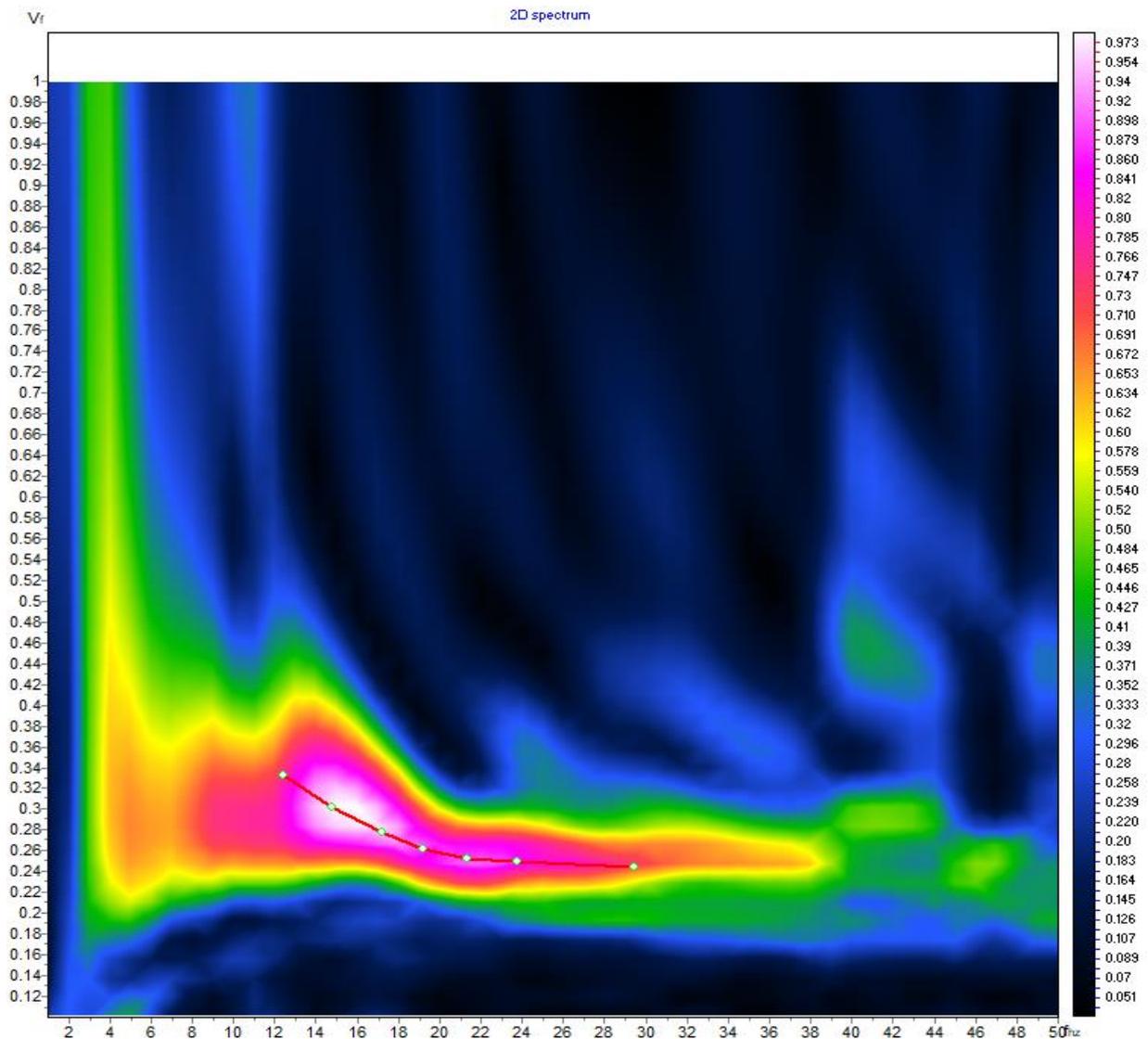
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE:	Cosenza (CS)		
NOME TEST	MASW 1		
DATA DI ESECUZIONE	15/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°22'34.44"N	
	Long.	16°14'14.12"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

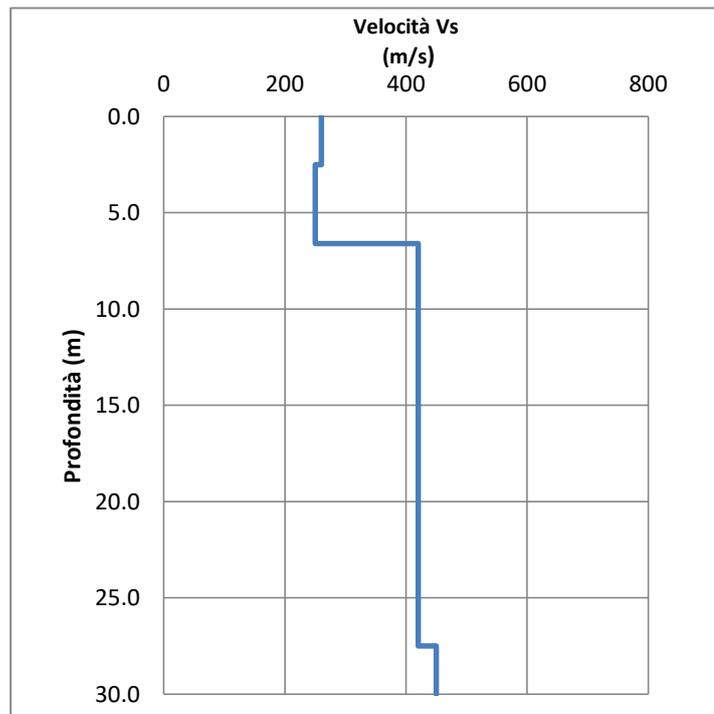
MASW

CLIENTE:	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE:	Cosenza (CS)		
NOME TEST:	MASW 1		
DATA DI ESECUZIONE	15/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°22'34.44"N	
	Long.	16°14'14.12"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.50	2.50	260.00
2	2.50	6.60	4.10	250.00
3	6.60	27.50	20.90	420.00
4	27.50	inf.	inf.	450.00

Vs eq (0 -30)	369
Suolo	-



	TEST REPORT	1/4
	MASW	

CLIENTE	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE	Cosenza (CS)		
NOME TEST	MASW 2		
DATA DI ESECUZIONE	15/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°22'50.35"N	
	Long.	16°13'40.50"E	





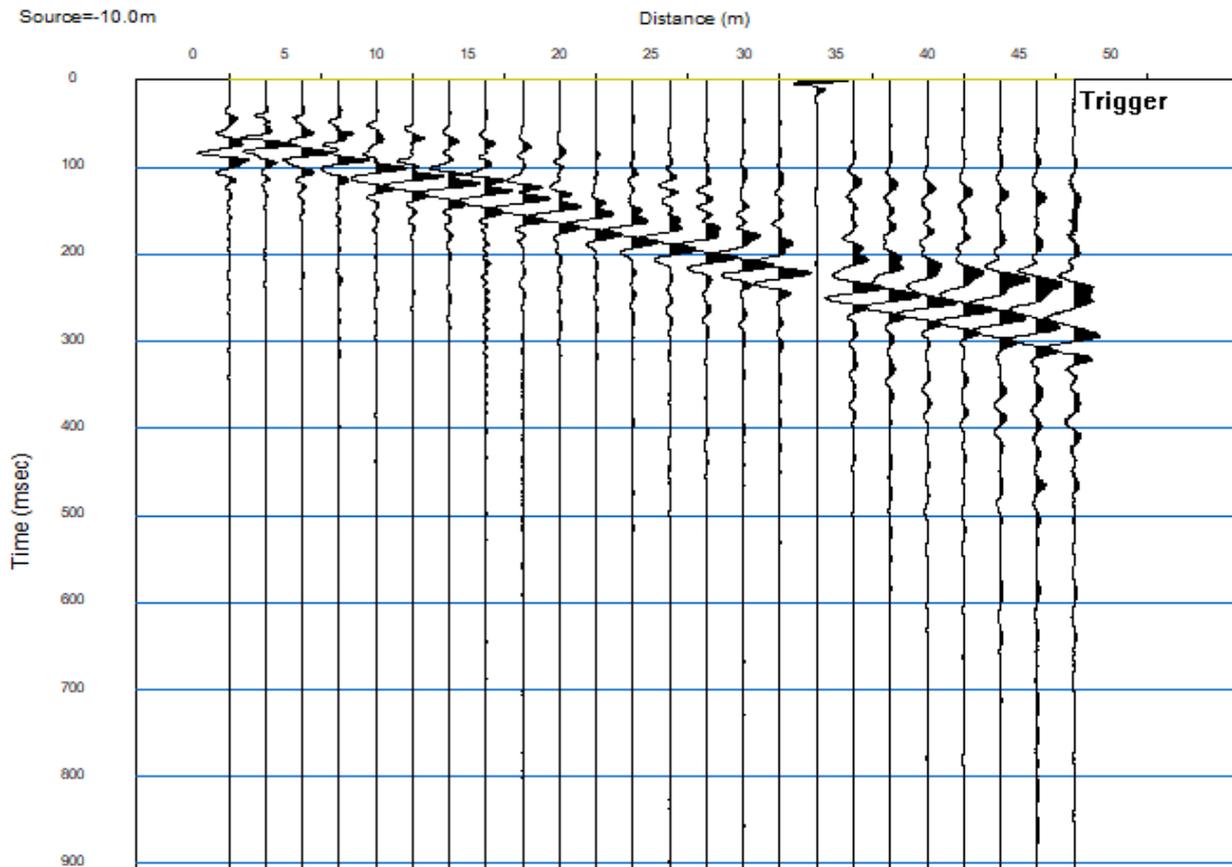
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE:	Cosenza (CS)		
NOME TEST	MASW 2		
DATA DI ESECUZIONE	15/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°22'50.35"N	
	Long.	16°13'40.50"E	

SISMOGRAMMA





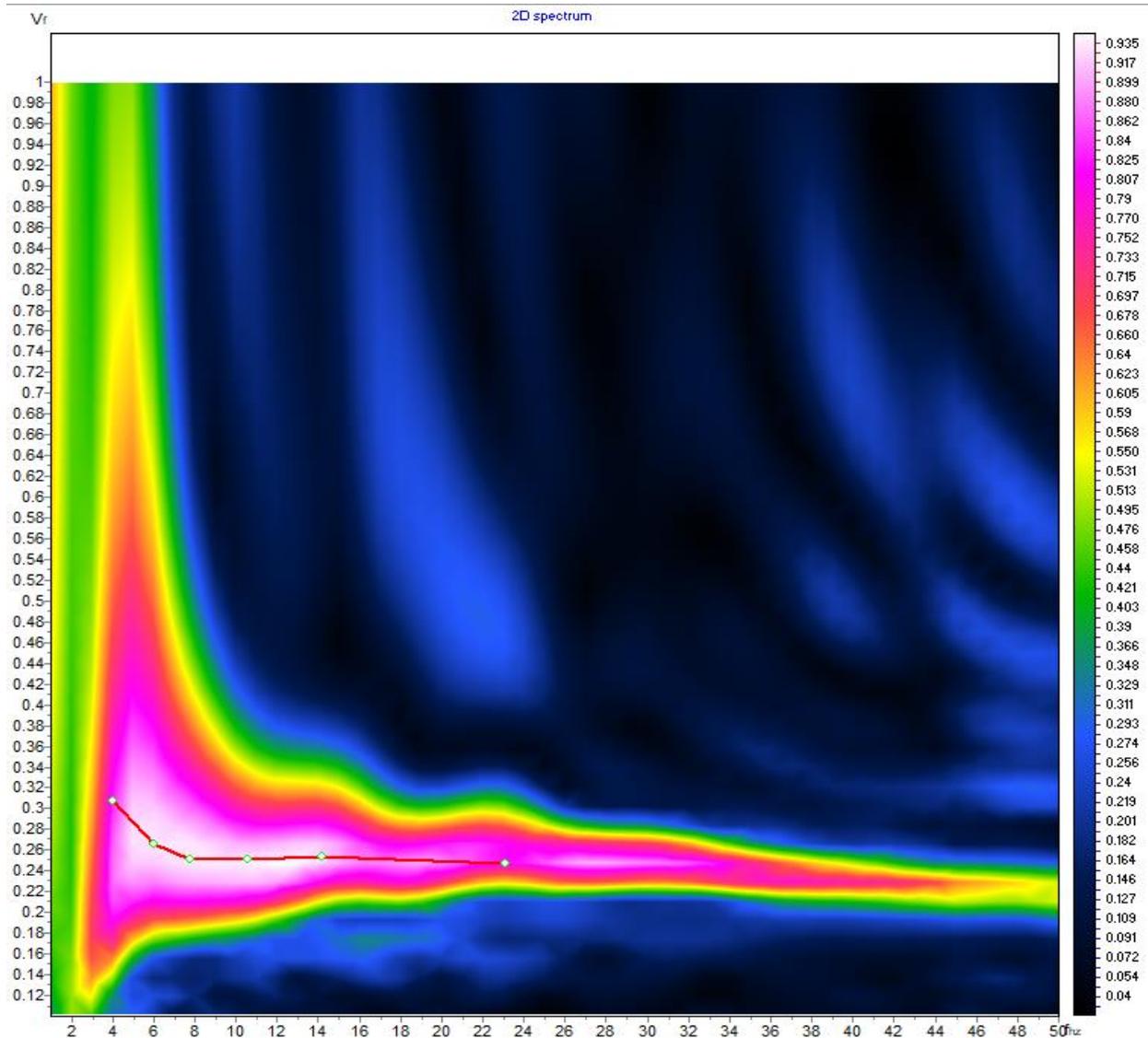
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE:	Cosenza (CS)		
NOME TEST	MASW 2		
DATA DI ESECUZIONE	15/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°22'50.35"N	
	Long.	16°13'40.50"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

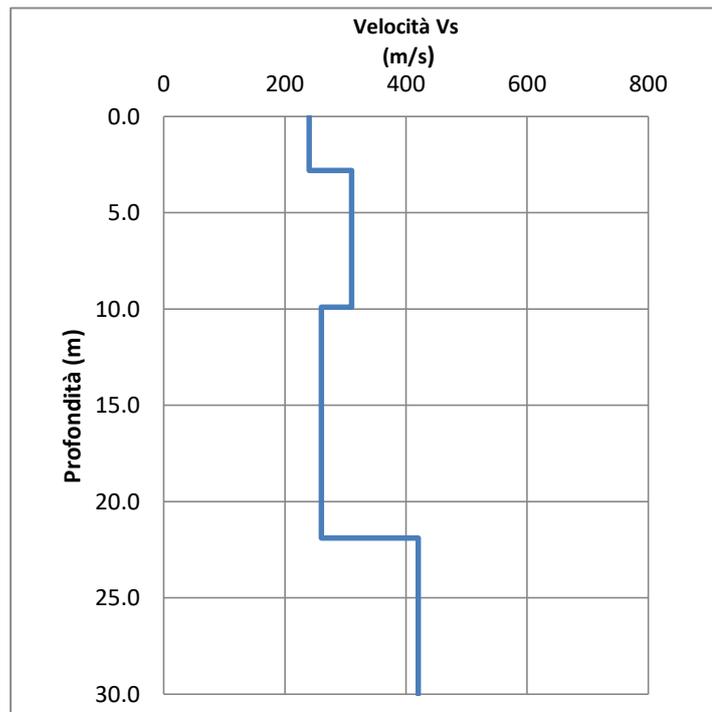
MASW

CLIENTE:	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE:	Cosenza (CS)		
NOME TEST:	MASW 2		
DATA DI ESECUZIONE	15/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°22'50.35"N	
	Long.	16°13'40.50"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.80	2.80	240.00
2	2.80	9.90	7.10	310.00
3	9.90	21.90	12.00	260.00
4	21.90	inf.	inf.	420.00

Vs eq (0 - 30)	300
Suolo	-



	TEST REPORT	1/4
	MASW	

CLIENTE	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE	Paola (CS)		
NOME TEST	MASW 3		
DATA DI ESECUZIONE	14/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°20'57.03"N	
	Long.	16° 2'14.73"E	





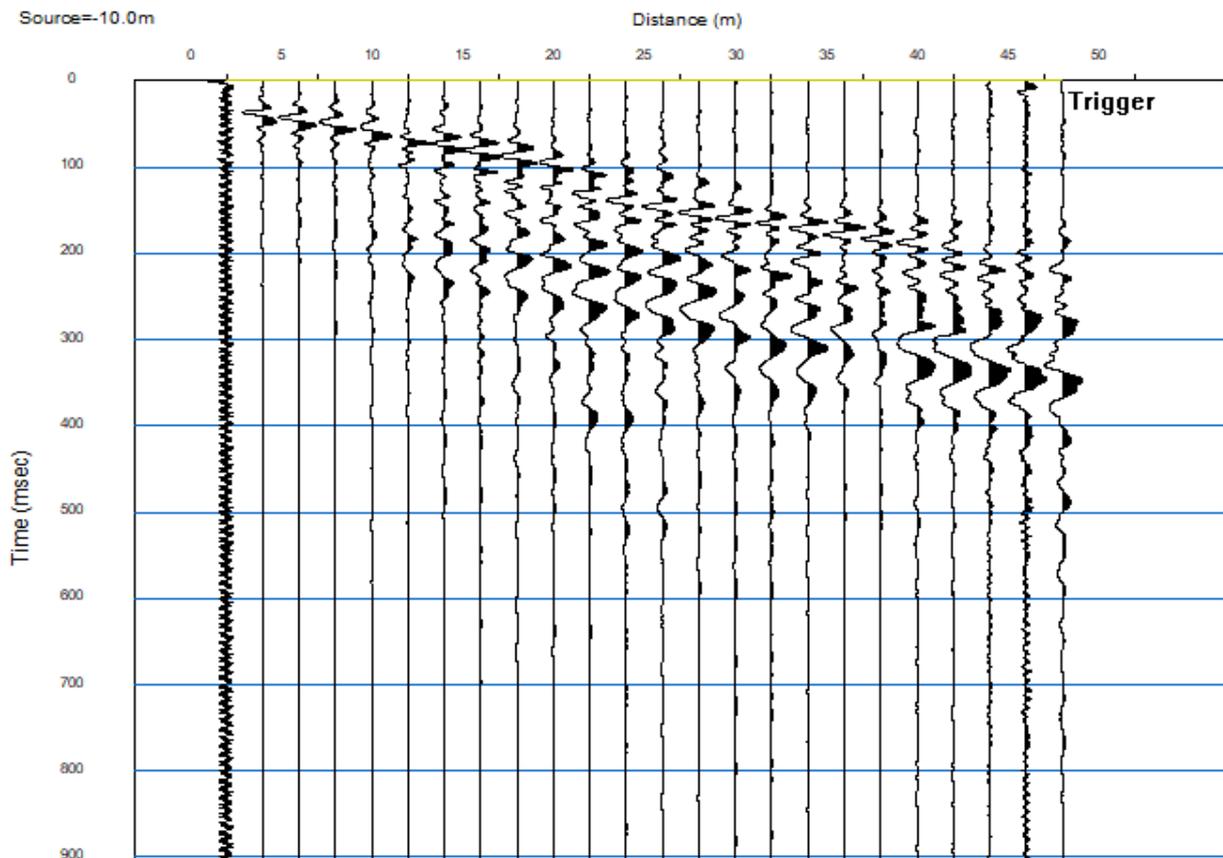
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE:	Paola (CS)		
NOME TEST	MASW 3		
DATA DI ESECUZIONE	14/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°20'57.03"N	
	Long.	16° 2'14.73"E	

SISMOGRAMMA





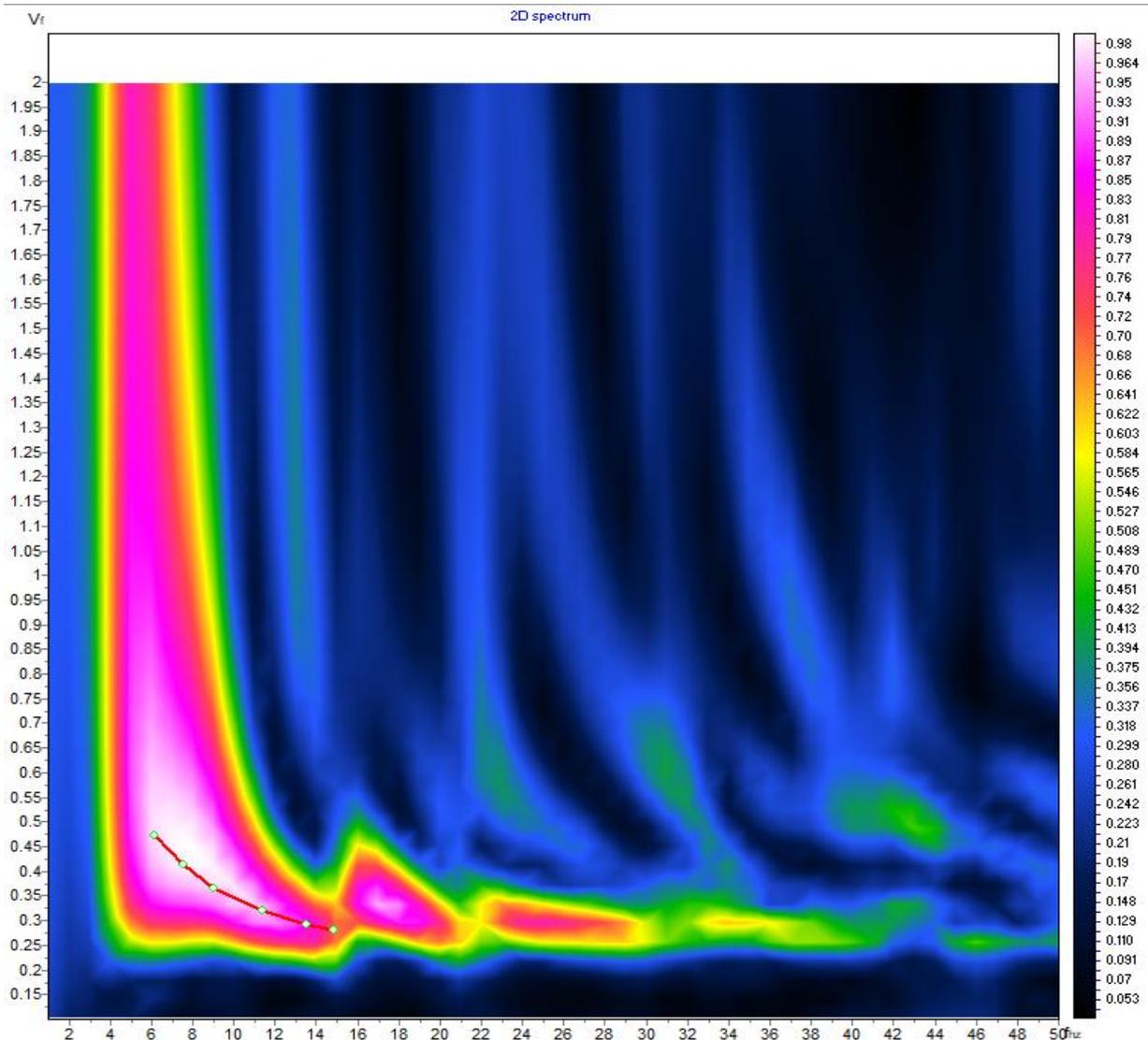
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE:	Paola (CS)		
NOME TEST	MASW 3		
DATA DI ESECUZIONE	14/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°20'57.03"N	
	Long.	16° 2'14.73"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

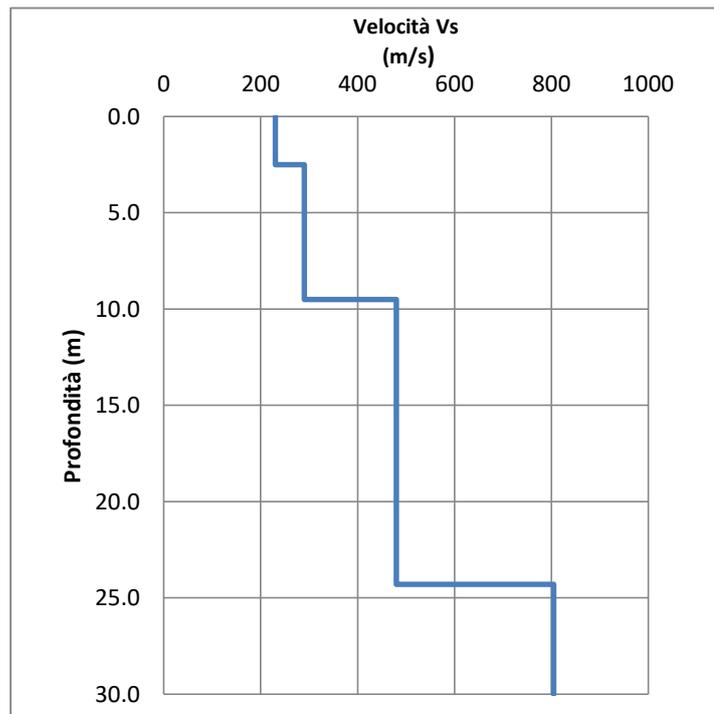
MASW

CLIENTE:	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE:	Paola (CS)		
NOME TEST:	MASW 3		
DATA DI ESECUZIONE	14/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°20'57.03"N	
	Long.	16° 2'14.73"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.50	2.50	230.00
2	2.50	9.50	7.00	290.00
3	9.50	24.30	14.80	480.00
4	24.30	inf.	inf.	805.00

Vs eq (0-24.3) **369**
Suolo **B**



	TEST REPORT	1/4
	MASW	

CLIENTE	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE	Paola (CS)		
NOME TEST	MASW 4		
DATA DI ESECUZIONE	14/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°19'55.57"N	
	Long.	16° 2'29.83"E	





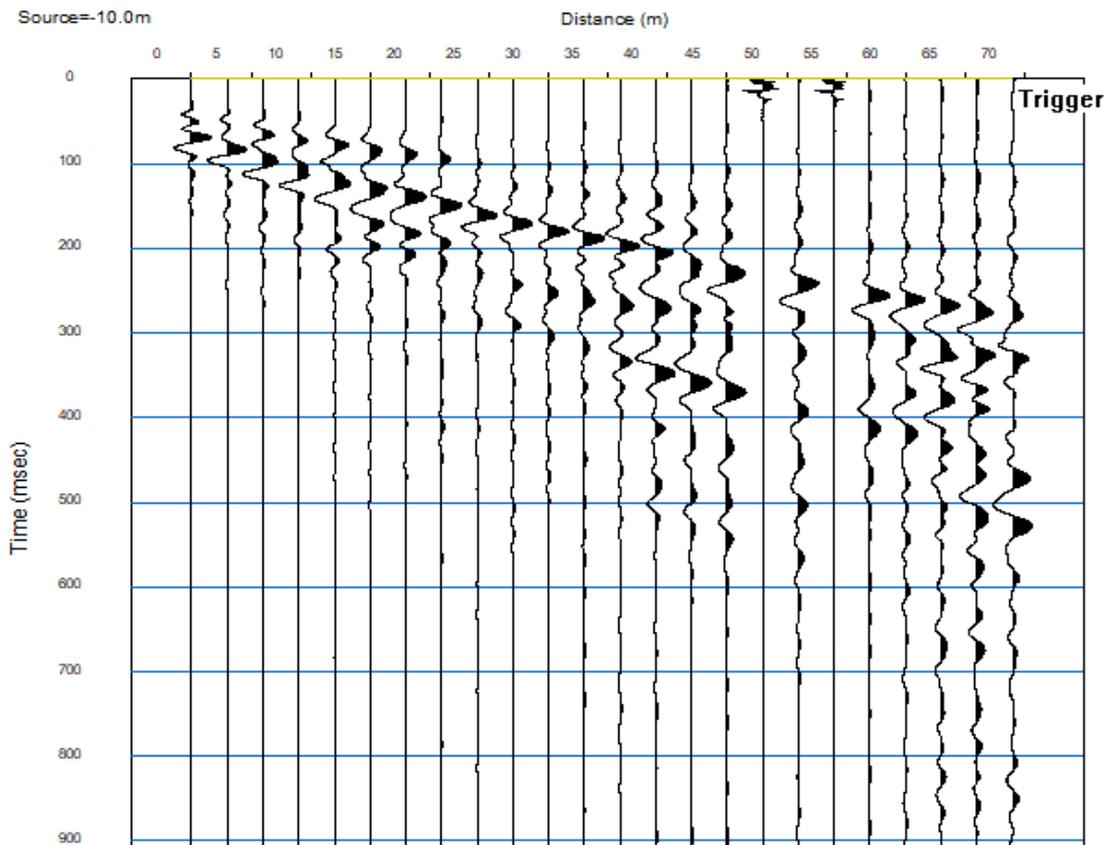
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE:	Paola (CS)		
NOME TEST	MASW 4		
DATA DI ESECUZIONE	14/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°19'55.57"N	
	Long.	16° 2'29.83"E	

SISMOGRAMMA





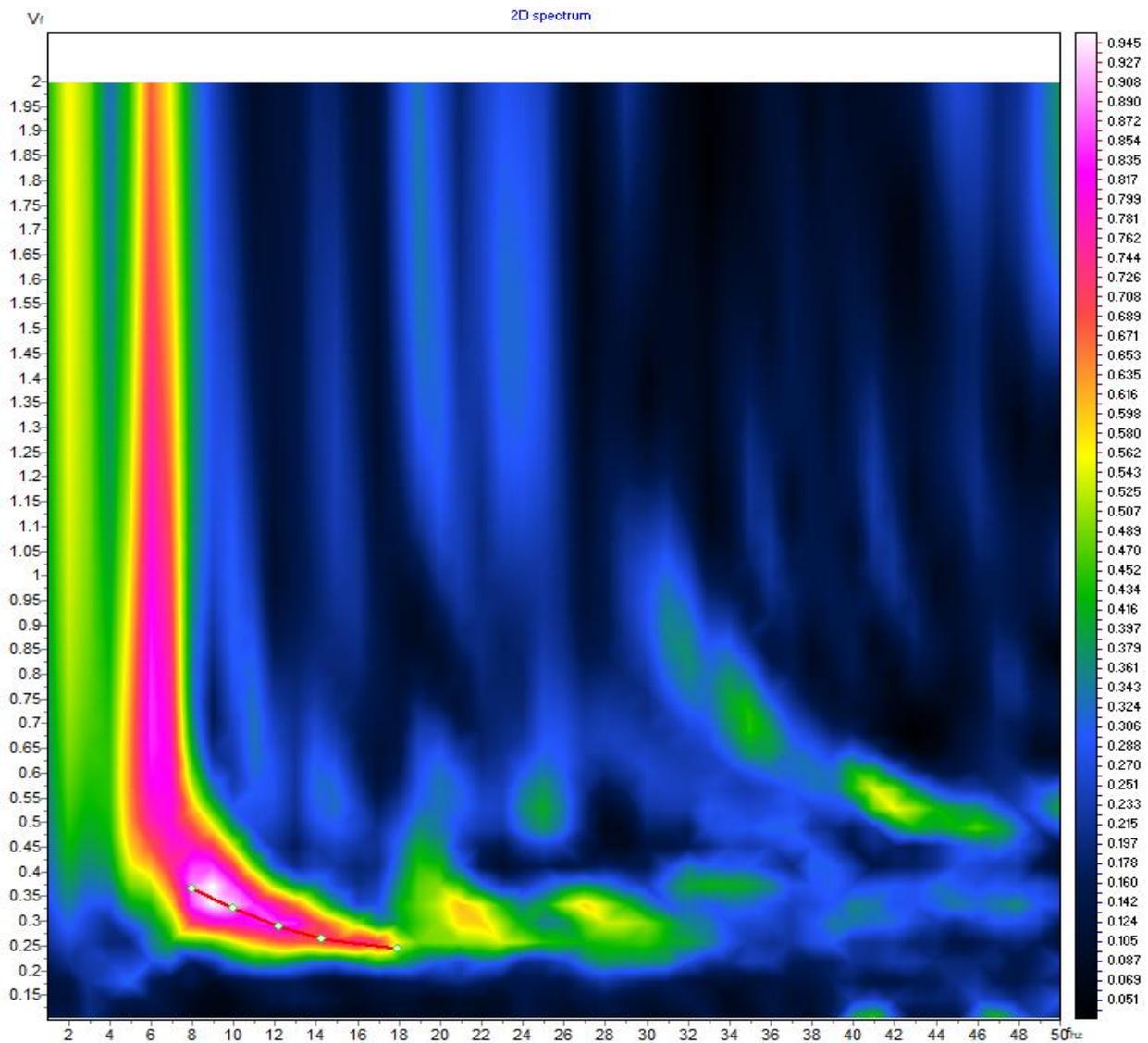
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE:	Paola (CS)		
NOME TEST	MASW 4		
DATA DI ESECUZIONE	14/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°19'55.57"N	
	Long.	16° 2'29.83"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

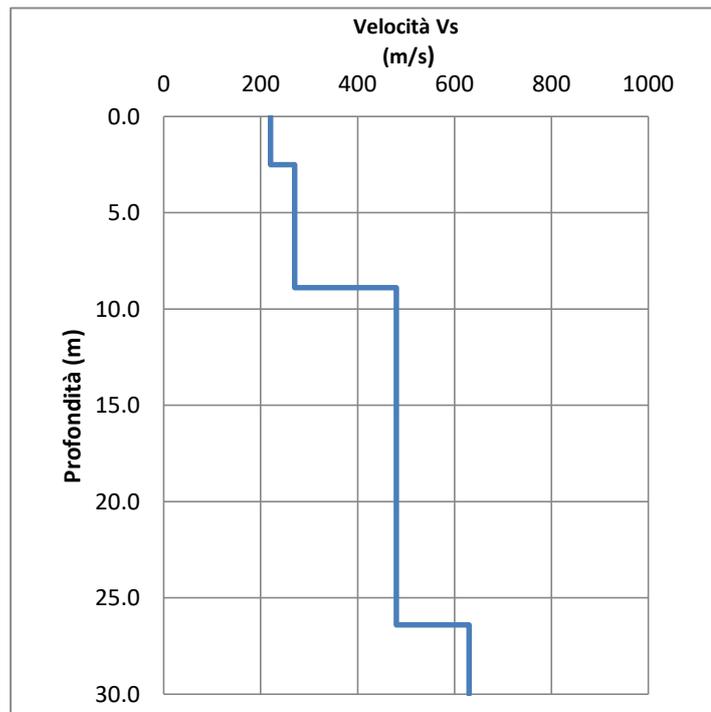
MASW

CLIENTE:	Anas		
LAVORO:	Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria - Tratta Cosenza-Paola - indagini geofisiche.		
UBICAZIONE:	Paola (CS)		
NOME TEST:	MASW 4		
DATA DI ESECUZIONE	14/06/2021		
COORDINATE	Lat.	39°19'55.57"N	
	Long.	16° 2'29.83"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.50	2.50	220.00
2	2.50	8.90	6.40	270.00
3	8.90	26.40	17.50	480.00
4	26.40	inf.	inf.	630.00

Vs eq (0 -30) **388**
Suolo **B**



Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria – Tratta Cosenza-Paola

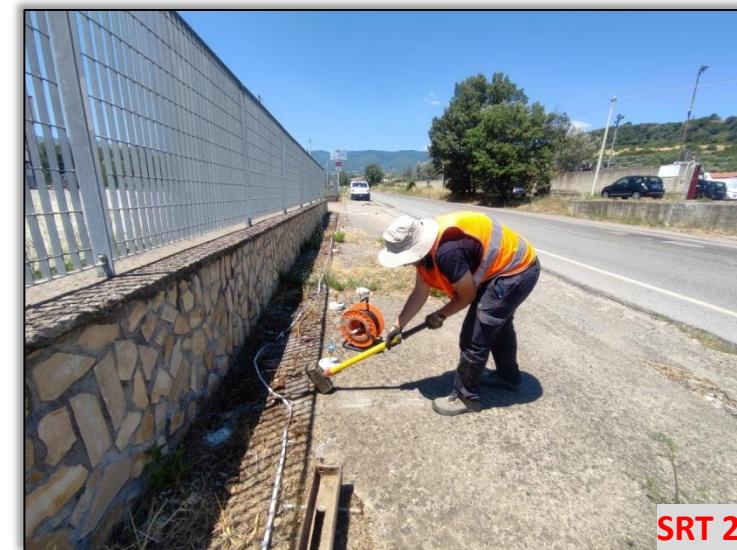
Indagini geofisiche.

EMISSIONE: Rev.01
DATA: 06/10/2021

Elaborato	Verificato	Approvato
Paola Luiso	Donato Fiore	Massimo De Iasi
<i>Paola Luiso</i>	<i>Donato Fiore</i>	<i>Massimo De Iasi</i>

TAVOLA N°2

Ubicazione indagine Cosenza



Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:



Indagini:

SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

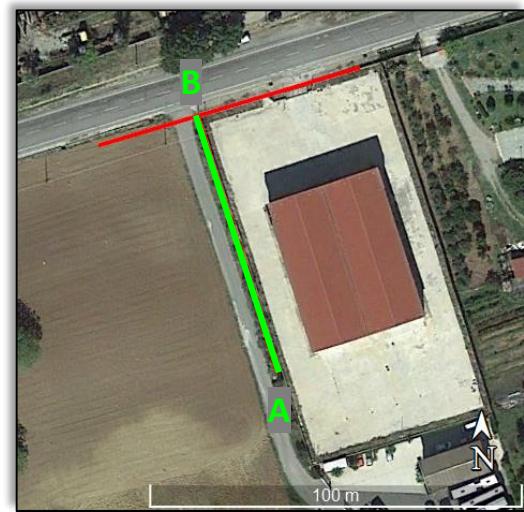
Elaborato: P. Luiso

Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi

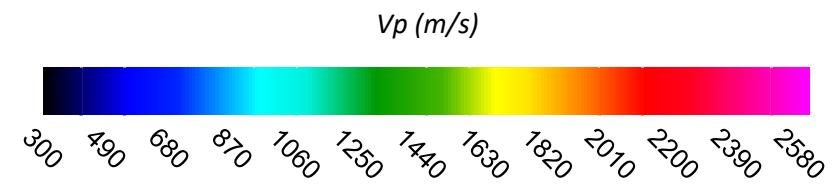


TAVOLA N°3

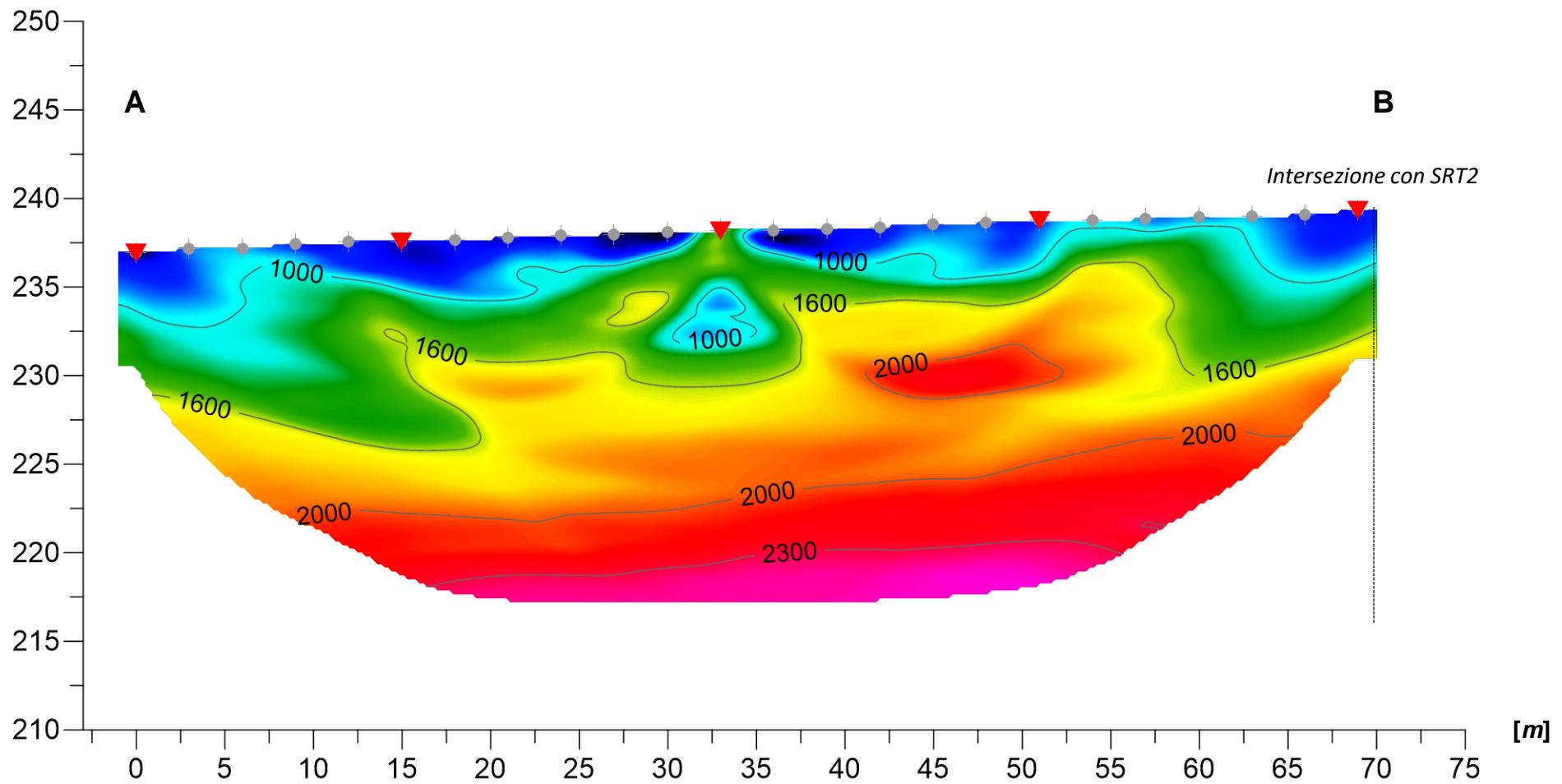
Tomografia sismica SRT1 – Onda P



Passo intergeofonico: 3 m



Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 350

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

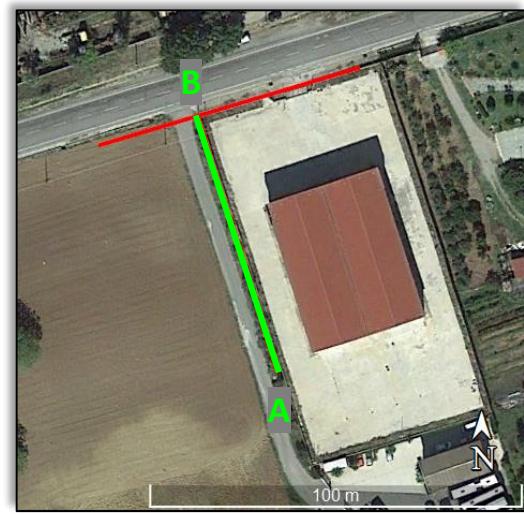
Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi

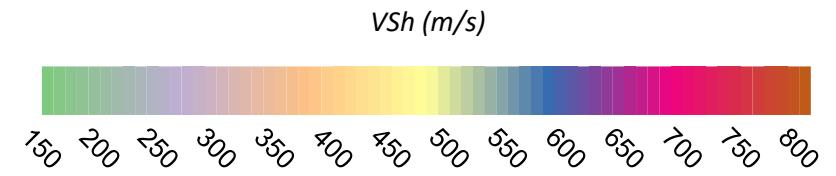


TAVOLA N°4

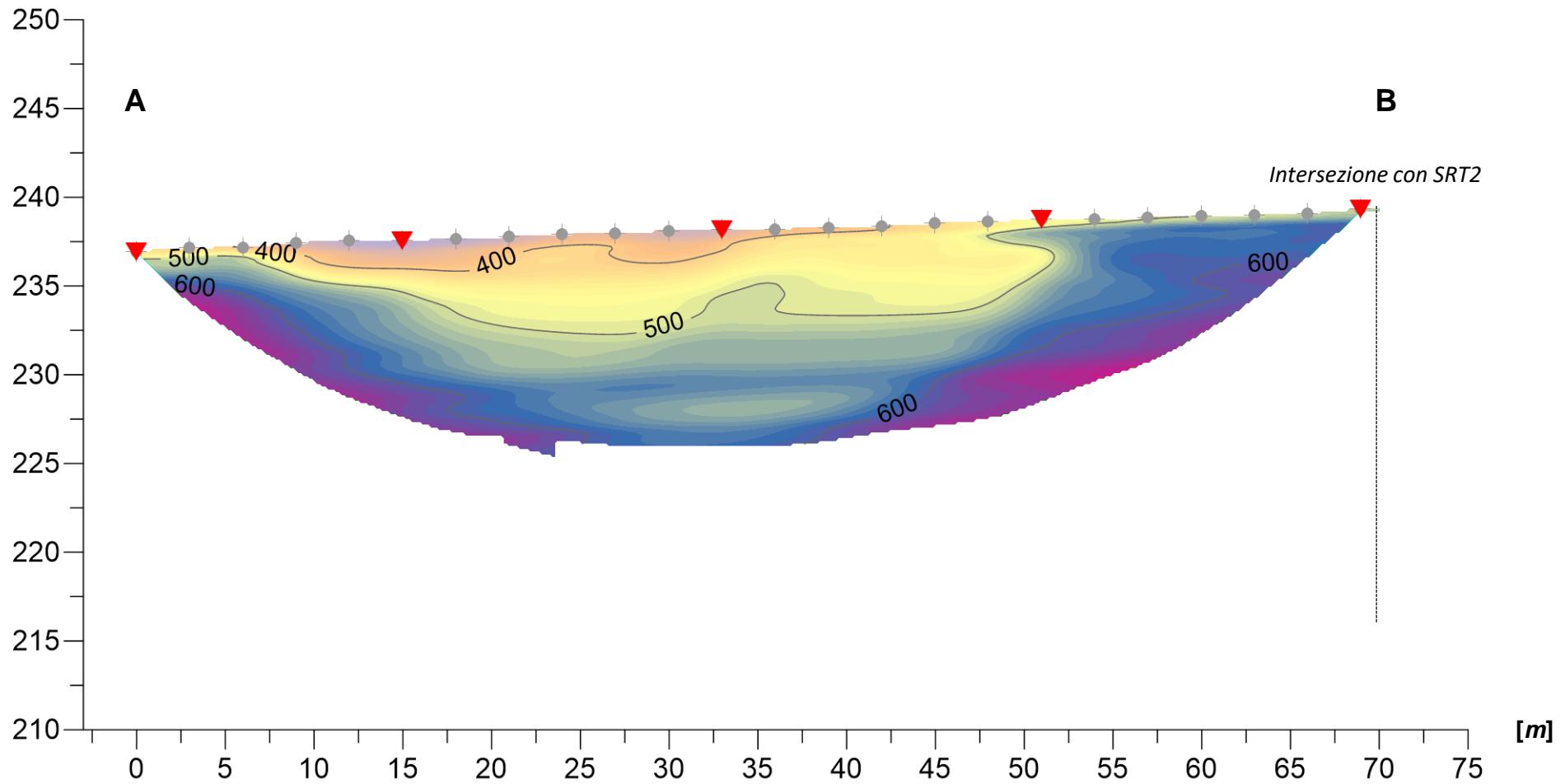
Tomografia sismica SRT1 – Onda Sh



Passo intergeofonico: 3 m



Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 350

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi

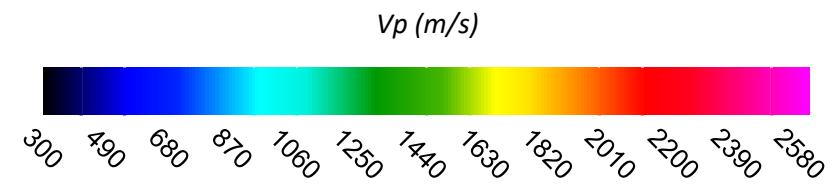


TAVOLA N°5

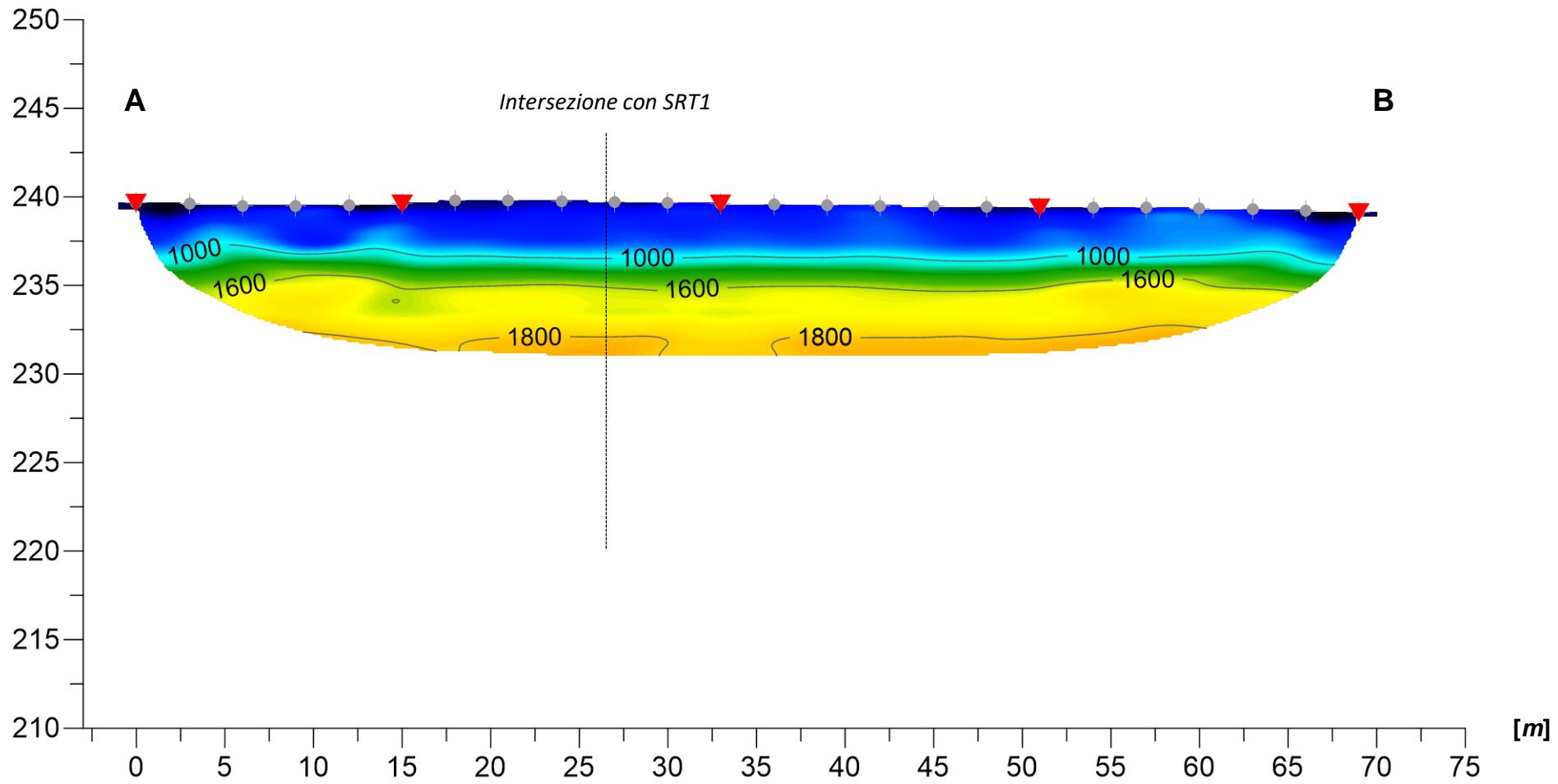
Tomografia sismica SRT2 – Onda P



Passo intergeofonico: 3 m



Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 350

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi

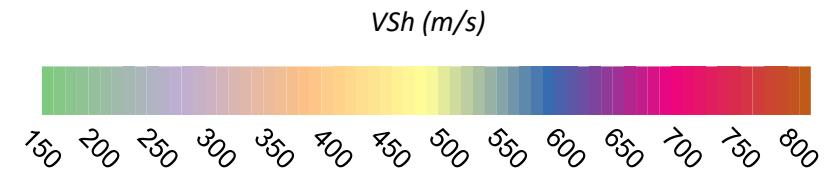


TAVOLA N°6

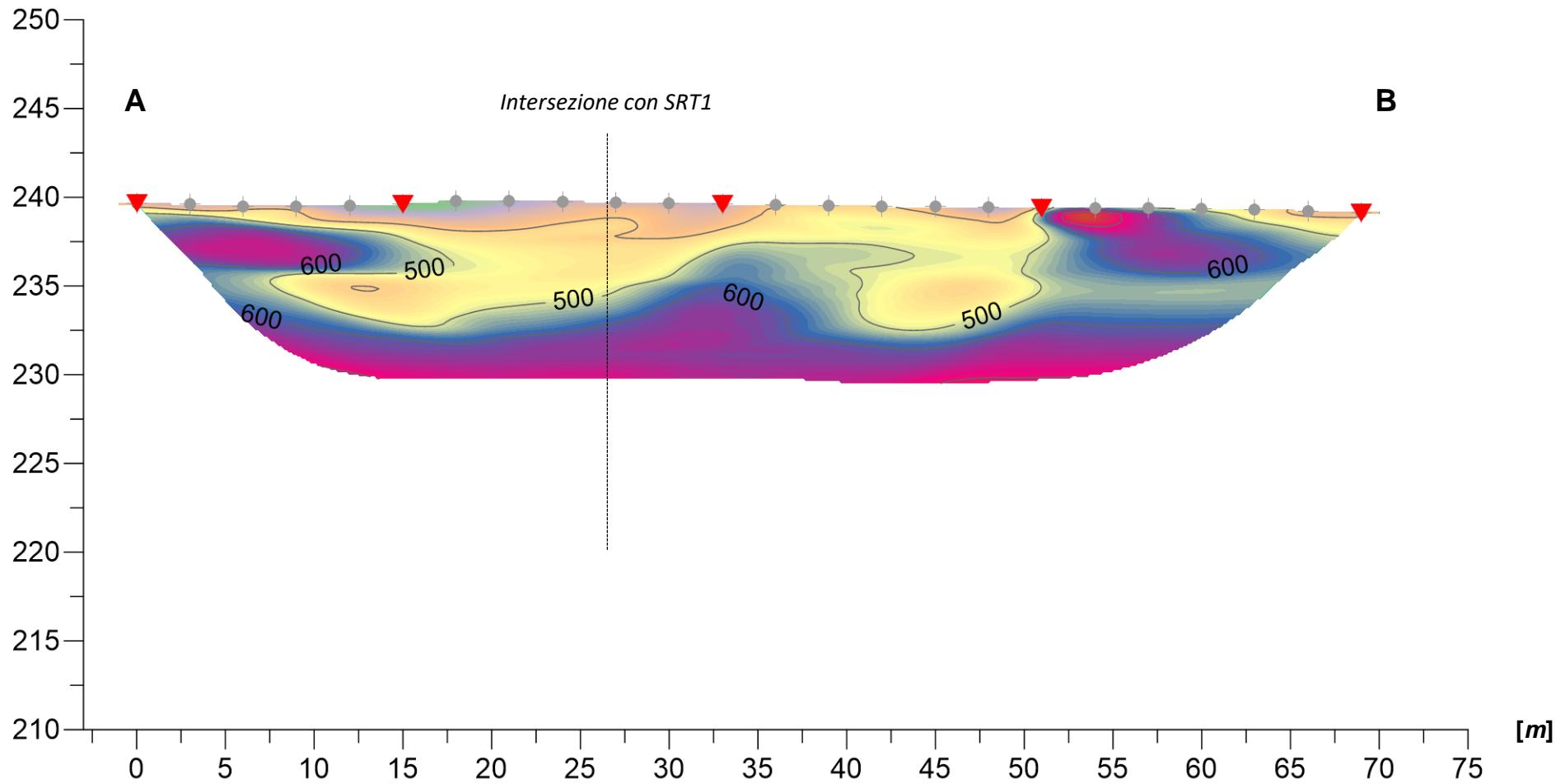
Tomografia sismica SRT2 – Onda Sh



Passo intergeofonico: 3 m



Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 350

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

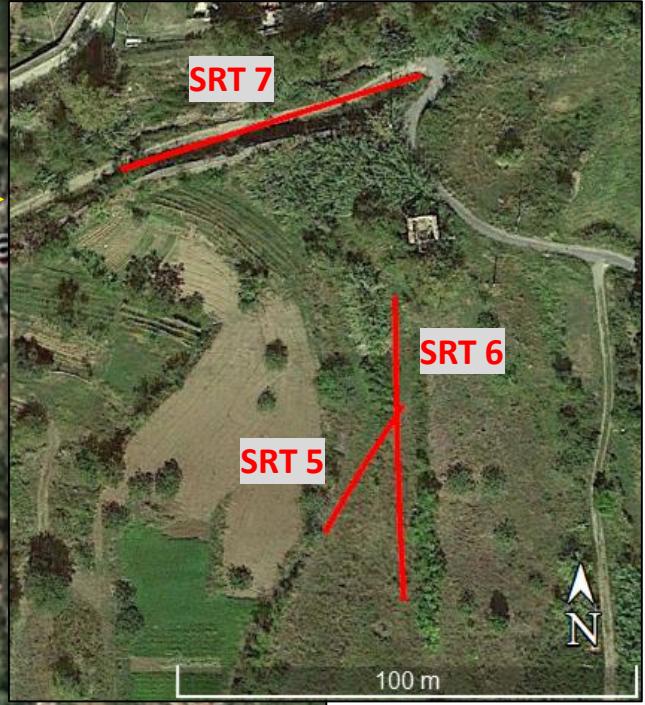
Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi



TAVOLA N°7

Ubicazione indagine Paola (CS)



Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:


Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi

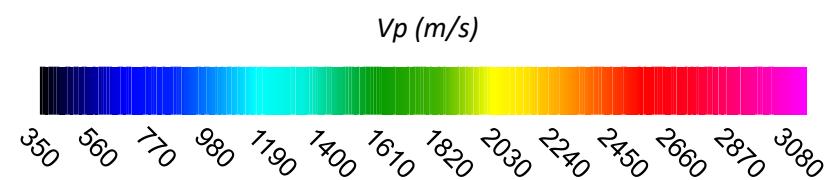


TAVOLA N°8

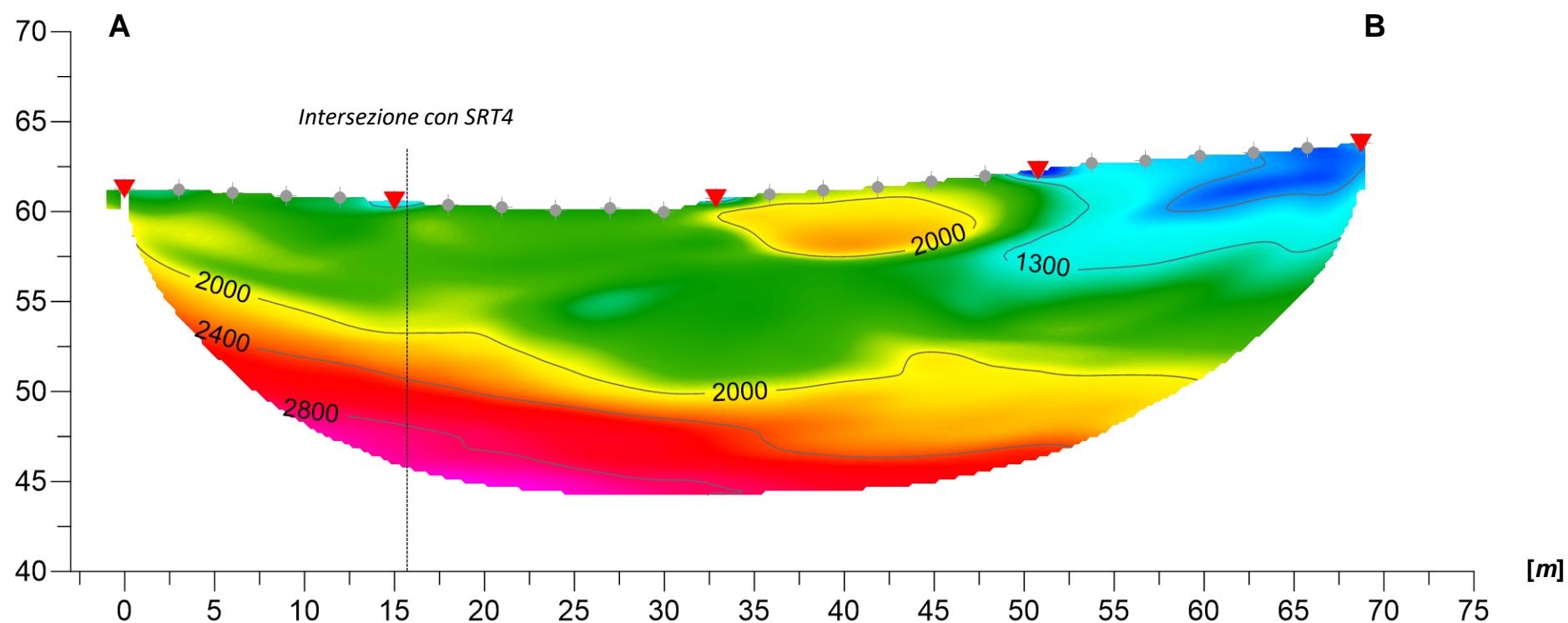
Tomografia sismica SRT3 – Onda P



Passo intergeofonico: 3 m



Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 350

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi

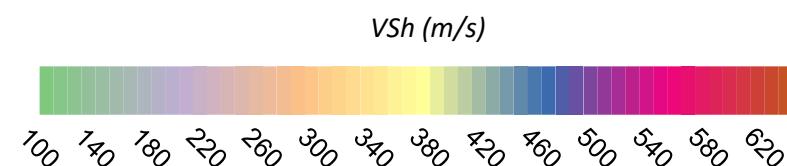


TAVOLA N°9

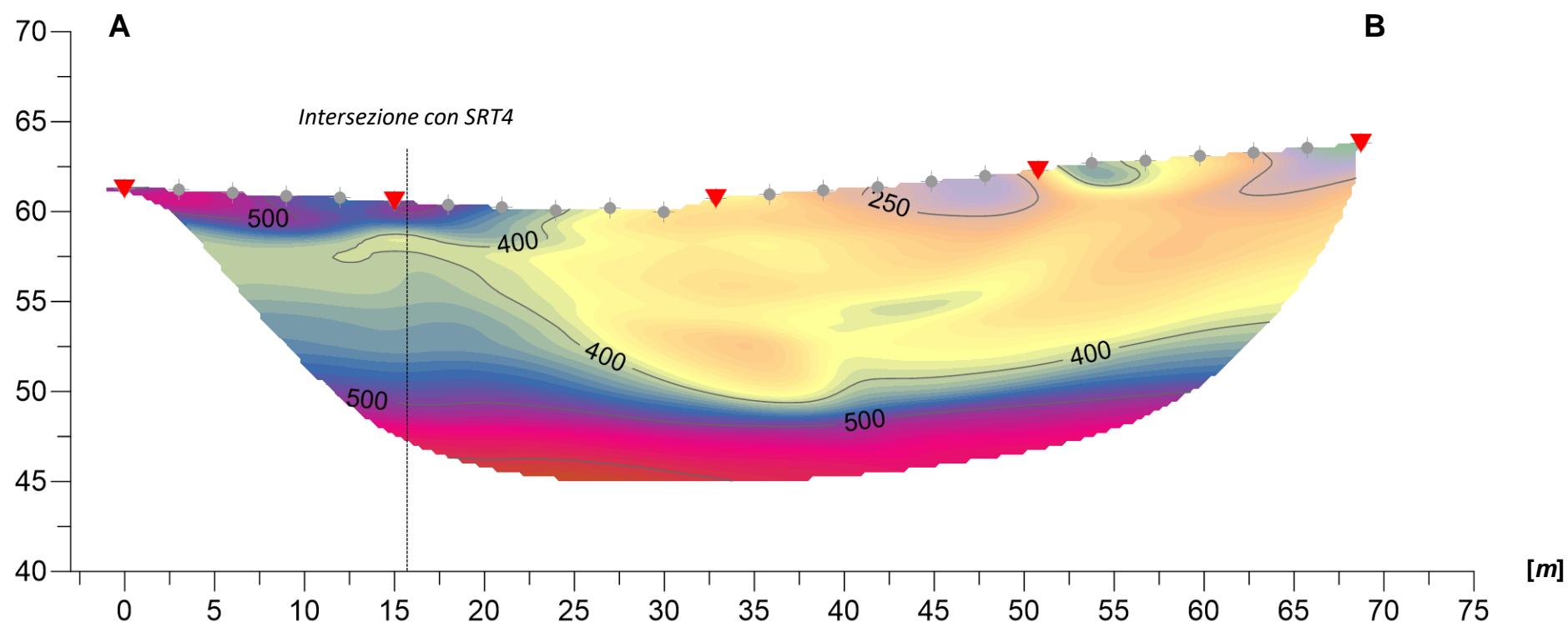
Tomografia sismica SRT3 – Onda Sh



Passo intergeofonico: 3 m



Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 350

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

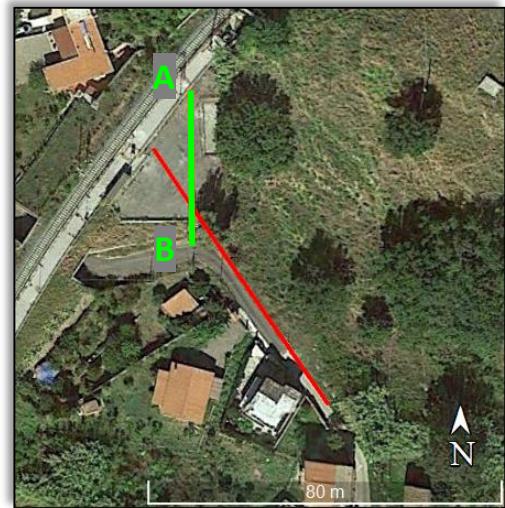
Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi

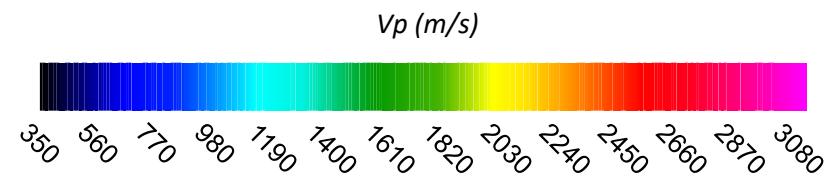


TAVOLA N°10

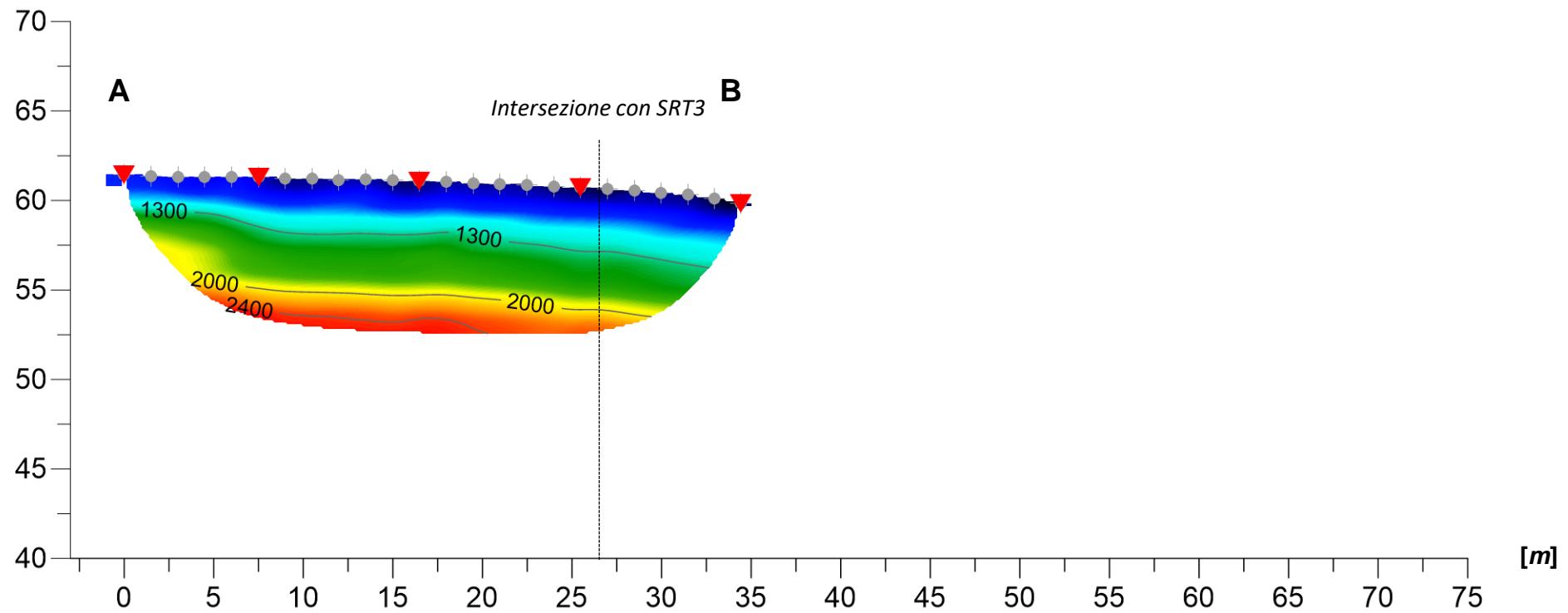
Tomografia sismica SRT4 – Onda P



Passo intergeofonico: 1.5 m



Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 350

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

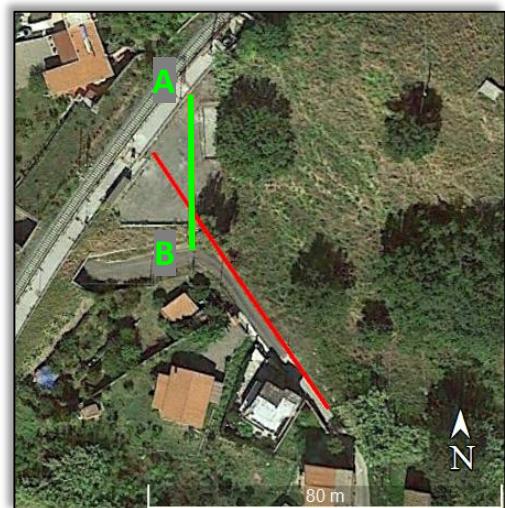
Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi

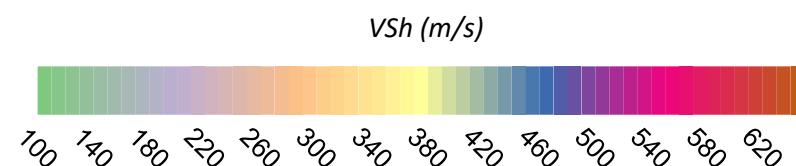


TAVOLA N°11

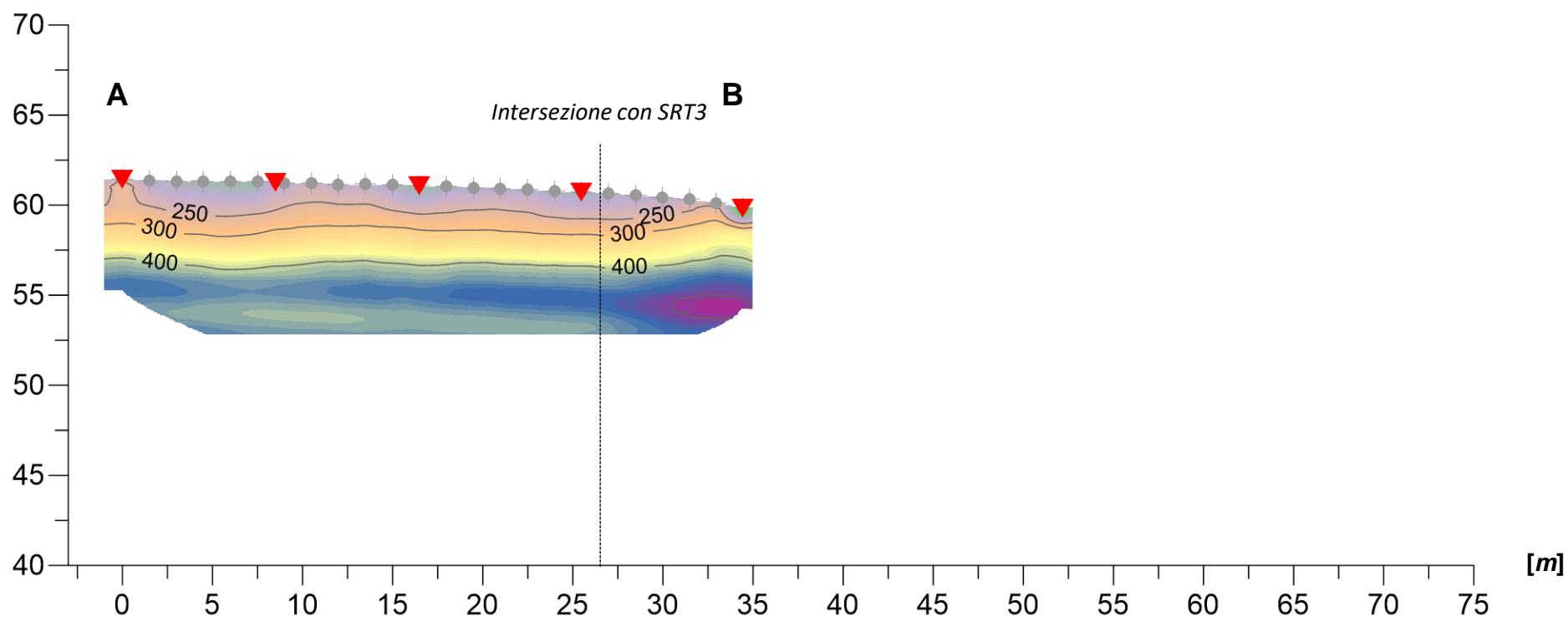
Tomografia sismica SRT4 – Onda Sh



Passo intergeofonico: 1.5 m



Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 350

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

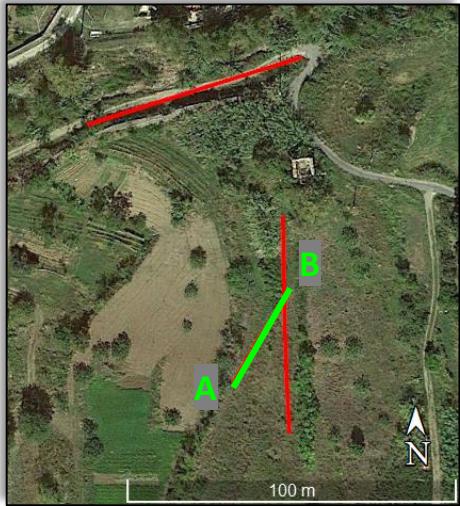
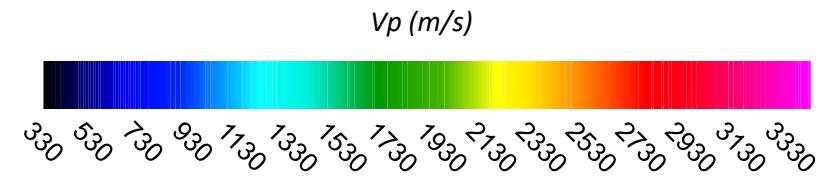
Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi



TAVOLA N°12

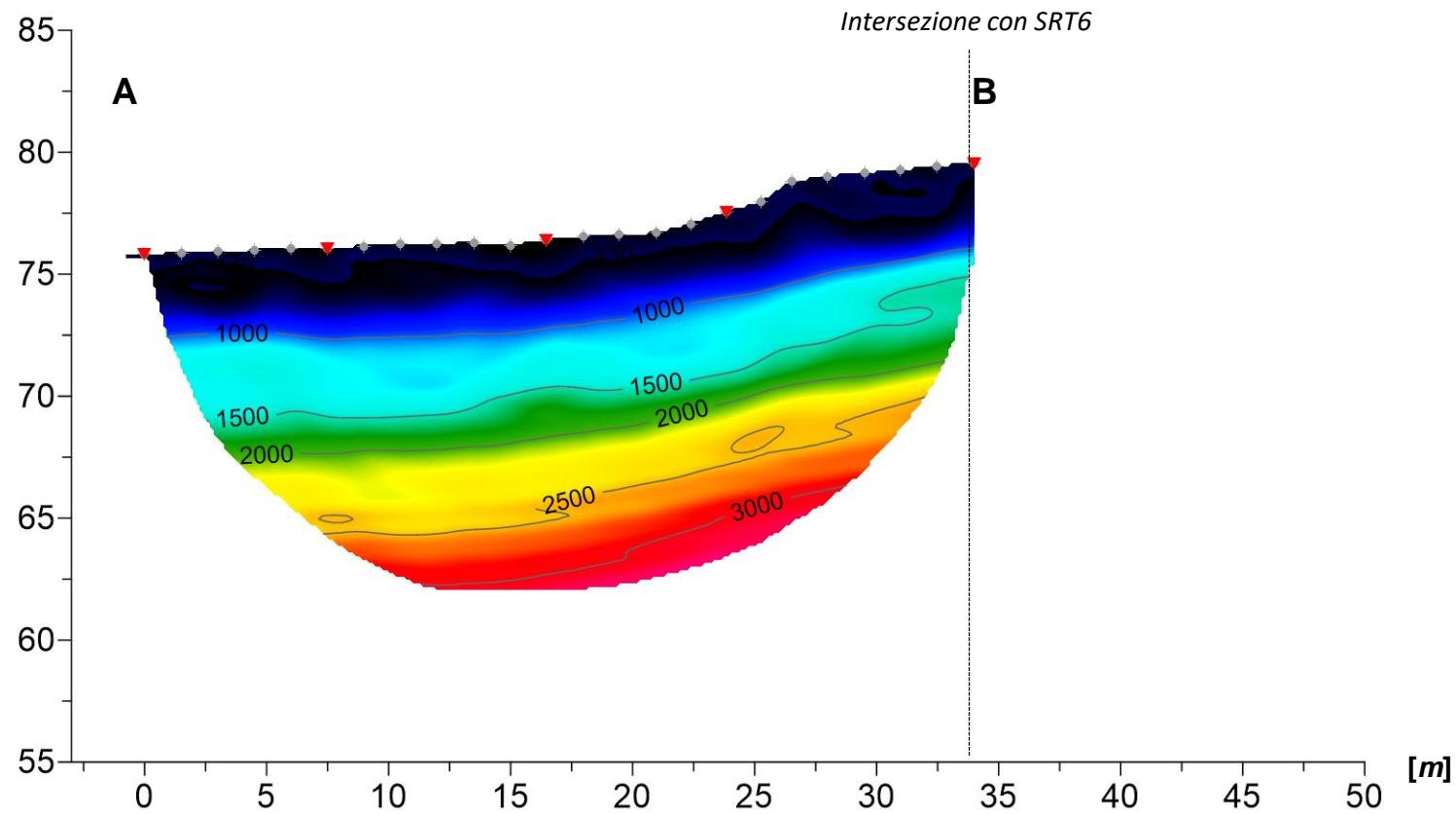
Tomografia sismica SRT5 – Onda P

Passo intergeofonico: 1.5 m



SRT5

Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 300

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

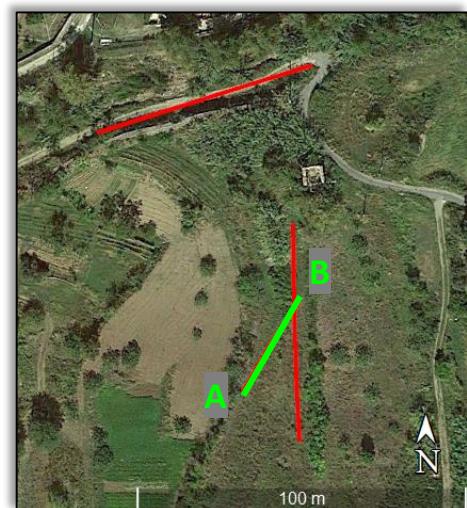

Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi

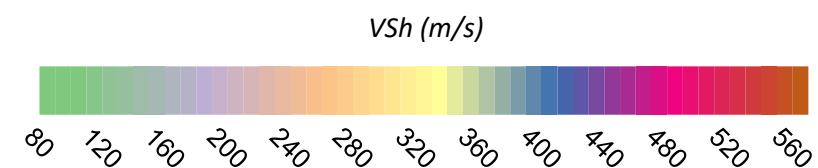


TAVOLA N°13

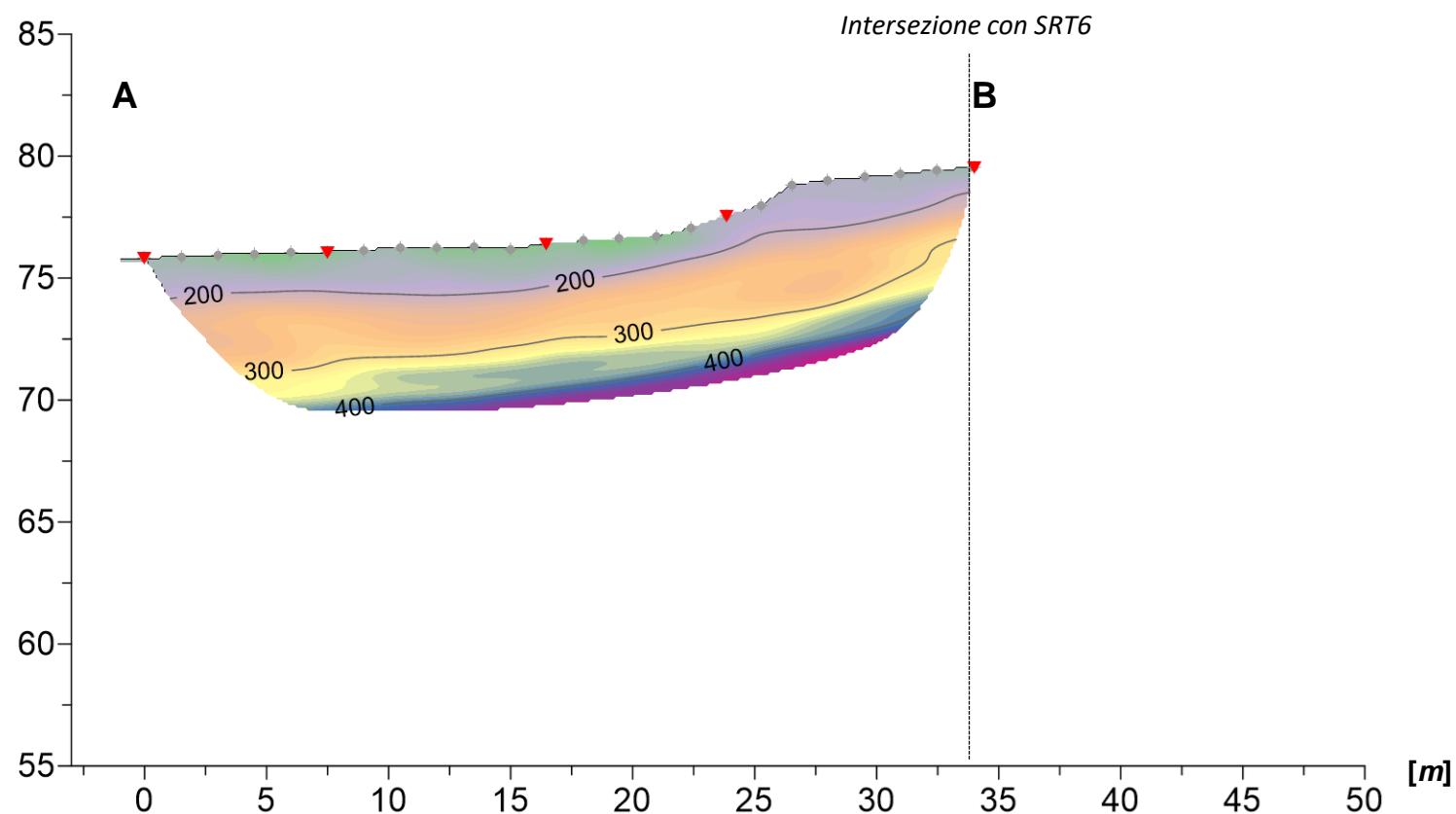
Tomografia sismica SRT5 – Onda Sh



Passo intergeofonico: 1.5 m



Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 300

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

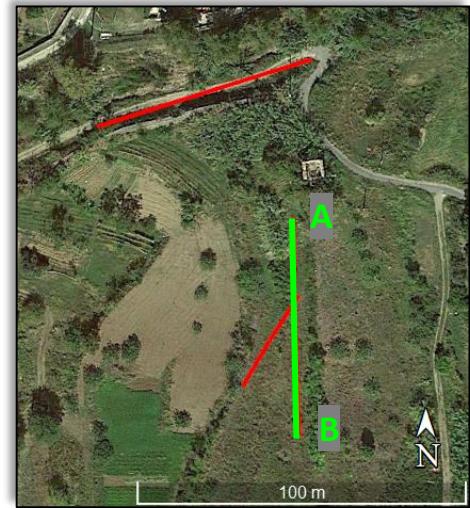
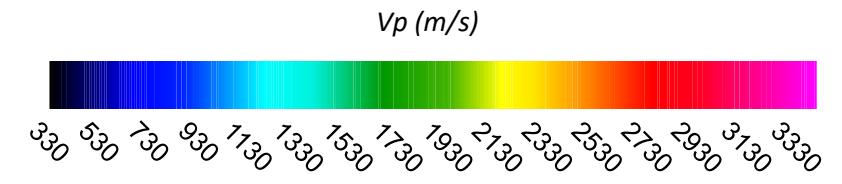
Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi



TAVOLA N°14

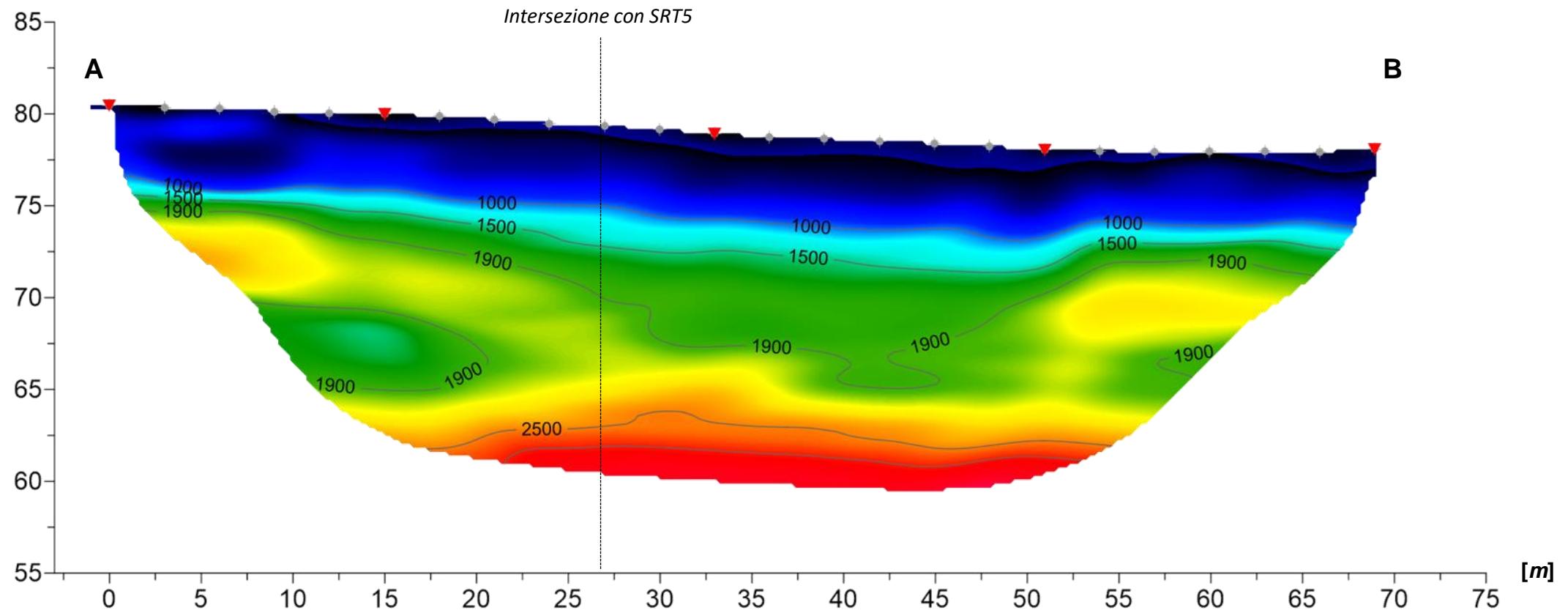
Tomografia sismica SRT6 – Onda P

Passo intergeofonico: 3 m



SRT6

Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 300

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

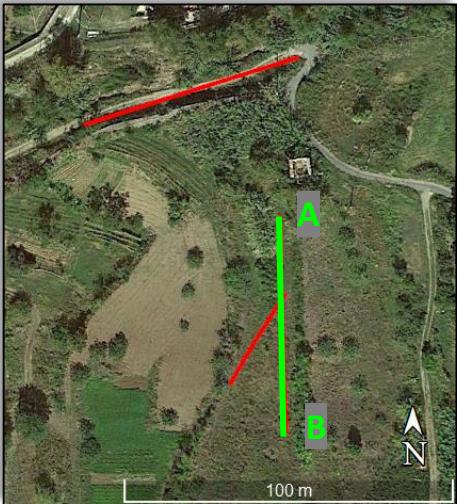
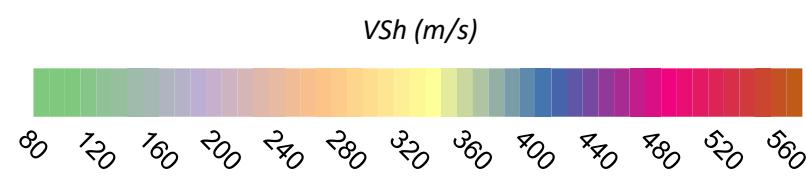
Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi



TAVOLA N°15

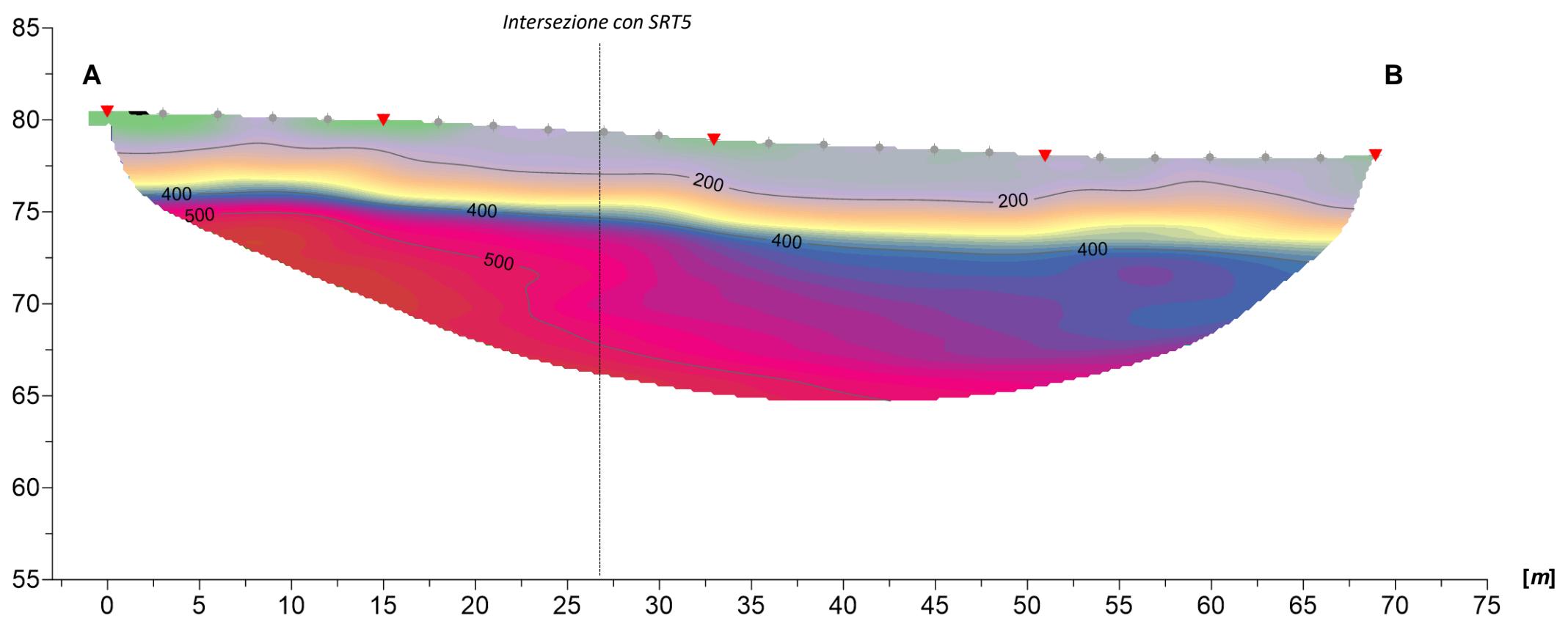
Tomografia sismica SRT6 – Onda Sh

Passo intergeofonico: 3 m



SRT6

Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 300

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi

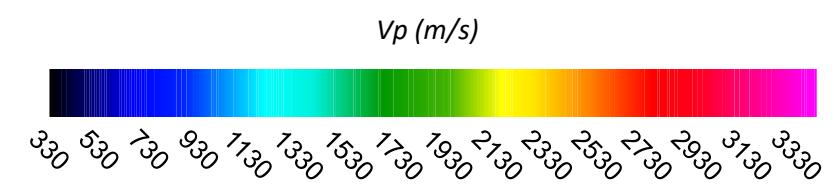


TAVOLA N°16

Tomografia sismica SRT7 – Onda P

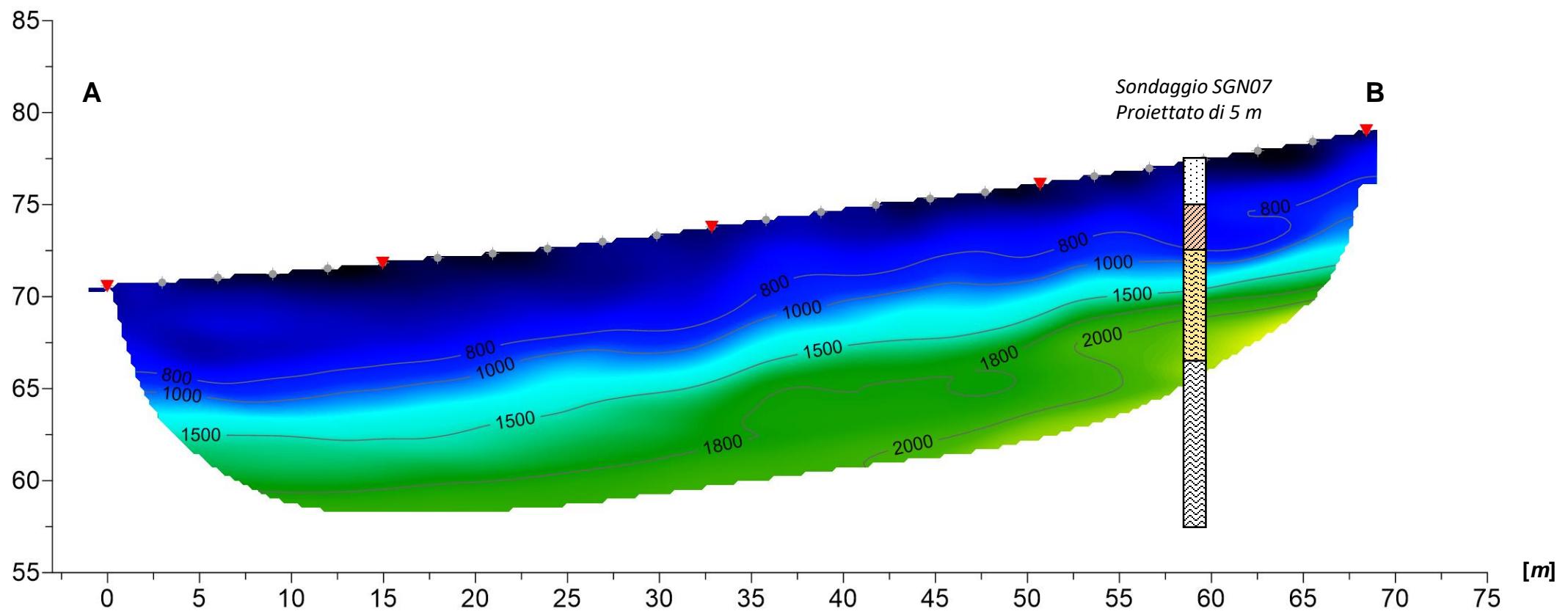


Passo intergeofonico: 3 m



	Terreno di riporto		Argilla sabbiosa
	Limo argilloso		Argilla marnosa
	Argilla limosa		

Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 300

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

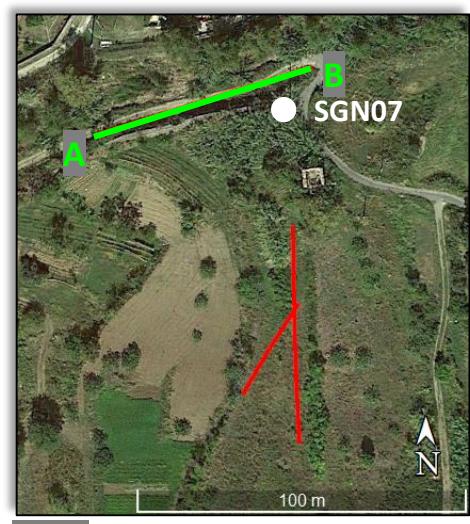
Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi

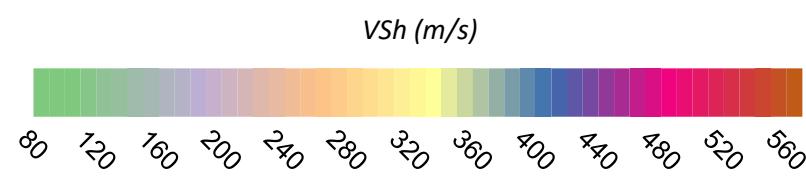


TAVOLA N°17

Tomografia sismica SRT7 – Onda Sh

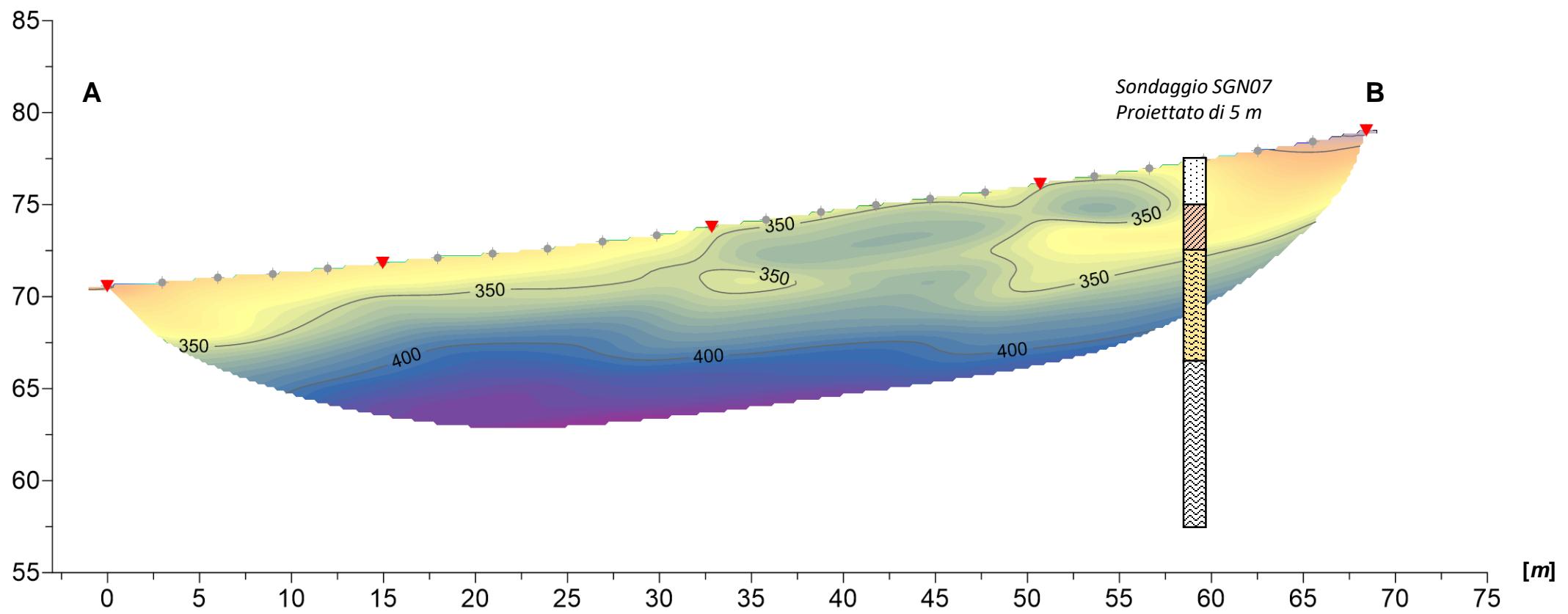


Passo intergeofonico: 3 m



	Terreno di riporto		Argilla sabbiosa
	Limo argilloso		Argilla marnosa
	Argilla limosa		

Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 300

Lavoro:
Esecuzione campagna indagini geognostiche a supporto del PFTE Salerno-Reggio Calabria –
Tratta Cosenza-Paola

Committente:

Indagini:
SRT
Data di esecuzione:
Giugno - Luglio 2021

Elaborato: P. Luiso
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi



HVSR1

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 05/07/21 15:24:26 End recording: 05/07/21 16:04:26

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

GPS data not available

Trace length: 0h40'00". Analyzed 97% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

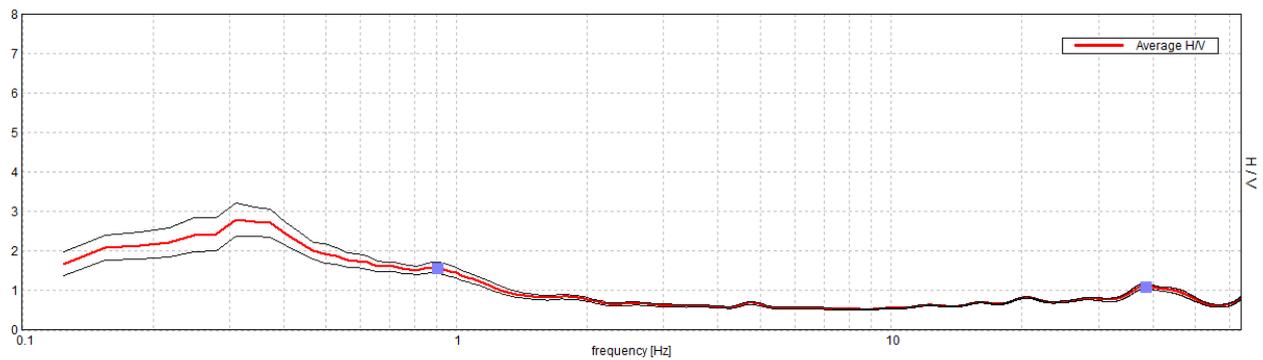
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

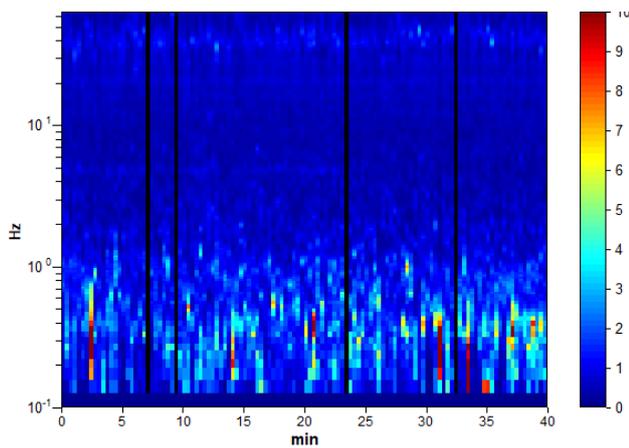
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

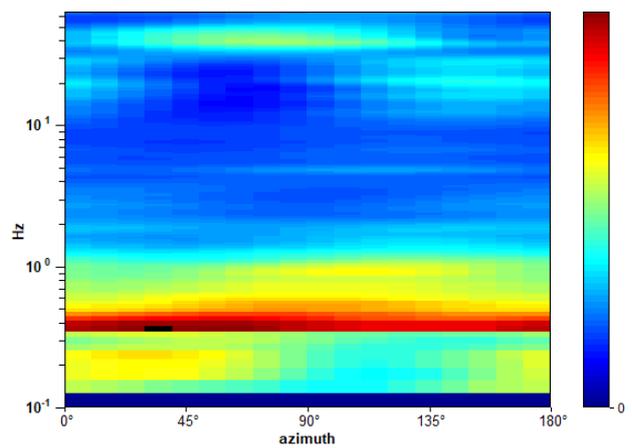
Max. H/V at 0.88 ± 0.04 Hz. (In the range 0.8 - 64.0 Hz).



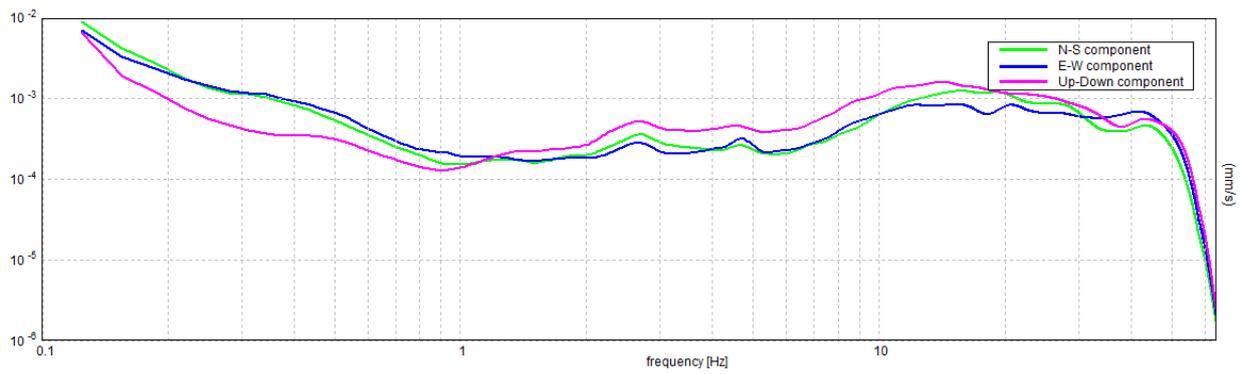
H/V TIME HISTORY



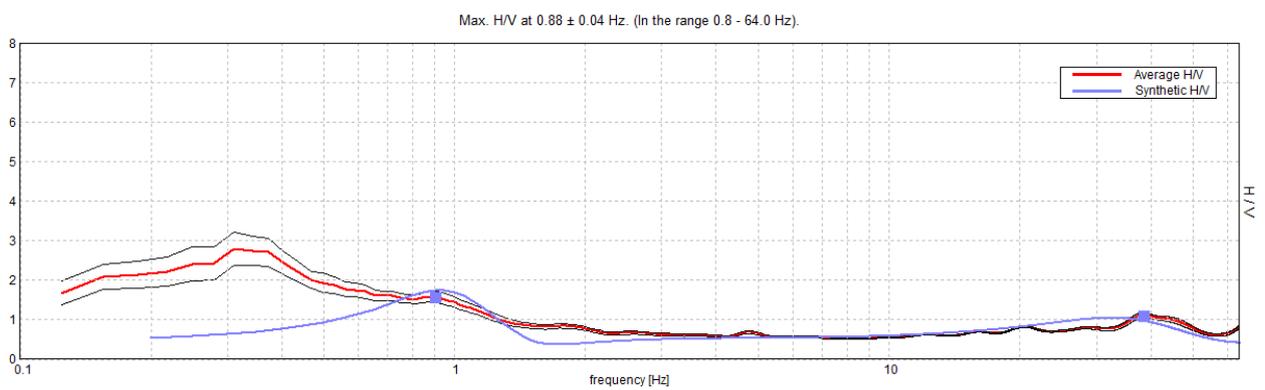
DIRECTIONAL H/V



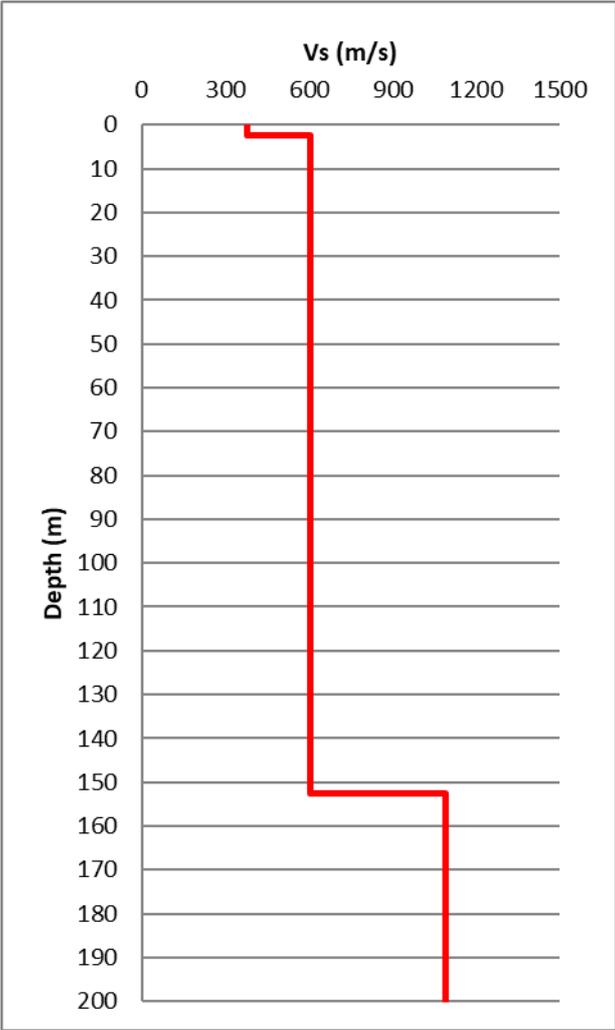
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.50	2.50	385	0.42
152.50	150.00	607	0.42
inf.	inf.	1092	0.45



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

Max. H/V at 0.88 ± 0.04 Hz (in the range 0.8 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.88 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2030.0 > 200$	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 43 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.969 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.59 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.05105 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.04467 < 0.13125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.14 < 2.0$	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

HVSR2

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 05/07/21 14:12:38 End recording: 05/07/21 14:52:38

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

GPS data not available

Trace length: 0h40'00". Analyzed 97% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

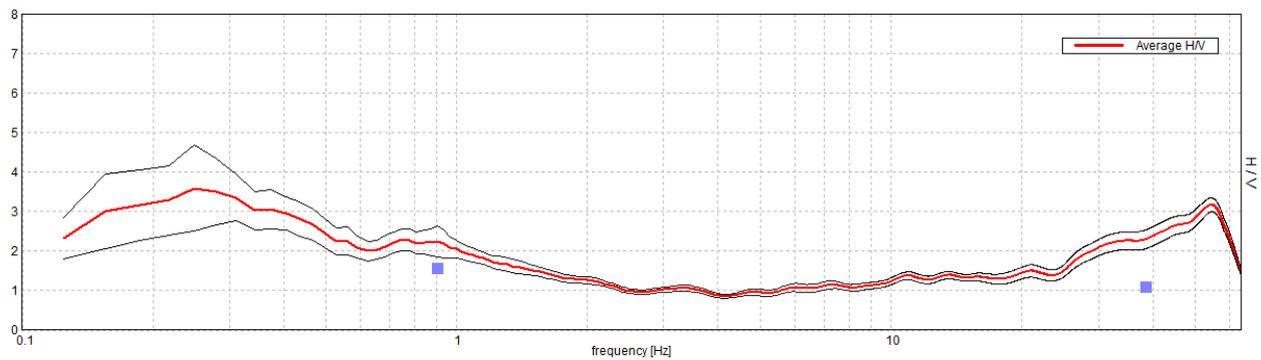
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

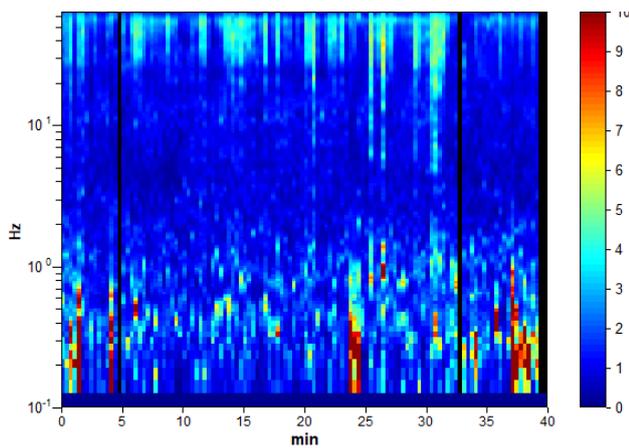
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

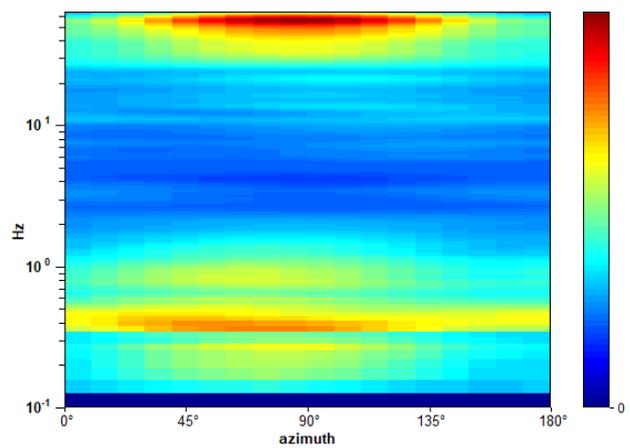
Max. H/V at 0.25 ± 40.92 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



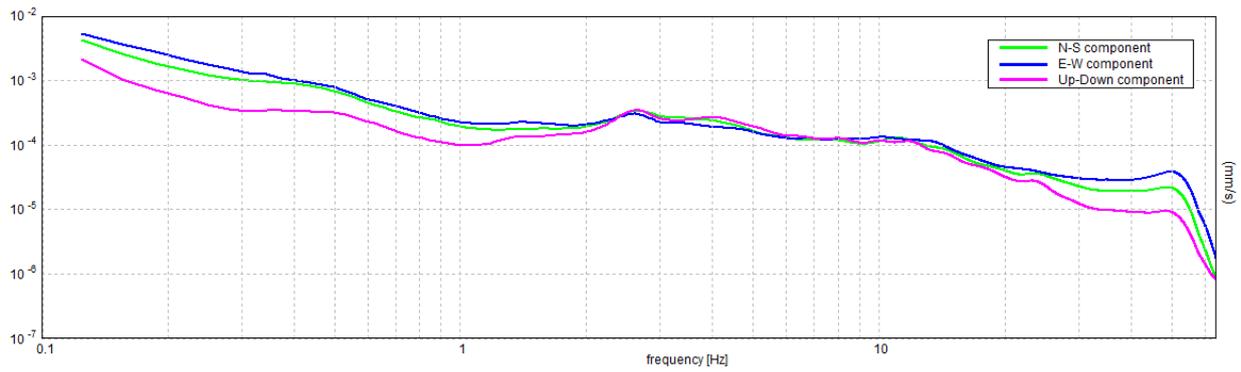
H/V TIME HISTORY



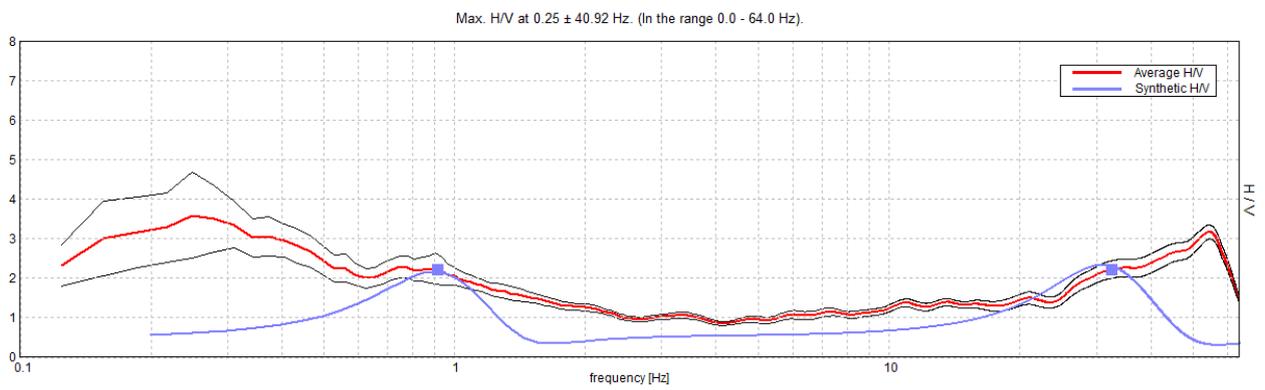
DIRECTIONAL H/V



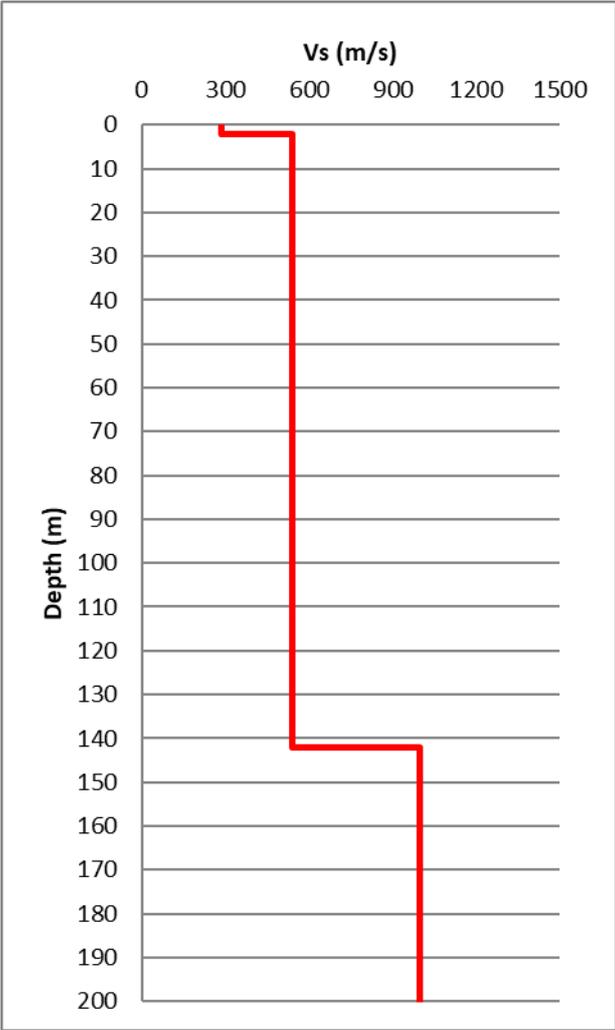
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.20	2.20	285	0.45
142.20	140.00	541	0.45
inf.	inf.	999	0.45



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

Max. H/V at 0.25 ± 40.92 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	0.25 > 0.50		NO
$n_c(f_0) > 200$	580.0 > 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 13 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
$A_0 > 2$	3.59 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 163.6663 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	40.91656 < 0.05		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.0853 < 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

HVSR3

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 05/07/21 17:01:38 End recording: 05/07/21 17:41:38

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

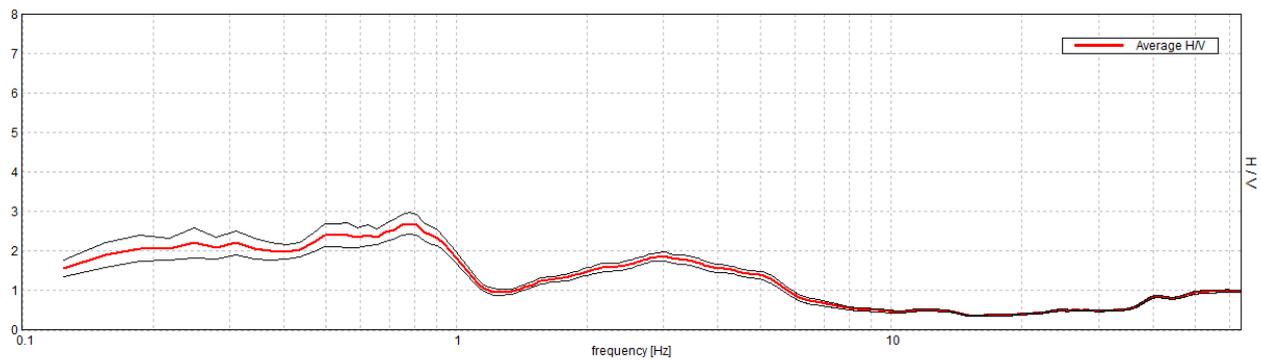
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

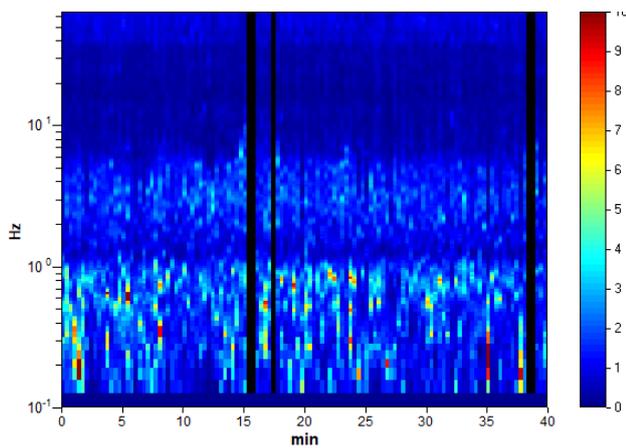
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

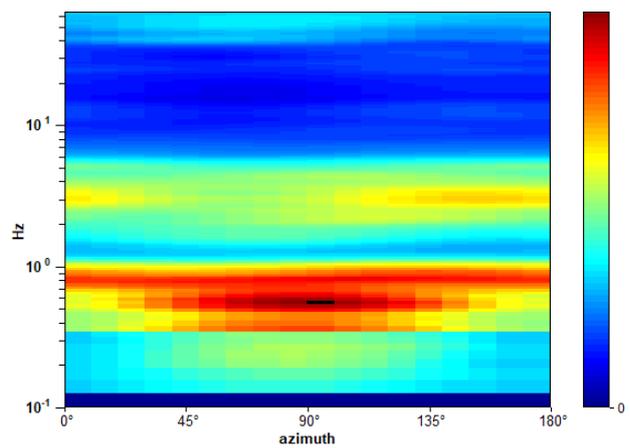
Max. H/V at 0.78 ± 0.22 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



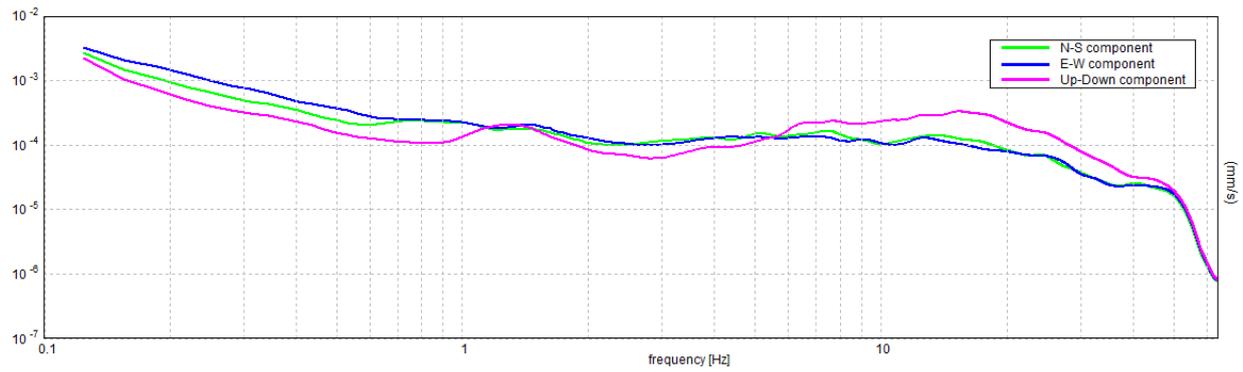
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

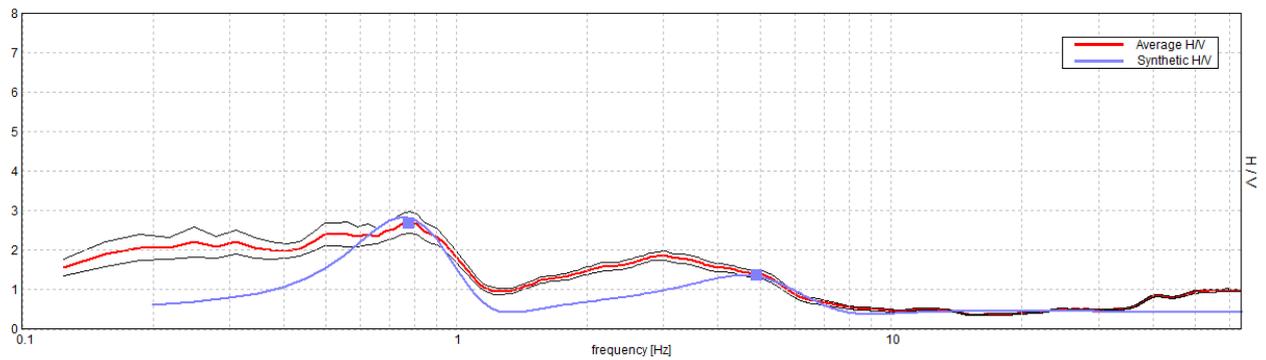


SINGLE COMPONENT SPECTRA

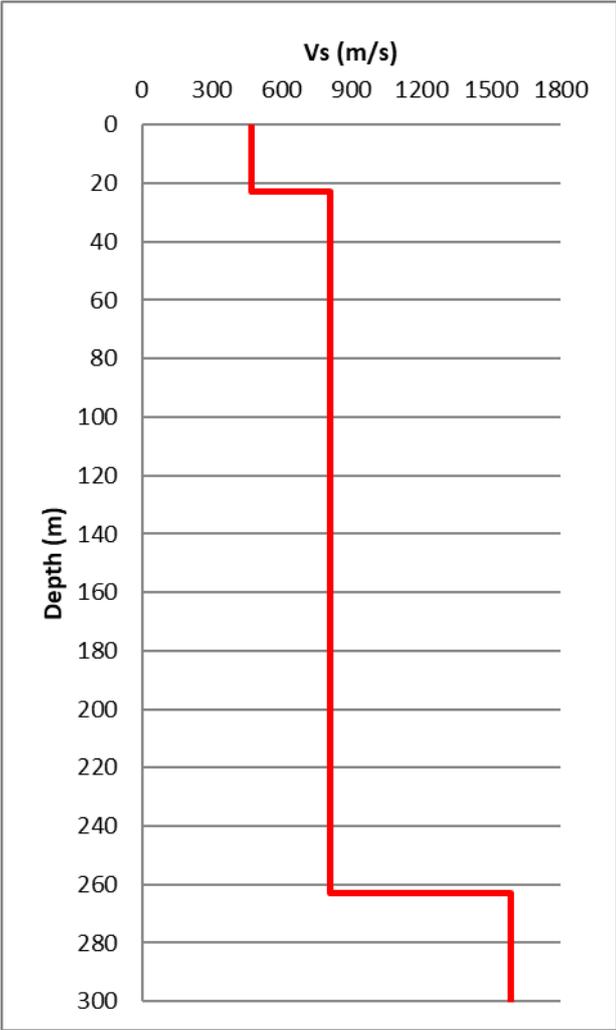


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.78 ± 0.22 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
23.00	23.00	469	0.42
263.00	240.00	811	0.42
inf.	inf.	1586	0.45



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

Max. H/V at 0.78 ± 0.22 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.78 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1796.9 > 200$	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 38 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.69 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.28561 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.22313 < 0.11719$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2724 < 2.0$	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

HVSR4

Instrument: TE3-0338/02-17

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 05/07/21 18:01:02 End recording: 05/07/21 18:41:02

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

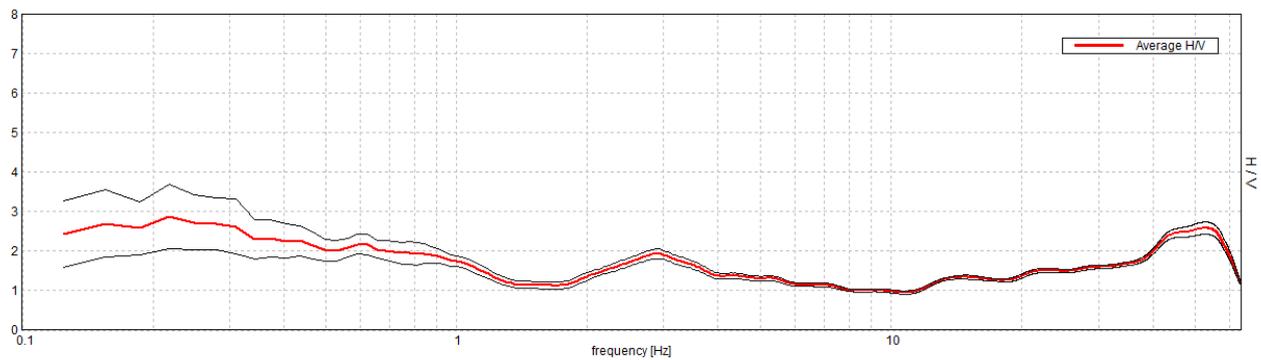
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

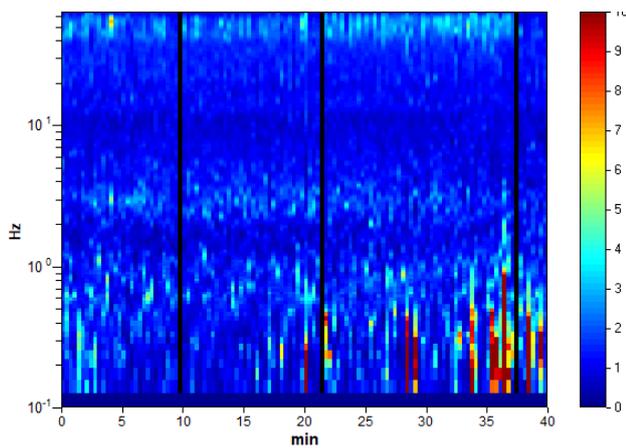
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

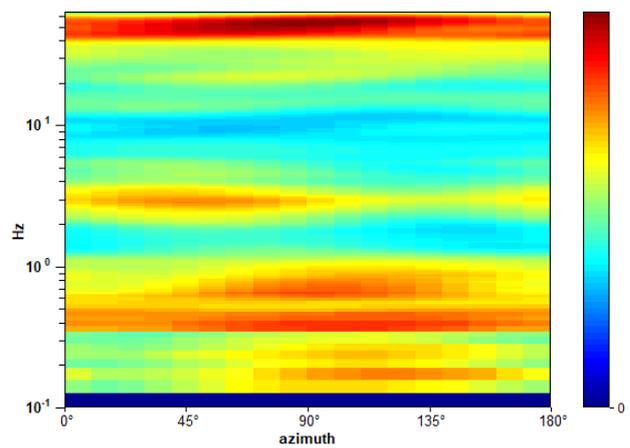
Max. H/V at 0.22 ± 48.97 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



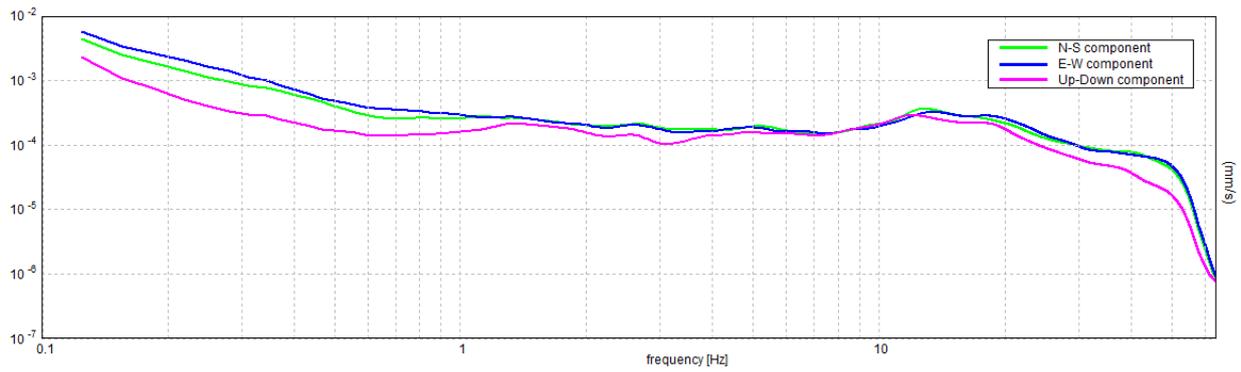
H/V TIME HISTORY



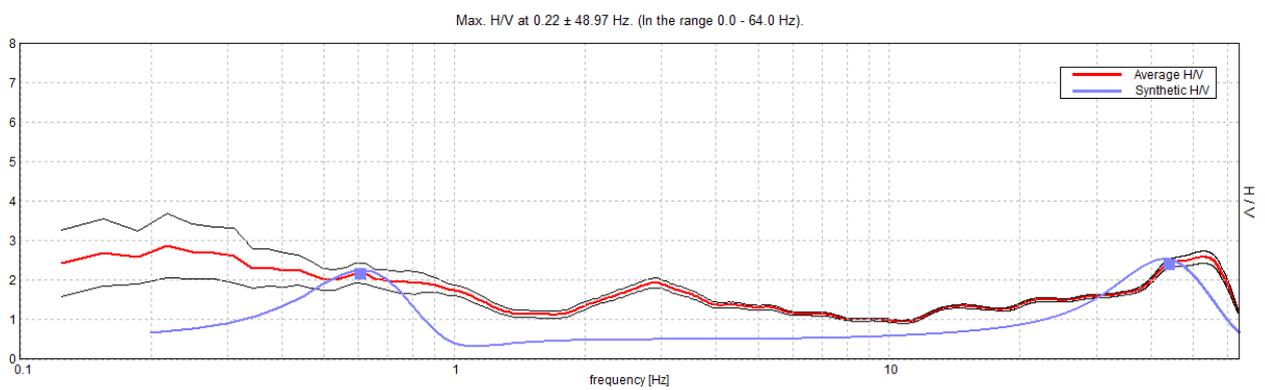
DIRECTIONAL H/V



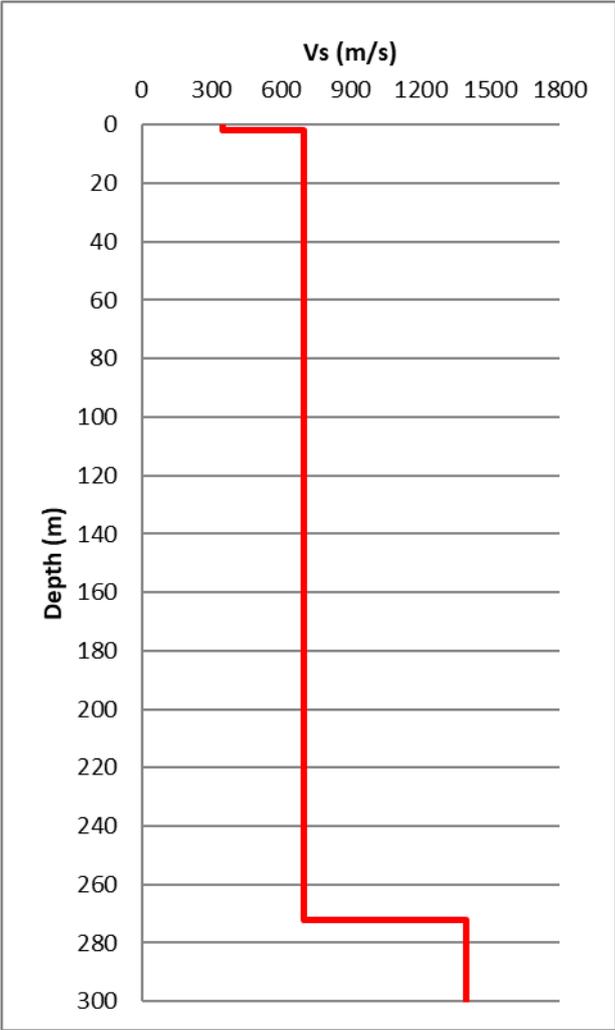
SINGLE COMPONENT SPECTRA



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
2.00	2.00	351	0.42
272.00	270.00	698	0.42
inf.	inf.	1399	0.42



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

Max. H/V at 0.22 ± 48.97 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	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 12 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

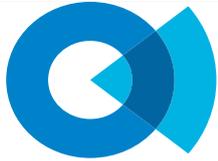
[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

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
$A_0 > 2$	2.87 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 223.877 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	48.97309 < 0.04375		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.8117 < 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

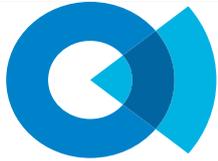
**SOCOTEC****TEST REPORT**

1/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di indagini geognostiche per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della "Cosenza-Paola" - Atto contrattuale 100040473 del 04/02/2021 su A.Q. n° 200001432		
UBICAZIONE:	Corso Marco Polo - Cosenza (CS)		
NOME TEST:	SVI-02		
DATA DI ESECUZIONE	26/07/2021		
COORDINATE	Y	39°22'40.83"N	
	X	10°18'48.61"E	

Profondità (m)	Onde P		Onde S		Poisson	Young (MPa)	Taglio (MPa)	Bulk (MPa)	γ (kN/m ³)
	(ms)	(m/sec)	(ms)	(m/sec)					
1.00	1.50	668.84	5.90	169.59	0.47	146.2	49.9	709.1	17.3
2.00	2.57	929.09	9.17	305.75	0.44	480.6	166.9	1318.9	17.9
3.00	3.36	1260.38	12.83	272.70	0.48	406.4	137.7	2758.5	18.5
4.00	3.92	1785.34	16.30	288.84	0.49	485.4	163.3	6020.3	19.6
5.00	4.36	2275.32	19.02	367.55	0.49	825.4	277.6	10269.1	20.6
6.00	4.79	2339.70	21.80	359.59	0.49	795.7	267.4	10963.8	20.7
7.00	5.33	1869.51	24.27	403.99	0.48	950.7	322.2	6469.3	19.7
8.00	5.88	1803.67	27.28	332.78	0.48	643.8	217.1	6089.2	19.6
9.00	6.50	1606.31	29.30	495.47	0.45	1365.4	471.7	4328.4	19.2
10.00	6.98	2094.75	32.10	356.39	0.49	761.7	256.4	8517.2	20.2
11.00	7.50	1930.06	35.71	276.82	0.49	453.4	152.2	7195.2	19.9
12.00	7.99	2018.22	39.03	301.62	0.49	542.7	182.3	7918.2	20.0
13.00	8.45	2183.94	42.99	252.76	0.49	388.6	130.1	9541.2	20.4
14.00	8.93	2094.40	46.96	251.85	0.49	382.3	128.0	8685.1	20.2
15.00	9.41	2078.32	51.87	203.72	0.50	250.2	83.7	8594.9	20.2
16.00	9.88	2114.51	54.18	431.56	0.48	1113.9	376.8	8542.3	20.2
17.00	10.76	1138.19	56.58	416.54	0.42	902.3	317.1	1944.9	18.3
18.00	11.66	1114.53	58.55	509.82	0.37	1296.0	473.8	1632.6	18.2
19.00	12.19	1887.22	65.40	145.97	0.50	126.2	42.1	6986.7	19.8
20.00	12.69	1994.02	68.75	298.53	0.49	530.3	178.1	7709.9	20.0
21.00	13.24	1832.90	71.87	320.45	0.48	599.5	201.9	6337.5	19.7
22.00	14.32	922.24	74.05	457.15	0.34	997.3	372.9	1020.5	17.8
23.00	14.98	1521.02	76.68	380.48	0.47	808.6	275.7	4037.8	19.0
24.00	15.61	1585.62	79.19	398.96	0.47	894.8	305.2	4413.1	19.2
25.00	16.25	1552.43	81.64	407.59	0.46	928.7	317.4	4181.1	19.1
26.00	16.86	1658.68	84.69	328.00	0.48	615.0	207.8	5037.5	19.3
27.00	17.46	1664.23	86.76	482.79	0.45	1310.1	450.5	4752.7	19.3
28.00	18.03	1755.51	88.99	449.21	0.46	1153.6	393.7	5488.0	19.5
29.00	18.55	1901.84	91.69	370.41	0.48	804.4	271.7	6800.7	19.8
30.00	19.10	1825.56	94.76	325.29	0.48	617.0	207.9	6271.8	19.7
31.00	19.52	2357.16	96.57	551.65	0.47	1854.6	630.4	10668.9	20.7
32.00	19.94	2387.89	98.33	570.20	0.47	1985.6	675.5	10945.7	20.8
33.00	20.36	2384.22	100.92	386.08	0.49	920.4	309.6	11393.1	20.8
34.00	20.77	2459.78	104.67	266.63	0.49	444.4	148.7	12459.1	20.9
35.00	21.20	2308.17	106.85	459.53	0.48	1288.1	435.3	10403.2	20.6
36.00	21.66	2175.89	108.72	533.17	0.47	1698.7	578.5	8864.1	20.4
37.00	22.05	2579.01	110.73	498.36	0.48	1556.1	525.5	13372.2	21.2
38.00	22.45	2527.82	113.10	420.78	0.49	1107.8	372.8	12957.2	21.1
39.00	22.86	2409.29	116.84	267.39	0.49	444.7	148.8	11886.0	20.8
40.00	23.27	2438.54	118.91	484.01	0.48	1447.2	489.1	11762.5	20.9
41.00	23.70	2337.57	121.13	449.81	0.48	1238.9	418.3	10739.7	20.7
42.00	24.09	2542.25	122.86	579.75	0.47	2087.1	708.7	12682.1	21.1
43.00	24.48	2558.47	124.69	544.37	0.48	1847.7	625.8	12988.3	21.1
44.00	24.86	2643.72	127.10	416.38	0.49	1097.8	369.1	14386.2	21.3
45.00	25.22	2761.29	129.21	472.71	0.48	1428.3	480.9	15769.2	21.5
46.00	25.61	2573.71	131.09	533.65	0.48	1779.7	602.2	13205.0	21.1
47.00	25.99	2625.48	133.40	432.63	0.49	1182.1	397.7	14118.3	21.3
48.00	26.33	2995.30	135.65	444.27	0.49	1292.4	434.0	19150.8	22.0
49.00	26.72	2567.84	137.84	456.96	0.48	1309.6	441.3	13348.0	21.1
50.00	27.10	2591.63	140.23	417.72	0.49	1099.0	369.6	13735.0	21.2



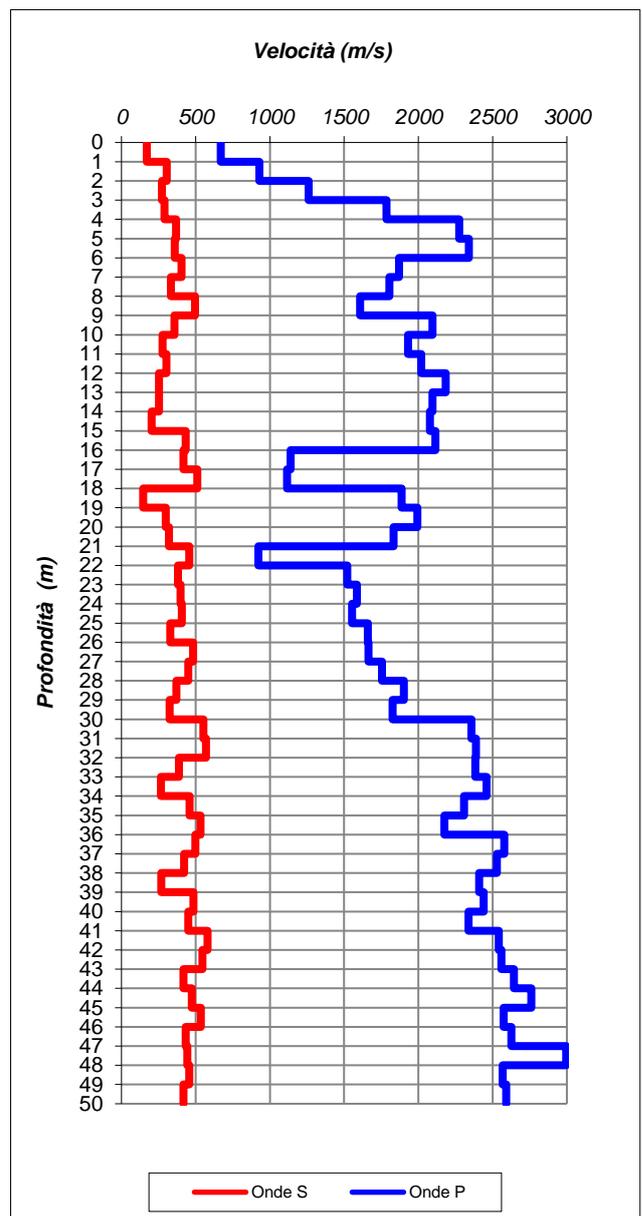
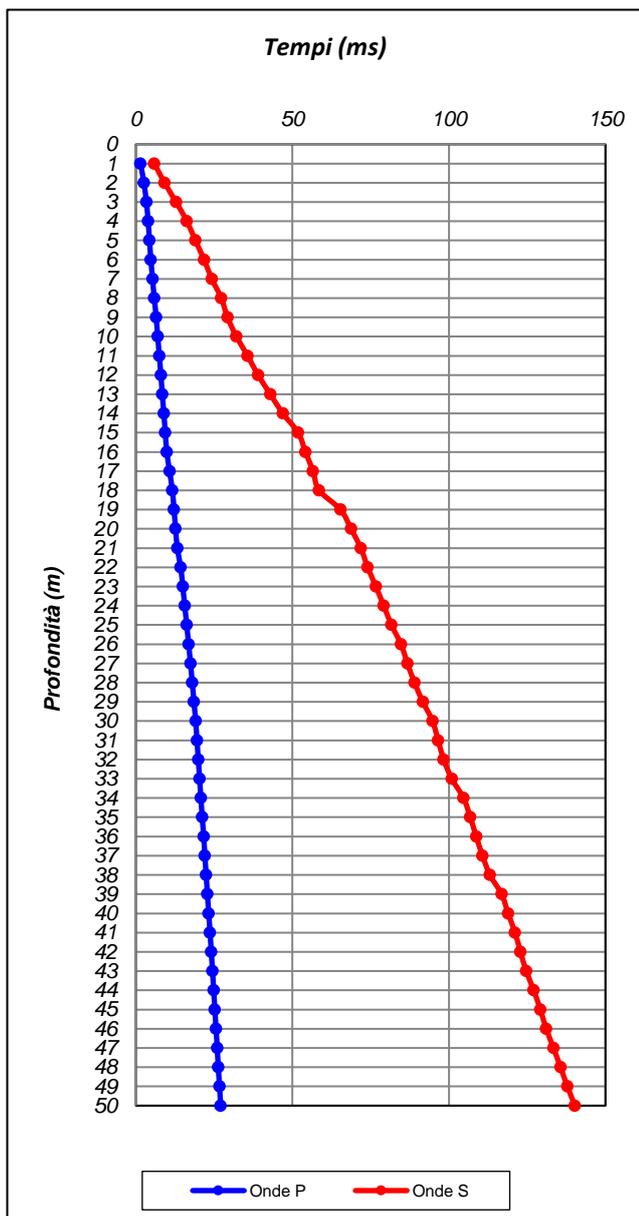
SOCOTEC

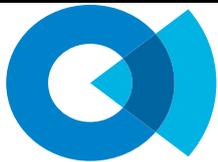
TEST REPORT

2/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di indagini geognostiche per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della "Cosenza-Paola" - Atto contrattuale 100040473 del 04/02/2021 su A.Q. n° 200001432		
UBICAZIONE:	Corso Marco Polo - Cosenza (CS)		
NOME TEST:	SVI-02		
DATA DI ESECUZIONE	26/07/2021		
COORDINATE	Y	39°22'40.83"N	
	X	10°18'48.61"E	





SOCOTEC

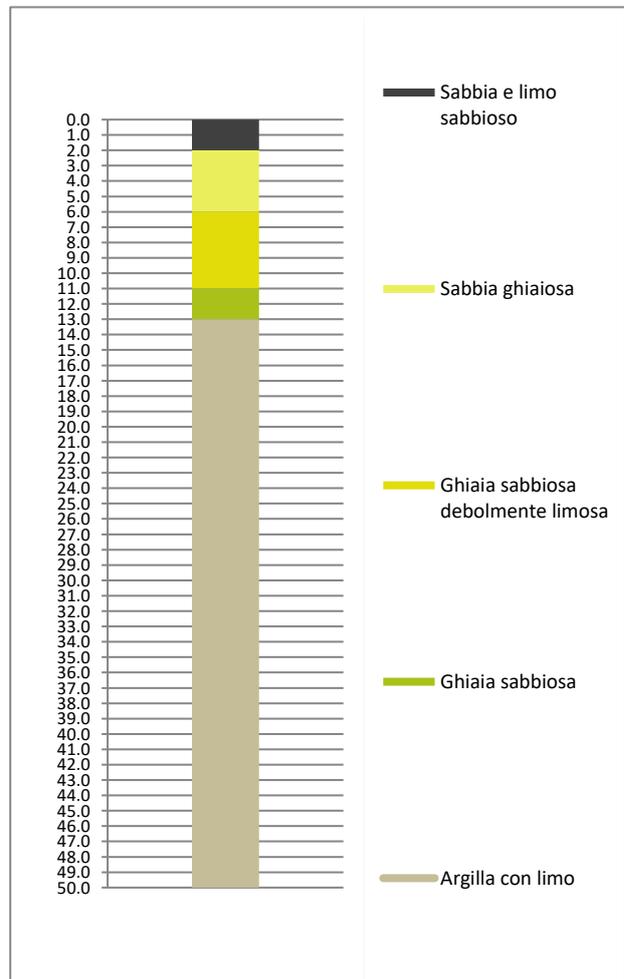
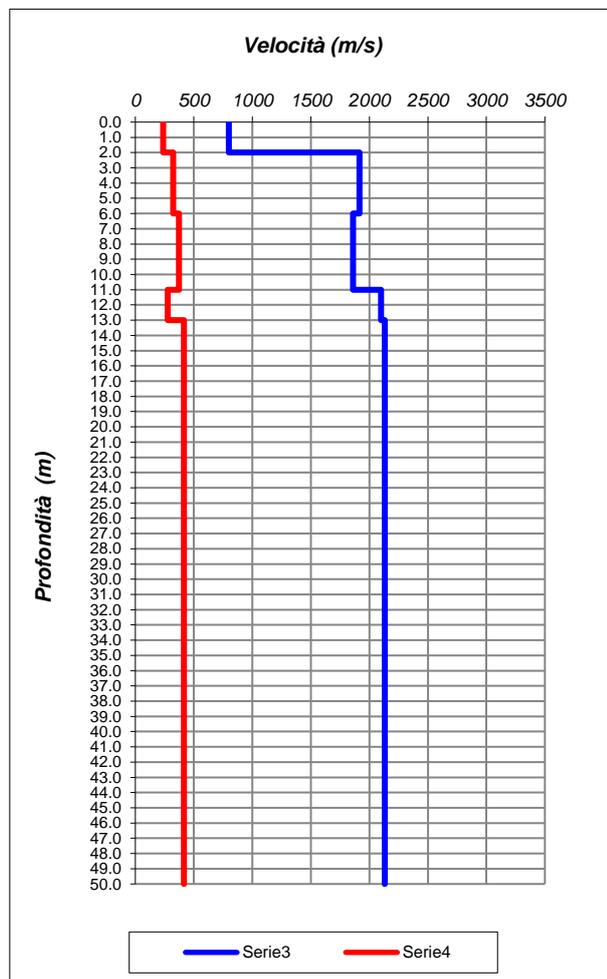
TEST REPORT

3/3

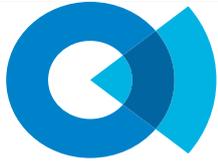
DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di indagini geognostiche per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della "Cosenza-Paola" - Atto contrattuale 100040473 del 04/02/2021 su A.Q. n° 200001432		
UBICAZIONE:	Corso Marco Polo - Cosenza (CS)		
NOME TEST:	SVI-02		
DATA DI ESECUZIONE	26/07/2021		
COORDINATE	Y	39°22'40.83"N	
	X	10°18'48.61"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)					
2.00	798.97	237.67	0.45	288.57	99.41	990.82	17.6
6.00	1915.18	322.17	0.49	611.48	205.83	6999.20	19.8
11.00	1860.86	373.09	0.48	812.07	274.52	6463.21	19.7
13.00	2101.08	277.19	0.49	462.92	155.22	8711.37	20.2
50.00	2131.52	415.25	0.48	1034.43	349.41	8740.39	20.3



V_{S eq} (20-50)	Suolo
373	-

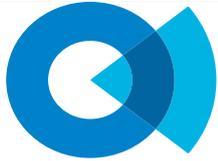
**SOCOTEC****TEST REPORT**

1/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di indagini geognostiche per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della "Cosenza-Paola" - Atto contrattuale 100040473 del 04/02/2021 su A.Q. n° 200001432		
UBICAZIONE:	Via Sottopromintesta - Paola		
NOME TEST:	SVI-04		
DATA DI ESECUZIONE	27/07/2021		
COORDINATE	Y	39°20'43.8"N	
	X	16°02'24.6"E	

Profondità (m)	Onde P		Onde S		Poisson	Young (MPa)	Taglio (MPa)	Bulk (MPa)	γ (kN/m ³)
	(ms)	(m/sec)	(ms)	(m/sec)					
1.00	1.45	690.29	4.04	247.77	0.43	304.3	106.7	685.9	17.4
2.00	2.42	1031.33	6.08	490.42	0.35	1176.4	434.4	1342.0	18.1
3.00	3.21	1266.90	9.00	342.29	0.46	634.4	217.2	2685.2	18.5
4.00	4.07	1161.26	12.61	277.04	0.47	413.4	140.6	2283.3	18.3
5.00	4.65	1718.26	16.86	234.93	0.49	319.8	107.3	5595.4	19.4
6.00	5.23	1724.92	19.26	417.60	0.47	996.5	339.2	5334.8	19.4
7.00	5.73	2018.14	25.26	166.70	0.50	166.7	55.7	8086.3	20.0
8.00	6.18	2224.30	27.28	493.20	0.47	1466.5	497.4	9453.7	20.4
9.00	6.75	1738.45	32.07	208.99	0.49	254.0	85.1	5772.9	19.5
10.00	7.38	1581.94	35.37	302.59	0.48	519.7	175.5	4561.8	19.2
11.00	8.00	1630.58	37.54	462.36	0.46	1199.3	411.8	4572.1	19.3
12.00	8.66	1505.50	41.53	250.39	0.49	354.2	119.2	4150.0	19.0
13.00	9.31	1544.57	45.86	230.99	0.49	303.2	101.8	4418.3	19.1
14.00	9.89	1710.55	48.19	429.10	0.47	1048.8	357.6	5205.8	19.4
15.00	10.44	1818.73	51.02	352.99	0.48	724.5	244.7	6169.4	19.6
16.00	10.91	2157.50	53.40	420.29	0.48	1062.4	358.8	8977.8	20.3
17.00	11.38	2122.75	57.20	263.48	0.49	419.4	140.5	8935.4	20.2
18.00	11.85	2104.12	60.25	328.10	0.49	647.2	217.5	8656.8	20.2
19.00	12.32	2158.15	63.02	360.96	0.49	786.5	264.7	9109.6	20.3
20.00	13.13	1231.55	65.38	423.03	0.43	947.0	330.4	2359.8	18.5
21.00	13.85	1391.71	66.92	650.61	0.36	2162.9	795.1	2578.0	18.8
22.00	14.51	1499.37	68.79	534.96	0.43	1551.8	543.7	3546.2	19.0
23.00	15.13	1631.70	70.17	720.94	0.38	2760.8	1001.2	3793.8	19.3
24.00	15.83	1421.51	71.58	712.74	0.33	2550.2	957.2	2531.3	18.8
25.00	16.34	1955.23	72.89	758.21	0.41	3231.3	1144.6	6085.5	19.9
26.00	16.87	1898.51	74.08	841.58	0.38	3863.5	1402.1	5266.0	19.8
27.00	17.27	2513.51	75.15	941.33	0.42	5285.7	1863.2	10800.0	21.0
28.00	17.75	2081.44	76.59	694.03	0.44	2792.1	971.2	7440.4	20.2
29.00	18.24	2031.54	77.82	807.76	0.41	3681.4	1309.1	6535.0	20.1
30.00	18.81	1735.91	79.05	818.37	0.36	3539.6	1304.1	4128.8	19.5
31.00	19.33	1946.14	80.19	870.52	0.37	4145.3	1507.4	5524.2	19.9
32.00	19.74	2409.08	81.24	960.56	0.41	5399.4	1920.8	9521.1	20.8
33.00	20.18	2313.40	82.40	856.47	0.42	4298.9	1513.1	9021.7	20.6
34.00	20.58	2477.50	83.46	950.60	0.41	5353.8	1893.6	10337.5	21.0
35.00	21.12	1854.35	84.51	950.39	0.32	4706.3	1780.2	4403.5	19.7
36.00	21.61	2042.67	85.59	925.65	0.37	4718.2	1721.0	6086.0	20.1
37.00	22.10	2028.88	86.56	1030.57	0.33	5650.1	2130.3	5416.1	20.1
38.00	22.62	1930.84	87.61	951.85	0.34	4820.8	1799.5	5005.3	19.9
39.00	23.11	2039.77	88.65	959.24	0.36	5018.2	1847.6	5890.9	20.1
40.00	23.59	2097.21	89.85	833.34	0.41	3944.3	1402.4	7012.2	20.2
41.00	24.02	2294.37	90.92	934.96	0.40	5040.9	1799.8	8438.5	20.6
42.00	24.38	2797.67	91.82	1109.03	0.41	7473.1	2656.1	13361.1	21.6
43.00	24.78	2468.03	92.90	924.51	0.42	5076.2	1789.4	10366.6	20.9
44.00	25.14	2781.41	93.94	960.99	0.43	5704.1	1991.4	14026.4	21.6
45.00	25.50	2788.49	95.08	884.33	0.44	4873.5	1687.4	14527.7	21.6
46.00	25.88	2667.40	96.22	876.24	0.44	4716.1	1638.1	12995.7	21.3
47.00	26.28	2498.31	97.32	909.64	0.42	4946.6	1737.4	10788.7	21.0
48.00	26.67	2574.30	98.51	838.29	0.44	4282.2	1486.2	12033.7	21.1
49.00	27.06	2537.37	99.76	797.09	0.45	3870.3	1339.0	11783.1	21.1
50.00	27.43	2685.41	100.88	892.74	0.44	4898.0	1703.2	13140.5	21.4



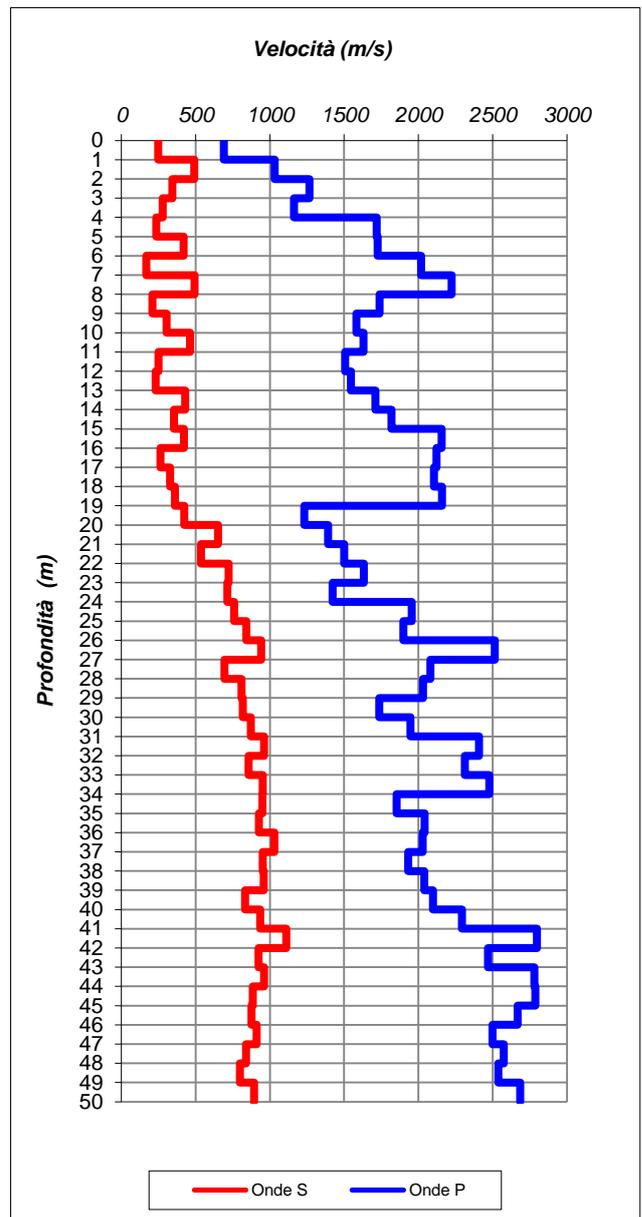
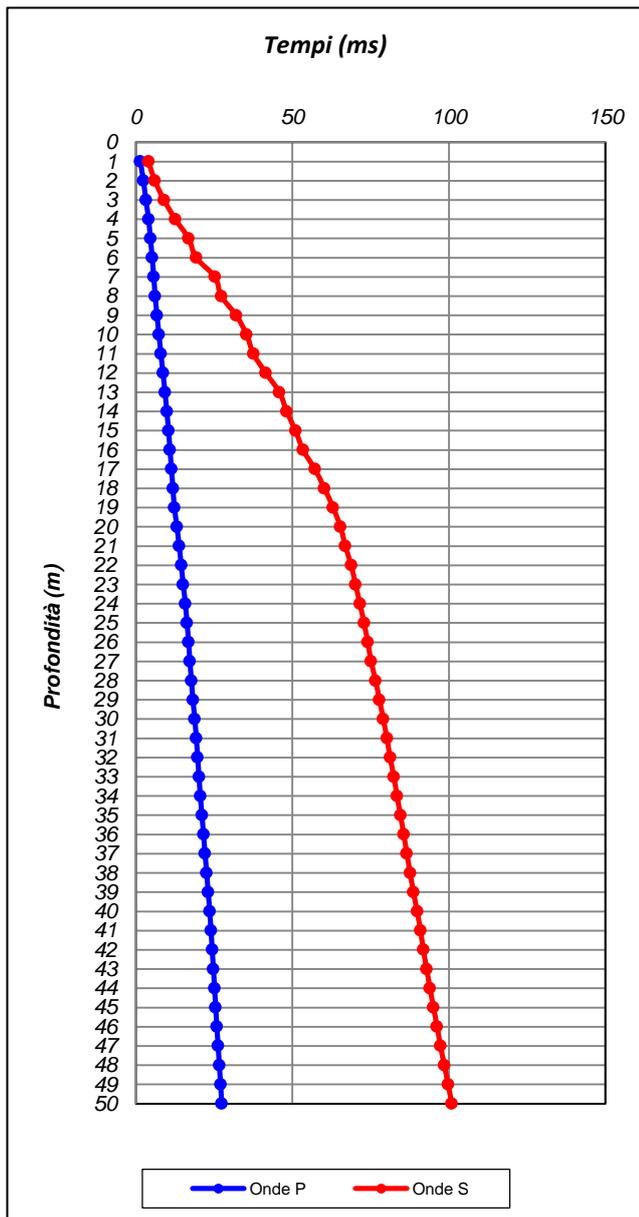
SOCOTEC

TEST REPORT

2/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di indagini geognostiche per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della "Cosenza-Paola" - Atto contrattuale 100040473 del 04/02/2021 su A.Q. n° 200001432		
UBICAZIONE:	Via Sottopromintesta - Paola		
NOME TEST:	SVI-04		
DATA DI ESECUZIONE	27/07/2021		
COORDINATE	Y	39°20'43.8"N	
	X	16°02'24.6"E	





SOCOTEC

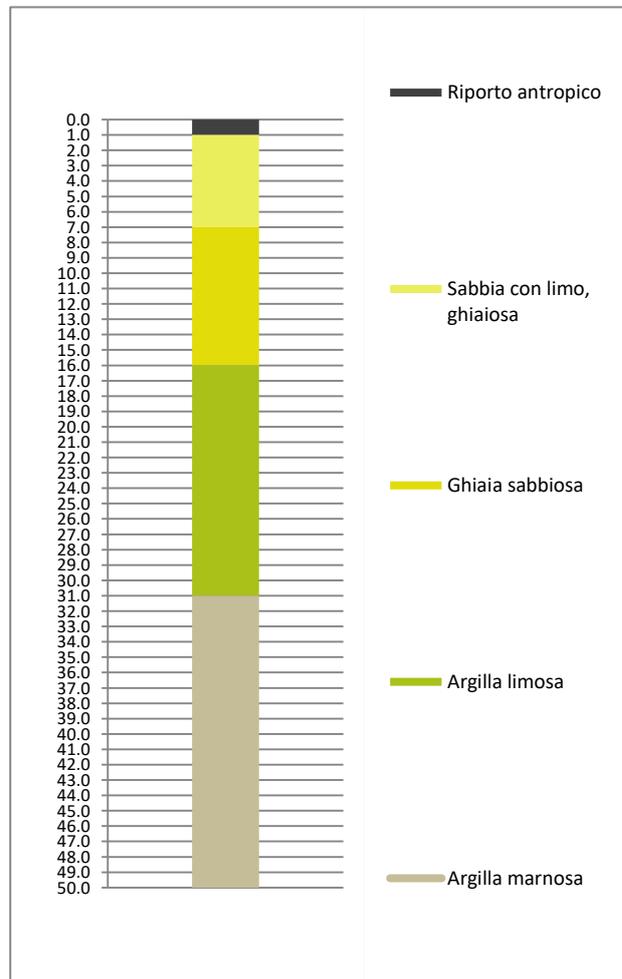
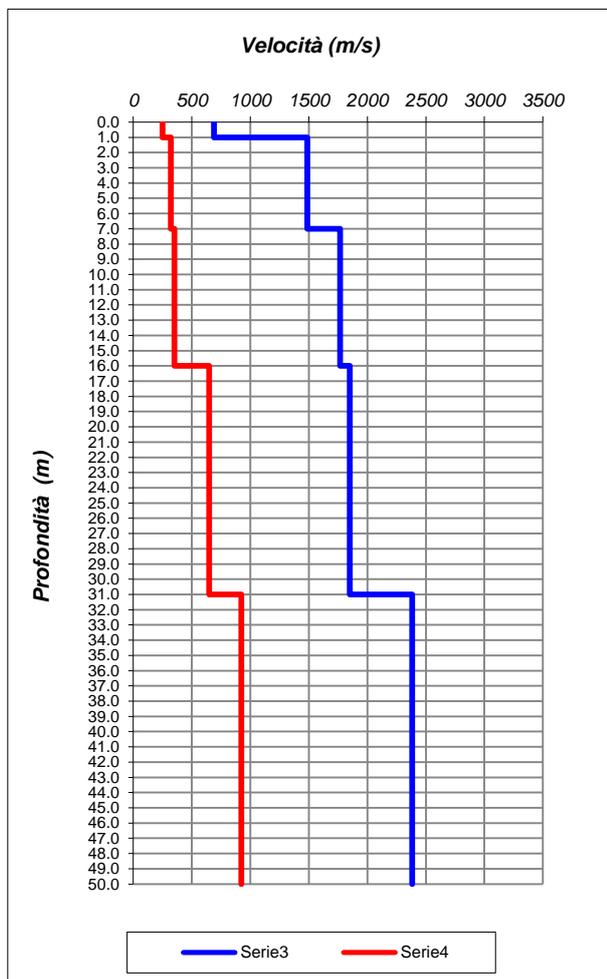
TEST REPORT

3/3

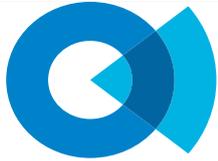
DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di indagini geognostiche per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della "Cosenza-Paola" - Atto contrattuale 100040473 del 04/02/2021 su A.Q. n° 200001432		
UBICAZIONE:	Via Sottopromintesta - Paola		
NOME TEST:	SVI-04		
DATA DI ESECUZIONE	27/07/2021		
COORDINATE	Y	39°20'43.8"N	
	X	16°02'24.6"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	690.29	247.77	0.43	304.31	106.70	685.92	17.4
7.00	1486.80	321.50	0.48	578.72	196.11	3932.78	19.0
16.00	1768.01	350.10	0.48	708.59	239.45	5787.42	19.5
31.00	1848.21	648.44	0.43	2368.30	828.19	5623.82	19.7
50.00	2383.50	923.50	0.41	5000.50	1771.12	9436.38	20.8



V_{S eq (0-30)} 425	Suolo B
---------------------------------------	-------------------

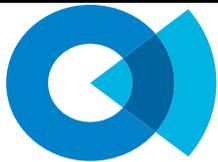
**SOCOTEC****TEST REPORT**

1/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di indagini geognostiche per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della "Cosenza-Paola" - Atto contrattuale 100040473 del 04/02/2021 su A.Q. n° 200001432		
UBICAZIONE:	Paola - Località Scirocco		
NOME TEST:	SVI-06		
DATA DI ESECUZIONE	27/07/2021		
COORDINATE	Y	39°20'8.53"N	
	X	16°2'34.73"E	

Profondità (m)	Onde P		Onde S		Poisson	Young (MPa)	Taglio (MPa)	Bulk (MPa)	γ (kN/m ³)
	(ms)	(m/sec)	(ms)	(m/sec)					
1.00	1.75	571.51	6.40	156.27	0.46	122.2	41.9	504.1	17.1
2.00	3.50	571.49	12.07	176.36	0.45	154.3	53.3	488.8	17.1
3.00	4.45	1054.05	18.71	150.68	0.49	122.5	41.1	1957.0	18.1
4.00	5.49	963.54	23.07	229.16	0.47	276.8	94.1	1538.8	17.9
5.00	6.48	1008.99	26.10	330.37	0.44	566.3	196.7	1572.1	18.0
6.00	7.38	1109.99	29.10	333.30	0.45	587.2	202.4	1975.0	18.2
7.00	8.19	1227.04	33.75	215.04	0.48	253.3	85.3	2664.7	18.5
8.00	8.95	1323.51	39.12	186.30	0.49	192.8	64.7	3180.1	18.6
9.00	9.40	2230.78	41.72	383.29	0.48	892.7	300.6	9781.7	20.5
10.00	9.82	2367.57	44.24	397.18	0.49	971.8	327.1	11186.7	20.7
11.00	10.21	2533.13	48.97	211.44	0.50	281.9	94.2	13392.2	21.1
12.00	10.62	2442.93	50.87	527.83	0.48	1717.2	581.9	11688.6	20.9
13.00	11.12	2029.07	52.37	665.19	0.44	2555.7	887.5	7074.8	20.1
14.00	11.59	2093.40	53.74	731.87	0.43	3093.3	1081.3	7404.9	20.2
15.00	12.08	2056.02	55.26	656.60	0.44	2502.7	867.1	7345.7	20.1
16.00	12.60	1914.74	56.62	732.62	0.41	3010.4	1064.3	5850.9	19.8
17.00	13.19	1702.60	58.56	516.85	0.45	1502.5	518.4	4934.1	19.4
18.00	13.75	1783.78	60.15	629.24	0.43	2214.2	774.8	5193.1	19.6
19.00	14.33	1736.90	62.51	424.18	0.47	1028.9	350.4	5407.7	19.5
20.00	14.86	1856.98	64.74	446.79	0.47	1156.4	393.5	6273.4	19.7
21.00	15.34	2114.13	67.08	427.06	0.48	1091.1	368.9	8549.2	20.2
22.00	15.72	2627.46	68.64	643.07	0.47	2580.9	879.0	13501.5	21.3
23.00	16.09	2681.47	70.07	699.78	0.46	3062.0	1046.1	13965.7	21.4
24.00	16.47	2614.54	71.51	694.53	0.46	2994.4	1024.0	13146.4	21.2
25.00	16.94	2167.19	72.96	689.89	0.44	2794.3	967.8	8260.1	20.3
26.00	17.42	2076.45	74.55	629.92	0.45	2317.9	799.7	7623.0	20.2
27.00	17.87	2197.62	75.78	808.84	0.42	3793.9	1334.3	8070.9	20.4
28.00	18.34	2149.98	77.13	744.01	0.43	3218.3	1123.7	7885.2	20.3
29.00	18.86	1912.38	78.59	681.18	0.43	2626.0	919.9	6023.8	19.8
30.00	19.33	2137.70	80.29	589.25	0.46	2054.1	704.0	8326.7	20.3
31.00	19.76	2318.31	82.11	548.68	0.47	1826.9	621.3	10262.9	20.6
32.00	20.20	2251.55	83.64	656.68	0.45	2570.3	884.2	9215.1	20.5
33.00	20.66	2191.53	85.17	652.58	0.45	2519.6	868.0	8632.2	20.4
34.00	21.13	2147.88	86.31	877.18	0.40	4372.3	1561.6	7281.0	20.3
35.00	21.58	2221.99	88.03	581.72	0.46	2024.6	691.8	9171.2	20.4
36.00	22.08	1970.32	90.33	434.81	0.47	1111.7	377.0	7238.6	19.9
37.00	22.61	1885.37	91.88	645.14	0.43	2359.5	822.9	5930.6	19.8
38.00	23.19	1730.45	93.54	601.13	0.43	2013.2	703.2	4889.8	19.5
39.00	23.77	1712.36	95.45	524.18	0.45	1546.0	533.7	4984.0	19.4
40.00	24.34	1769.40	97.15	586.36	0.44	1932.5	671.8	5221.4	19.5
41.00	24.82	2088.71	98.72	640.73	0.45	2399.0	828.4	7698.3	20.2
42.00	25.24	2351.08	100.08	731.07	0.45	3201.0	1106.5	9968.0	20.7
43.00	25.69	2264.54	101.65	638.25	0.46	2436.7	836.3	9412.6	20.5
44.00	26.13	2235.04	103.33	596.31	0.46	2127.9	727.9	9255.2	20.5
45.00	26.56	2334.71	104.98	603.53	0.46	2204.8	752.9	10262.8	20.7
46.00	26.96	2494.66	107.43	408.34	0.49	1040.3	350.0	12595.7	21.0
47.00	27.36	2538.66	109.03	625.83	0.47	2423.2	825.5	12483.2	21.1
48.00	27.75	2551.24	110.41	726.95	0.46	3247.0	1115.2	12248.4	21.1
49.00	28.13	2619.85	111.92	659.47	0.47	2708.6	923.7	13346.5	21.2
50.00	28.54	2455.88	113.63	585.55	0.47	2107.8	717.0	11656.6	20.9



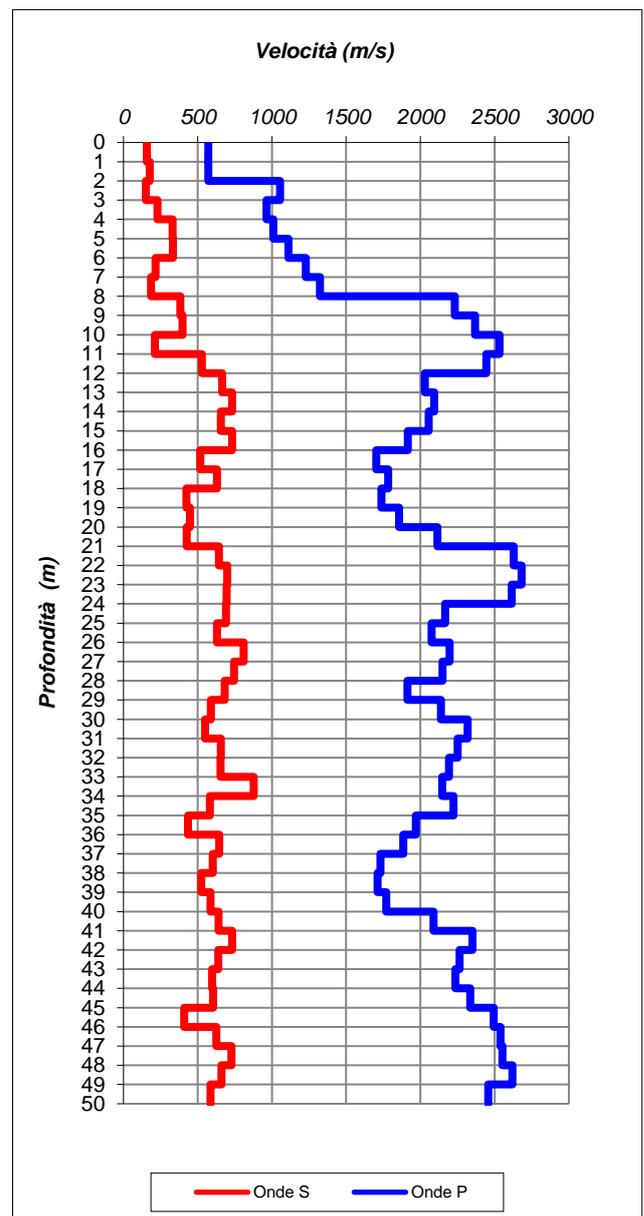
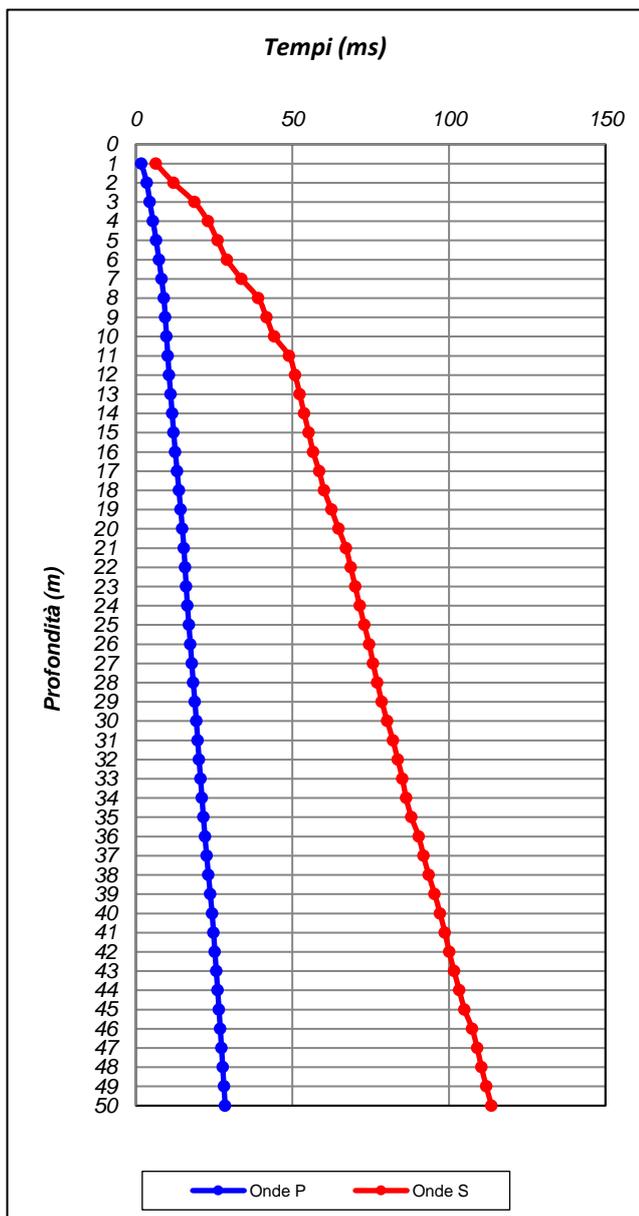
SOCOTEC

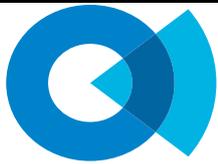
TEST REPORT

2/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di indagini geognostiche per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della "Cosenza-Paola" - Atto contrattuale 100040473 del 04/02/2021 su A.Q. n° 200001432		
UBICAZIONE:	Paola - Località Scirocco		
NOME TEST:	SVI-06		
DATA DI ESECUZIONE	27/07/2021		
COORDINATE	Y	39°20'8.53"N	
	X	16°2'34.73"E	





SOCOTEC

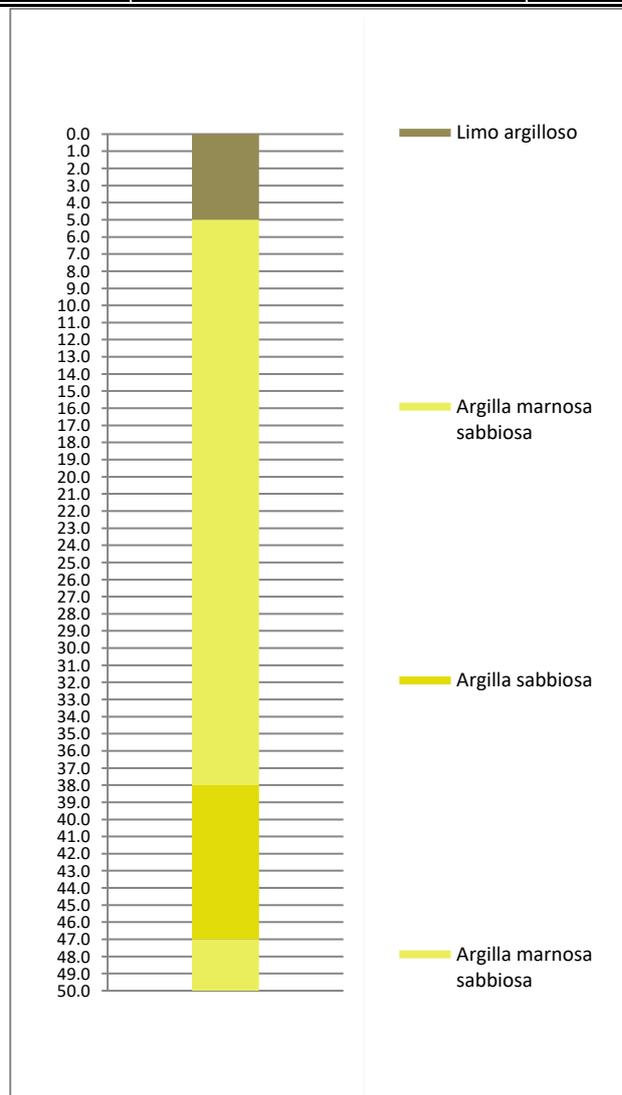
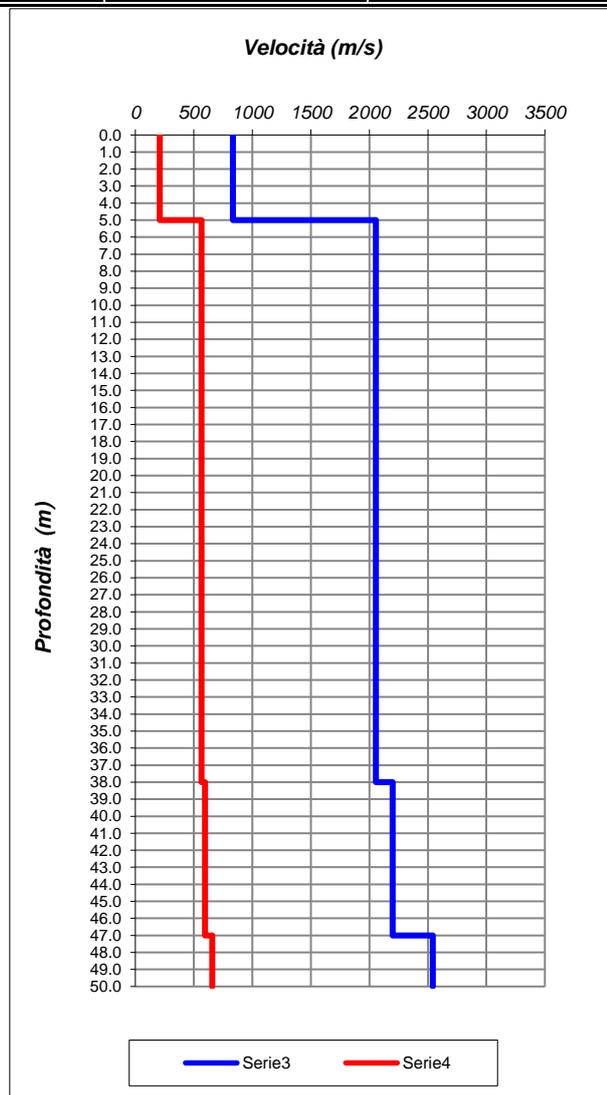
TEST REPORT

3/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	Esecuzione di indagini geognostiche per il Progetto di Fattibilità Tecnico Economica della "Cosenza-Paola" - Atto contrattuale 100040473 del 04/02/2021 su A.Q. n° 200001432		
UBICAZIONE:	Paola - Località Scirocco		
NOME TEST:	SVI-06		
DATA DI ESECUZIONE	27/07/2021		
COORDINATE	Y	39°20'8.53"N	
	X	16°2'34.73"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)					
5.00	833.92	208.57	0.47	225.44	76.85	1126.18	17.7
38.00	2054.69	565.55	0.46	1876.86	643.19	7632.09	20.1
47.00	2198.80	594.96	0.46	2109.03	722.02	8898.93	20.4
50.00	2542.32	657.32	0.46	2667.77	911.01	12413.17	21.1



V_{S eq} (0-30) 448	Suolo B
---------------------------------------	-------------------