

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J14H20000970001

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

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

GEOLOGIA ED IDROGEOLOGIA

INDAGINI GEOFISICHE

SCALA:

-

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

I T 1 J 1 0 R 6 9 I G G E 0 0 0 5 0 0 1 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione esecutiva	G. Pallavicino <i>G. Pallavicino</i>	Maggio 2021	M.C. Morandi <i>M.C. Morandi</i>	Maggio 2021	S. Lo Presti <i>S. Lo Presti</i>	Maggio 2021	M. Comedini Maggio 2021	

Dott. Geol. Massimo Comedini
Ordine dei Geologi del Lazio
n° 2103

File: IT1J10R696IGGE00050001A

n. Elab.

Indice

1.	PREMESSA	2
2.	METODO MASW	3
2.1.	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO	3
2.2.	STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	6
2.3.	SCHEMA DI ACQUISIZIONE	8
3.	RISULTATI INDAGINI MASW	9
4.	PROSPEZIONE DOWN HOLE	10
4.1.	ACQUISIZIONE	11
4.2.	STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	12
4.3.	PROCESSING INDAGINE DOWN HOLE	13
5.	RISULTATI INDAGINE DOWN HOLE	17
6.	METODO HVSR	20
6.1.	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO	20
6.2.	FREQUENZA FONDAMENTALE DEL SITO	21
6.3.	PROFILI SISMICO-STRATIGRAFICI E PARAMETRO VSEQ	22
6.4.	ACQUISIZIONE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	23
7.	RISULTATI INDAGINI HVSR	25
8.	METODO DELLA RESISTIVITÀ ELETTRICA (ERT)	26
8.1.	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO	26
8.2.	PROPRIETÀ ELETTRICHE DEL SUOLO ED INTERPRETAZIONE DEI VALORI DI RESISTIVITÀ	28
8.3.	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	32
8.4.	SCHEMA DI ACQUISIZIONE	33
8.5.	PROCESSING	34
9.	RISULTATI INDAGINI ERT	36
10.	INDAGINI SEV	36
10.1.	PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO	36
11.	RISULTATI INDAGINI SEV	37
12.	CONCLUSIONI	38
13.	BIBLIOGRAFIA	40
	ALLEGATI	41

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche realizzate nella provincia di Trento. In dettaglio, sono state eseguite n°3 prospezione MASW, n°5 prospezione down-hole, n° 2 indagini HVSR e n°2 indagine di tomografia elettrica ERT n°2 indagine sondaggi elettrici verticali (SEV). La tomografia elettrica risulta parzialmente sovrapposta alla MASW 1 e all'HVSR. (Fig.1). Le indagini sono state realizzate nel mese di aprile 2021.

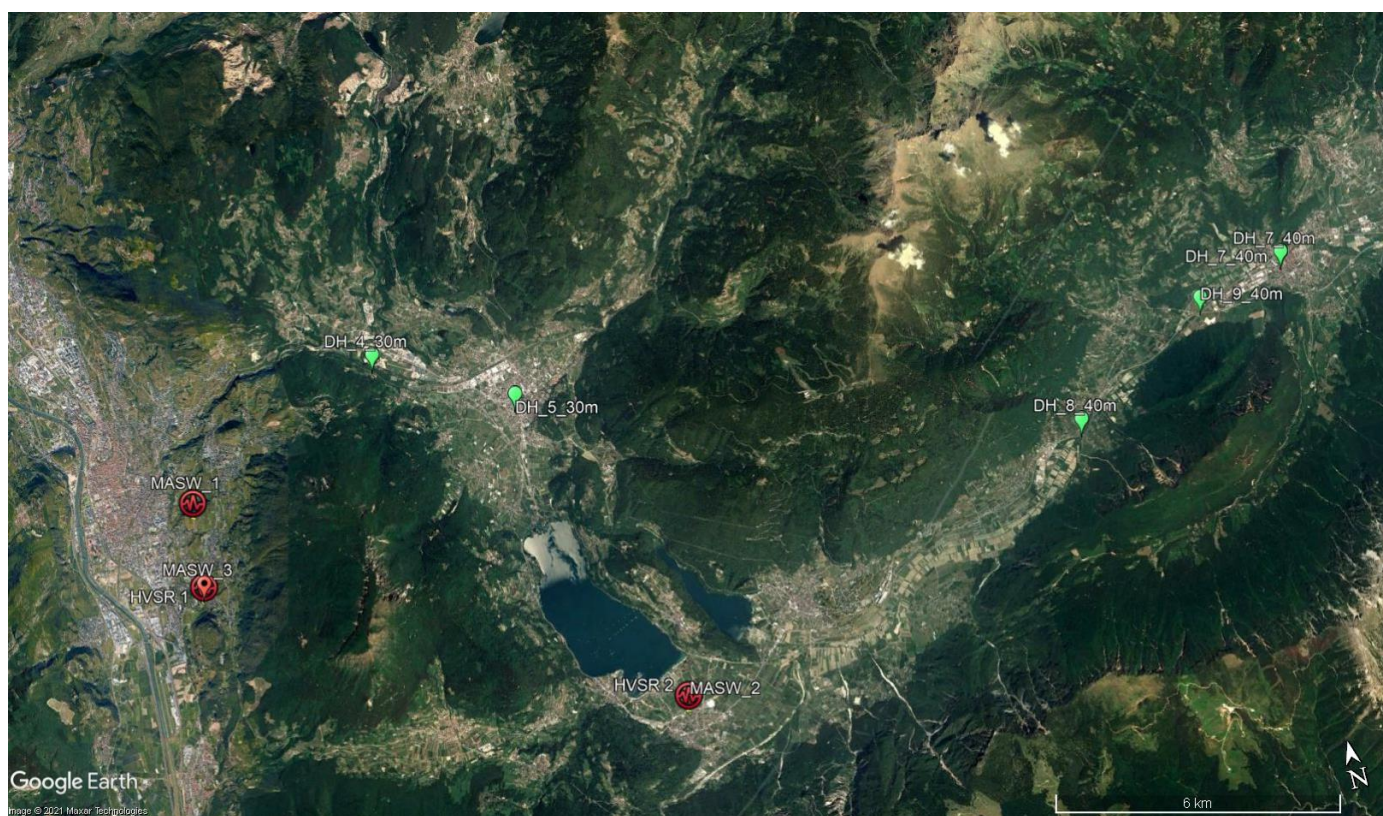


Figura 1 - Ubicazione Indagini.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

Si riporta di seguito il riepilogo delle indagini svolte:

ID Prova	Lunghezza (m)	Coordinate inizio linea (A)	Coordinate fine linea (B)
MASW 1	80	46° 3'21.39"N11°8'32.00"E	46° 3'20.01"N11°8'35.19"E
MASW2	79	45°59'49.87"N 11°15'45.06"E	45°59'50.10"N11°15'48.74"E
MASW 3	67	46° 2'22.04"N11°8'25.77"E	46° 2'23.80"N11°8'27.72"E
ERT1	70	46° 3'2.83"N11°27'20.30"E	46° 3'3.99"N 11°27'17.46"E
ERT2	71	45°59'49.84"N 11°15'45.08"E	45°59'50.10"N 11°15'48.38"E

ID Prova	Coordinate
HVSR 1	46° 2'22.49"N,11°8'26.53"E
HVSR 2	45°59'49.83"N,11°15'46.95"E
DH4_30	46° 4'29.23"N11°11'58.79"E
DH5_30	46° 3'37.92"N11°14'9.68"E
DH7_40	46° 3'2.86"N 11°27'18.97"E
DH8_40	46° 1'43.58"N11°23'15.56"E
DH9_40	46° 2'45.53"N11°25'46.16"E
SEV1	46° 3'2.83"N11°27'20.30"E
SEV2	46° 3'2.83"N11°27'20.30"E

Tabella 1 - Coordinate indagini

2. METODO MASW

2.1. Principi di funzionamento e cenni sul metodo

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

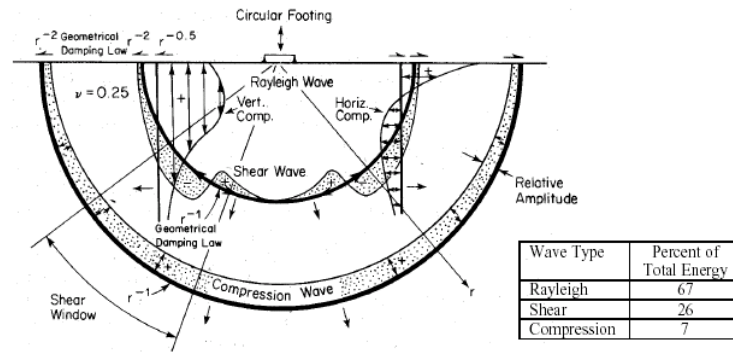


Figura 2 - Distribuzione delle onde di Rayleigh nel sottosuolo.

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

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

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

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

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO	1:	Tratta	Trento-Borgo	Valsugana	Est
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 5 di 42

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

2.2. Strumentazione impiegata

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

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

Nel dettaglio:

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

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

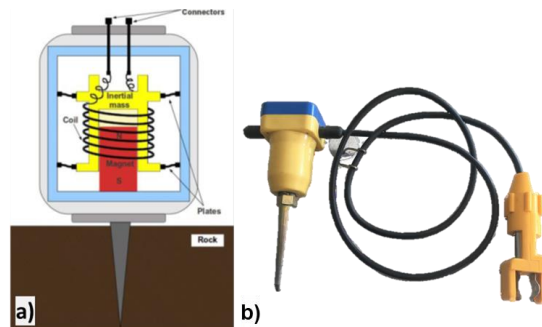


Figura 3 – Geofoni per onda P ed Sh; a) schema di funzionamento del geofono per onda P; b) geofono per onda P con frequenza caratteristica di 4.5 Hz.

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

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



Figura 4 - Sismografo *GEODE* (Geometrics).

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

Tabella 2 - Specifiche tecniche Sismografo *GEODE*.

2.3. Schema di acquisizione

Gli stendimenti sismici sono stati realizzati utilizzando 24 canali d'acquisizione (geofoni) con passo intergeofonico pari a 3 m (Fig. 5). L'acquisizione dei dati sismici è stata condotta secondo la seguente configurazione spazio temporale:

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



Figura 5 - Fasi di acquisizione

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

3. RISULTATI INDAGINI MASW

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.

Sulla base dei sismo-strati individuati, è stato calcolato un parametro di Vs Equivalente pari a 366 m/s per la MASW 1, 450 m/s per la MASW 2 e 527 m/s per la MASW 3. Pertanto, si riscontra la presenza di terreno che va a collocarsi nella categoria di suolo **B**, secondo la nuova normativa NTC2018.

L'indagine MASW 1 ha fornito delle informazioni riguardanti la presenza del bedrock sismico ad una profondità poco superiore ai 26 m dal p.c.; per tale motivo i grafici Velocità-Profondità in allegato grafico mostrano i valori di Vs fino a 26 m dal piano campagna.

La MASW 1 mostra due principali aumenti di velocità, uno a circa 3 m dal p.c. in cui le Vs aumentano da 180 e 200 m/s e un altro a circa 16 m dal p.c. in cui le Vs aumentano a 690 m/s. Il bedrock sismico è stato intercettato a circa 25 m di profondità con Vs che aumentano fino a 870 m/s.

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)	V _{seq(0-30)}	366 m/s
1	0.00	1.00	1.00	180.00		
2	1.00	3.80	2.80	200.00		
3	3.80	10.00	6.20	220.00	Suolo	B
4	10.00	25.90	15.90	690.00		
5	25.90	inf.	inf.	870.00		

Tabella 3 - Modello 1D Vsh, V_{seq(0-30)} e categoria di suolo

La MASW 2 mostra due principali aumenti di velocità, uno a circa 4 m dal p.c. in cui le Vs aumentano da circa 190 e 425 m/s e un altro a circa 20 m dal p.c. in cui le Vs aumentano a 650 m/s.

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)	V _{seq(0-30)}	400 m/s
1	0.00	2.00	2.00	175.00		
2	2.00	4.10	2.10	191.00		
3	4.10	19.80	15.70	425.00	Suolo	B
4	19.80	inf.	inf.	650.00		

Tabella 4 - Modello 1D Vsh, V_{seq(0-30)} e categoria di suolo

La MASW 3 mostra due principali aumenti di velocità, uno a circa 3.5 m dal p.c. in cui le Vs aumentano da 300 e 340 m/s e un altro a circa 16 m dal p.c. in cui le Vs aumentano a 540 m/s.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)	V _{seq(0-30)}	519 m/s
1	0.00	1.00	1.00	300.00		
2	1.00	4.50	3.50	340.00		
3	4.50	16.80	12.30	540.00		
4	16.80	24.90	8.10	600.00		
5	24.90	inf.	inf.	650.00		
					Suolo	B

Tabella 5 - Modello 1D Vsh, V_{seq(0-30)} e categoria di suolo

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

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, solitamente intorno al 60 - 70%, raggiungono il geofono quando il primo fronte d'onda compressiva è già transitato. Questo passaggio, purtroppo, costituisce un disturbo per la misura delle onde trasversali, in quanto i geofoni orizzontali si trovano ancora in movimento all'arrivo dell'onda Sh. Per migliorare il rapporto fra l'energia dell'onda compressiva P e l'energia dell'onda trasversale S a favore di quest'ultima, si realizza una doppia energizzazione orizzontale con verso opposto. La sottrazione delle forme d'onda relative a queste due acquisizioni, riduce sensibilmente la componente compressiva presente nel segnale. Tali prove forniscono una dettagliata stratigrafia di velocità delle onde compressive (V_p) e delle onde di taglio (V_{sh}).

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

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. 6 e 7) facendo partire, per mezzo del trigger, la registrazione del segnale acquisita secondo i seguenti parametri:

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

Tabella 6 - Parametri di campionamento prove DH

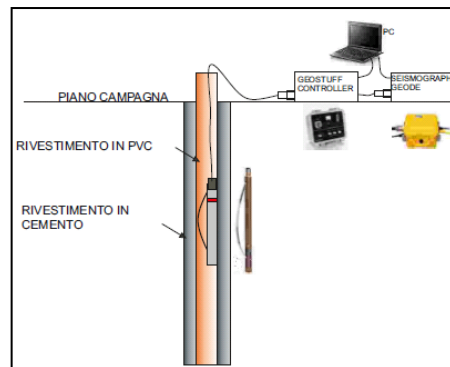


Figura 6 - Schema di acquisizione prova Down-Hole

L'indagine down hole è stata effettuata all'interno del foro del sondaggio S3 (Fig. 7).

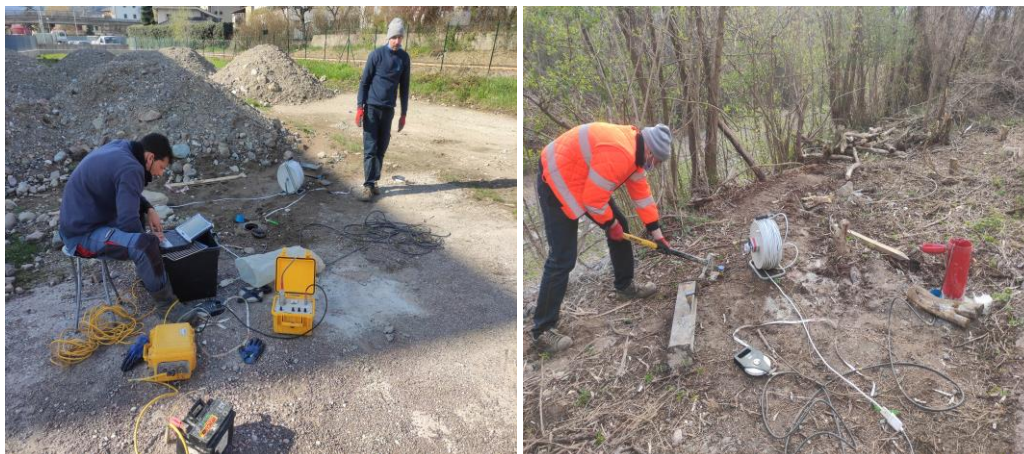


Figura 7 - Fasi di acquisizione

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A



Figura 8 - Geofono da foro "BHG-2 Borehole Geophone"

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

sistema di acquisizione dati: sismografo costituito da un sistema multicanale a conversione digitale. Il modello è denominato *GEODE*. Per i dettagli, si rimanda al paragrafo 2.3.

4.3. Processing indagine Down Hole

La misura dei tempi dei primi arrivi delle onde sismiche deve essere realizzata con precisione e con un dettaglio pari a circa un decimo di millisecondo. La prima fase dell'elaborazione consiste nella determinazione dei primi arrivi sia delle onde P che delle onde Sh. Il picking dei tempi delle onde P è una operazione relativamente semplice, mentre per la corretta individuazione dei tempi di arrivo delle onde Sh, è necessario evidenziare l'inversione di fase dell'onda di taglio. A tale scopo, si effettua la sovrapposizione dei sismogrammi ricavati per la stessa profondità dai due punti di battuta; la corretta localizzazione delle onde Sh si avrà quando, sovrapponendo

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1:	Tratta	Trento-Borgo	Valsugana	Est	
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 14 di 42

le tracce, si noterà un movimento uguale ed opposto della fase d'onda. La prima operazione da fare è la correzione, sulla verticale, dei tempi di tragitto (t) misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore per tenere conto della distanza tra la sorgente e il bocca-foro. Con i tempi corretti si realizza il grafico (Tcorr, z), sia per le onde P che per le onde Sh. Le velocità dei terreni investigati vengono finalmente ottenute in maniera indiretta con il "metodo intervallo": i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due posizioni consecutive del ricevitore posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (velocità d'intervallo). La seconda fase consiste nel calcolo delle dromocrone; la velocità media delle onde sismiche, in strati omogenei di terreno, è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali. Successivamente alla costruzione delle dromocrone ed alla determinazione della velocità di propagazione del segnale sismico nei diversi strati di terreno, si potranno calcolare i moduli elastici caratteristici avendo informazioni sulla densità dei litotipi incontrati durante la perforazione.

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

$$E = \sigma/\epsilon$$

Con σ : sforzo, viene misurato in Pascal; ϵ : deformazione, è una grandezza adimensionale, spesso la si esprime in percentuale. Il modulo di Young viene determinato dal diagramma sforzo-deformazione mediante la formula appena vista, nel tratto in cui il materiale subisce una deformazione elastica (ovvero rimuovendo lo sforzo il materiale deve essere in grado di ritornare alle dimensioni iniziali, Fig. 9).

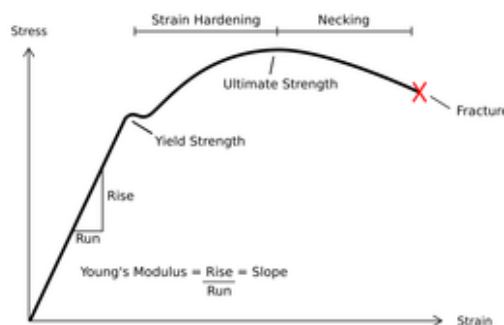


Figura 9 - Diagramma sforzo - deformazione di un materiale duttile

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 $\delta l/2$ nel senso delle z positive e $\delta l/2$ nel senso opposto. In pratica è come se una faccia rimanesse ferma e si producesse uno spostamento di δl . 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:

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

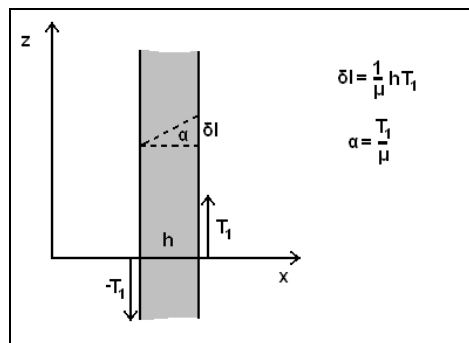


Figura 10 - Esempio di resistenza al taglio

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

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

	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 16 di 42

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

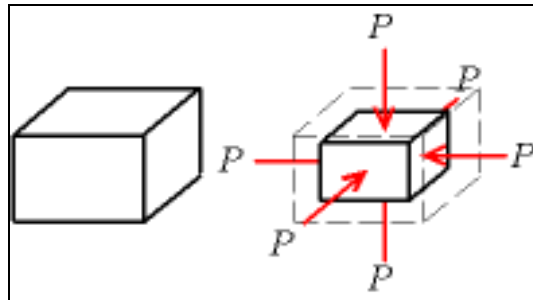


Figura 11 - Esempio di compressione uniforme

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

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

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

$$t_{corr} = \frac{z}{r} t .$$

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

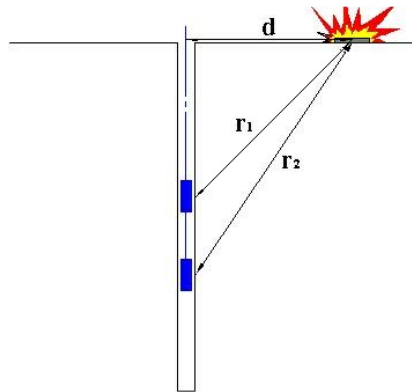


Figura 12 - Diagramma di una down-hole utilizzando il metodo d'intervallo.

Attraverso le misurazioni ottenute, è possibile calcolare il range di velocità delle onde P e S (Fig. 13), con la seguente formula:

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

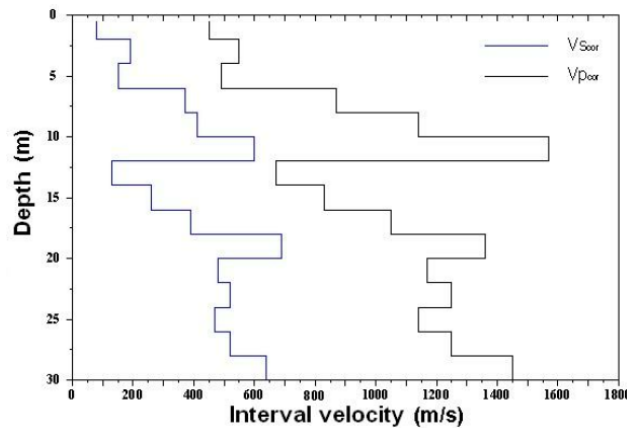


Figura 13 - Profilo di velocità sismica col metodo d'intervallo.

5. RISULTATI INDAGINE DOWN HOLE

La prova down-hole, effettuata nel foro di sondaggio TN4, non ha evidenziato la presenza di bedrock sismico ($V_s > 900$ m/s) entro i primi 30 m di terreno indagato. Nello specifico, la prova DH evidenzia, fino a 2 m dal p.c., la presenza di materiale di limo e terreno organico caratterizzato da valori medi di V_p di 970 m/s e di V_s di 149.14 m/s. Da 9 m a 19 m di profondità si riscontra la presenza di ghiaia sabbioso limosa e epiclastite ricca in quarzo

fratturata caratterizzata da valori crescenti di Vp e Vs fino a circa 2039 m/s e Vs di 693 m/s, rispettivamente. A circa 30 m di profondità si evince la presenza di alternanza di diorite e epiclastite poco fratturate che restituiscono valori di Vp e Vs di 2953 m/s e 907 m/s, rispettivamente.

Profondità	Vp (m/s)	Vs (m/s)	V _{seq(0-30)}	436 m/s
2.00	377.47	149.14		
9.00	1514.79	562.63	Suolo	B
19.00	2039.72	693.76		
30.00	2953.51	907.03		

Tabella 7 – Risultati prova DH

La prova down-hole, effettuata nel foro di sondaggio TN5, non ha evidenziato la presenza di bedrock sismico (Vs > 459 m/s) entro i primi 30 m di terreno indagato. Nello specifico, la prova DH evidenzia, fino a 2 m dal p.c., la presenza di materiale di riporto e sabbia ghiaiosa e limo caratterizzato da valori medi di Vp di 440 m/s e di Vs di 188 m/s. Da 8 m a 14 m di profondità si riscontra la presenza di ghiaia e sabbia da valori crescenti di Vp e Vs fino a circa 880 m/s e di 286 m/s, rispettivamente. Da 14 m a 30 m di profondità si riscontra la presenza di limo con ghiaia e sabbia caratterizzata da valori di Vp di 2049 m/s e Vs di 459 m/s. A circa 30 m di profondità si evince la presenza di ghiaia sabbiosa e limosa che restituiscono valori di Vp e Vs di 2049 m/s e 459 m/s, rispettivamente.

Profondità	Vp (m/s)	Vs (m/s)	V _{seq(0-30)}	332 m/s
2.00	440.94	188.09		
8.00	633.06	251.47	Suolo	C
14.00	880.59	286.26		
30.00	2049.87	459.77		

Tabella 7 – Risultati prova DH

La prova down-hole, effettuata nel foro di sondaggio TN7, non ha evidenziato la presenza di bedrock sismico (Vs > 525 m/s) entro i primi 40 m di terreno indagato. Nello specifico, la prova DH evidenzia, fino a 8 m dal p.c., la presenza di materiale di riporto e ciottoli e ghiaie caratterizzato da valori medi di Vp di 611 m/s e di Vs di 239 m/s. Da 8 m a 21 m di profondità si riscontra la presenza ghiaia sabbiosa e argilla limosa caratterizzata da valori crescenti di Vp e Vs fino a circa 1236 m/s e di 400 m/s, rispettivamente. A circa 40 m di profondità si evince la presenza di ghiaie e sabbie che restituiscono valori di Vp e Vs di 1470 m/s e 525 m/s, rispettivamente.

Profondità	Vp (m/s)	Vs (m/s)	V _{seq(0-30)}	439 m/s
8.00	611.19	239.47		
21.00	1236.70	400.96	Suolo	-
24.00	936.12	323.73		
40.00	1478.01	525.65		

Tabella 8 – Risultati prova DH

La prova down-hole, effettuata nel foro di sondaggio TN8, non ha evidenziato la presenza di bedrock sismico ($V_s > 353$ m/s) entro i primi 40 m di terreno indagato. Nello specifico, la prova DH evidenzia, fino a 1 m dal p.c., la presenza di materiale di riporto caratterizzato da valori medi di Vp di 382 m/s e di Vs di 151 m/s. Da 2 m a 6 m di profondità si riscontra la presenza di argilla e ghiaia caratterizzata da valori crescenti di Vp e Vs fino a circa 794 m/s e di 218 m/s, rispettivamente. Da 14 m a 29 m di profondità si riscontra alternanza di limo e sabbia caratterizzata da valori crescenti di Vp e Vs fino a circa 1286 m/s e di 320 m/s, rispettivamente. A circa 40 m di profondità si evince la presenza di ghiaia poligenica eterometrica molto addensata che restituiscono valori di Vp e Vs di 1793 m/s e 433 m/s, rispettivamente.

Profondità	Vp (m/s)	Vs (m/s)	V _{seq(0-30)}	353 m/s
1.00	382.39	151.76		
6.00	794.13	218.34	Suolo	C
14.00	973.30	285.16		
29.00	1286.14	320.03		
40.00	1793.73	433.80		

Tabella 9 – Risultati prova DH

La prova down-hole, effettuata nel foro di sondaggio TN9, non ha evidenziato la presenza di bedrock sismico ($V_s > 336$ m/s) entro i primi 40 m di terreno indagato. Nello specifico, la prova DH evidenzia, fino a 5 m dal p.c., la presenza di ghiaie e sabbie caratterizzato da valori medi di Vp di 674 m/s e di Vs di 245 m/s. Da 5 m a 16 m di profondità si riscontra la presenza limo sabbiosa caratterizzata da valori crescenti di Vp e Vs fino a circa 1201 m/s e di 253 m/s, rispettivamente. Da 16 m a 40 m di profondità si riscontra alternanza di argilla con limo caratterizzata da valori crescenti di Vp e Vs fino a circa 1554 m/s e di 336 m/s, rispettivamente.

Profondità	Vp (m/s)	Vs (m/s)	V _{seq(0-30)}	312 m/s
5.00	674.62	245.25		
16.00	1201.64	253.28	Suolo	C
40.00	1554.02	336.16		

Tabella 10 – Risultati prova DH

Per il dettaglio si rimanda all'allegato grafico.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 20 di 42

6. METODO HVSR

6.1. Principi di funzionamento e cenni sul metodo

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

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

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

6.2. Frequenza fondamentale del sito

La prova sismica passiva a stazione singola mette in luce le frequenze alle quali il moto del terreno viene amplificato per risonanza stratigrafica (si ha risonanza stratigrafica quando si è in presenza di terreni di copertura con spessore superiore a tre metri su di un substrato rigido), in quanto il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione. Un suolo vibra con maggiore ampiezza a specifiche frequenze non solo quando è eccitato da un terremoto ma anche quando è eccitato da un tremore di qualsiasi origine. Questo fa sì che la misura delle frequenze di risonanza dei terreni sia possibile ovunque ed in modo semplice, anche in assenza di terremoti. Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla relazione: $f=Vs/4h$ (formula semplificata) dove Vs 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.14a) 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.14b). 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.

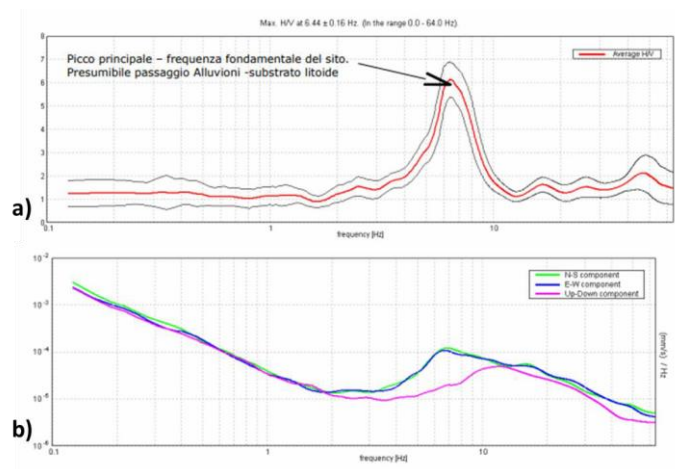


Figura 14 - a) Rapporto spettrale H/V; b) Esempio di spettri a singole componenti

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

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

6.3. Profili sismico-stratigrafici e parametro Vseq

La legislazione antisismica (NTC 2018) adotta come parametro fondamentale per la stima degli effetti di sito la velocità media delle onde di taglio nei metri di sottosuolo fino all'intercettazione del bedrock, parametro comunemente chiamato Vseq. Stime di Vseq sono perciò necessarie quasi ovunque per la microzonazione sia a grande scala che alla scala dei singoli edifici. La curva sperimentale HVSr viene "fittata" con una curva teorica usando come vincolo lo spessore dello strato più superficiale (o altro orizzonte il cui picco H/V è individuabile sulla curva sperimentale) di sottosuolo (generalmente noto dalle indagini geotecniche necessarie per legge per ogni progettazione edilizia, come ad esempio prove penetrometriche; Fig.15), 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 $h = V_s / 4f$).

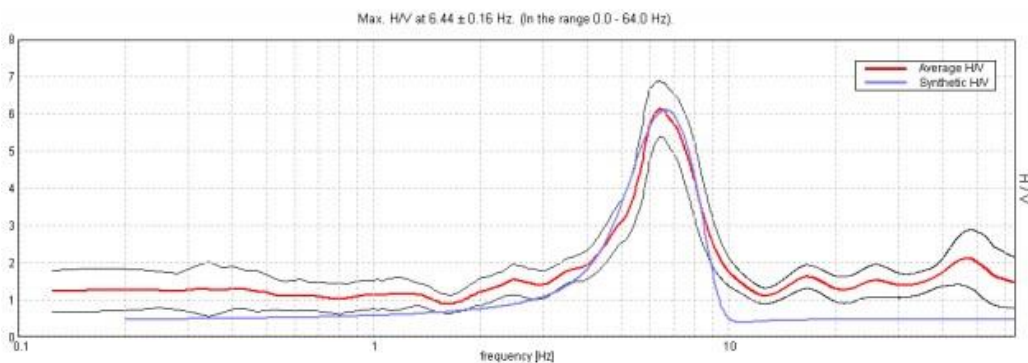


Figura 15 - esempio di fittaggio del modello teorico

	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 23 di 42

6.4. Acquisizione e strumentazione utilizzata

Esistono delle note linee guida (progetto SESAME) per acquisire dati utili alle analisi HVSr (Guidelines for the Implementation of the H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations Measurements, Processing and Interpretation, http://sesame-fp5.obs.ujfgrenoble.fr/Delivrables/Del-D23_HV_User_Guidelines.pdf). I dati vengono acquisiti attraverso il Tromino della Micromed (Fig. 16).



Figura 16 - Tromino della Micromed

In Tabella 7 sono elencate le caratteristiche dello strumento.

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

Tabella 8 - Specifiche tecniche del Tromino

Per tutte le misure l'intervallo di registrazione utilizzato è di 40 minuti con una frequenza di campionamento pari a 128 Hz (Fig. 17). 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,

	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1:		Tratta	Trento-Borgo	Valsugana	Est
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 24 di 42

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

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

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



Figura 17 - Fasi di acquisizione

7. RISULTATI INDAGINI HVSAR

La prova HVSAR1, adiacente alla MASW 3, mostra velocità già abbastanza elevate già dai primi metri e un incremento a 503m/s a 4 m di profondità e un ulteriore aumento di velocità a 16 m di profondità (668 m/s).

Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
3.00	3.00	302
22.00	19.00	590
122.0	100.0	752
inf.	inf.	900

Tabella 9 – H/V1

La prova HVSAR2, adiacente alla MASW 2, mostra un netto aumento delle velocità da 168 m/s a 340 m/s a circa 2 m di profondità; mostra un netto aumento delle velocità da 340 m/s a 565 m/s a circa 11 m di profondità; il basamento sismico è individuato a circa 88 m dal p.c., con valori di velocità che arrivano a 1006 m/s.

Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
2.00	2.00	168
11.00	9.00	340
88.00	77.0	565
inf.	inf.	1006

Tabella 10 – H/V2

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

8. METODO DELLA RESISTIVITÀ ELETTRICA (ERT)

8.1. Principi di funzionamento e cenni sul metodo

Le indagini geoelettriche sono tra i metodi geofisici più utilizzati per lo studio del sottosuolo. Lo scopo è quello di ricavare informazioni riguardanti la geometria e la localizzazione di elementi sepolti geologici (e non) alla luce delle loro proprietà elettriche. In particolare, il metodo della resistività si realizza attraverso la misura della differenza di potenziale elettrico in diversi punti della superficie del terreno. L'obiettivo è quello di ricostruire modelli di resistività del sottosuolo attraverso un processo di inversione dei dati acquisiti in campagna. Questa tipologia di rilievi non invasivi si basa sui principi che descrivono la conduzione elettrica attraverso un mezzo: più una sostanza si lascia attraversare da portatori di carica, più essa viene definita conduttiva; viceversa, essa è definita resistiva. Quando si fanno fluire cariche elettriche attraverso un conduttore è possibile misurare la corrente elettrica (I). In presenza di un conduttore ohmico (ossia per cui vale la legge di Ohm), la corrente elettrica incontra una resistenza (R), misurata in Ohm, che dipende dalla differenza di potenziale (ΔV), misurata in Volt, e dalla corrente (I) secondo la relazione (Legge di Ohm):

$$R = \frac{V}{I} \quad (8.1)$$

Per un conduttore omogeneo (ovvero un corpo in cui ogni sua parte ha le stesse proprietà fisiche), isotropo (ovvero un corpo le cui proprietà fisiche non dipendono dalla direzione lungo le quali vengono considerate) e cilindrico di sezione S e lunghezza l , la resistenza elettrica può essere espressa come:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (8.2)$$

dove con (ρ) si indica la resistività tipica del materiale: la resistività è l'attitudine di un materiale ad opporre resistenza al passaggio delle cariche elettriche. Dall'equazione (8.3) risulta evidente che la resistenza elettrica di un materiale dipende non solo dalle sue proprietà fisiche ma anche dalle sue caratteristiche geometriche.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1:	Tratta	Trento-Borgo	Valsugana	Est	
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 27 di 42

Nel dettaglio, il metodo geoelettrico della resistività prevede l'energizzazione del terreno (generalmente attraverso una batteria) con corrente continua I ed una misura diretta sulla superficie del suolo della differenza di potenziale (ΔV). Combinando le relazioni (8.2) e (8.3) è possibile scrivere la relazione:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (8.3)$$

dove con (K) si indica un fattore geometrico (misurato in metri) e con ρ_a la resistività apparente, la quale è influenzata dal contributo delle diverse resistività degli elementi presenti nel sottosuolo. Nel caso di una misura geofisica, non si verificano le condizioni di omogeneità ed isotropia del mezzo (il sottosuolo è generalmente molto eterogeneo ed anisotropo dal punto di vista elettrico): è pertanto necessario introdurre il concetto di resistività apparente. Un successivo processo di inversione, consente di passare dalle misure di resistività apparente al modello di resistività. Per realizzare misure di resistività si utilizzano 2 elettrodi conduttivi (chiamati convenzionalmente A e B) che, a contatto con il terreno, permettono l'immissione della corrente elettrica. A distanza nota, attraverso altri due elettrodi (chiamati convenzionalmente M e N), viene misurata la differenza di potenziale (ΔV). Questa configurazione è chiamata quadripolo: in Fig. 18, è rappresentato uno schema con il posizionamento dei 4 elettrodi, le linee di corrente e quelle di potenziale. Le cariche, nel passare da un elettrodo all'altro, percorrono linee di corrente a profondità diverse: maggiore è la separazione tra A e B, maggiore è la diffusione della corrente nel terreno (e di conseguenza la profondità raggiunta) e minore è la differenza di potenziale registrata in superficie al centro del quadripolo (con M e N fissati).

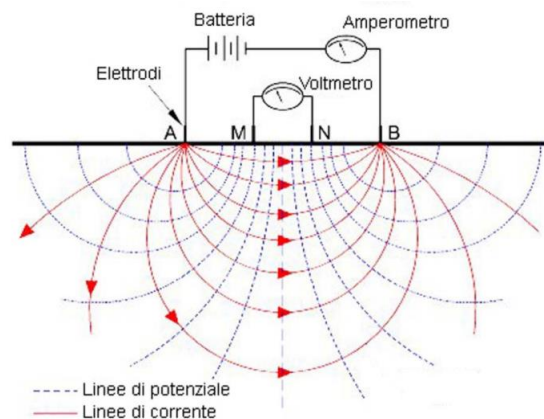


Figura 18 - Schema di un quadripolo: A e B sono gli elettrodi di corrente; M e N sono elettrodi di potenziale. Sono visibili anche le linee di corrente e superfici equipotenziali.

	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 28 di 42

Una volta che posizionati gli elettrodi A, B, M e N, è possibile compiere una misura, immettendo con una corrente elettrica A e B e registrando la differenza di potenziale M e N. Allargando ad ogni misura i quattro elettrodi mantenendo invariato il centro del quadripolo, si ottiene un sondaggio elettrico verticale (SEV), mentre spostando ad ogni misura i quattro elettrodi lungo un allineamento orizzontale si realizza un profilo di resistività a profondità costante. Fissata una linea, è possibile realizzare più profili a profondità crescenti: il risultato è un insieme di misure che formano una sezione 2D di resistività apparente, detta pseudosezione. Un sondaggio elettrico 2D è, pertanto, un'indagine bidimensionale che permette lo studio delle variazioni di resistività sia lungo la direzione verticale sia lungo una direzione orizzontale. Attraverso un processo di inversione, è possibile elaborare le misure di resistività apparente per ottenere un modello 2D di resistività del sottosuolo chiamato "tomografia elettrica": decine di elettrodi vengono impiantati nel terreno e collegati, attraverso cavi elettrici, ad una centralina computerizzata che ne gestisce l'attivazione. Si utilizzano cavi multiconduttori a 24 prese ciascuno; ogni elettrodo (picchetto metallico di lunghezza da 45 – 50 cm) viene infisso nello strato superficiale per una profondità media di 30 cm dal piano campagna e collegato al sistema di cavi. In caso di terreno molto duro ed asfaltato, i fori vengono preventivamente realizzati attraverso l'uso di un trapano a roto-percussione o, in presenza di suoli secchi e/o a granulometria grossolana, si può migliorare il contatto con l'uso di soluzioni saline (o semplicemente acqua) versate attorno agli elettrodi.

La strumentazione adottata (Syscal Pro switch 96 a commutazione concentrata, prodotto da IRIS Instruments, Francia), permette di eseguire misure di alta precisione, con correnti indotte fino ad oltre 2 Ampere, con compensazione automatica del potenziale spontaneo (caduta di tensione esistente tra due poli in assenza di trasmissione e spesso fortemente variabile nel breve tempo). Il Syscal-Pro, rispetto ai resistivimetri di più classica concezione, ha la possibilità di ricevere 10 coppie di elettrodi contemporaneamente, abbattendo di un ordine di grandezza il tempo necessario per l'acquisizione. Sia nel caso di indagini 1D che 2D, la metodologia di acquisizione può variare a seconda di come vengono posizionati sul terreno gli elettrodi di corrente e di potenziale: le configurazioni più comuni sono chiamate Wenner, Schlumberger, polo – dipolo e dipolo – dipolo.

8.2. Proprietà elettriche del suolo ed interpretazione dei valori di resistività

La resistività dei materiali è controllata da molteplici fattori e principalmente da:

- grado di saturazione dei pori;

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

- porosità;
- salinità del fluido (se presente nei pori);
- temperatura;
- eventuale presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.);
- presenza di argilla;
- presenza di minerali particolari (ad esempio metalli pesanti, miche);
- grado di compattazione.

La relazione empirica proposta da Archie è valida per suoli aventi scarsa componente argillosa (sabbie, ghiaie):

$$\rho_s = \rho_f a \phi^{-n} S^{-m} \quad (2.4)$$

dove:

- ρ_s è la resistività (espressa in Ohm·m, di seguito indicata con $\Omega \cdot m$) del suolo parzialmente saturo di fluido;
- ρ_f è la resistività ($\Omega \cdot m$) del fluido presente nei pori;
- S è la frazione del volume di pori occupata dal fluido;
- m è il coefficiente di saturazione (solitamente assunto essere pari a 2);
- a è la costante empirica di Winsaur (es. per la sabbia pari a 0.62);
- n è il coefficiente empirico, detto di "tortuosità" (es. per la sabbia pari a 2.15);
- ϕ è la porosità del suolo.

La resistività del fluido ρ_f è calcolabile, qualora si conoscano le concentrazioni di ioni in soluzione (ad es. Cl-, SO4=, NO3-, ecc.), utilizzando la formula:

$$\rho_f = 0.0123 + 10^{(3.562 - 0.955 \log_{10} C)} \quad (8.5)$$

dove C è la somma delle concentrazioni (pesate da opportuni coefficienti ricavati sperimentalmente per ciascun ione) di tutti gli ioni presenti. Nel caso di presenza di argilla, i cationi adsorbiti sulla superficie delle particelle di tale sostanza, offrono cammini addizionali per la corrente elettrica e quindi aumentano la conducibilità dei sedimenti. Esistono relazioni semi-empiriche valide per il calcolo della resistività di sedimenti con componente argillosa non trascurabile, che non riporteremo in questo contesto. La distribuzione della resistività nel sottosuolo

consente di discriminare eventuali variazioni nella risposta elettrica dei terreni dovute alla presenza, al suo interno, di sostanze o materiali stessi diversi dal terreno che li ingloba, ovvero rispetto alle variazioni di un normale schema geologico-stratigrafico. Alla luce di tutti i parametri di influenza citati in precedenza, si riportano i valori di resistività di alcuni terreni e materiali; si nota che il *range* di variazione della resistività può essere molto ampio (Palacky, 1988): nei materiali granulari, da grossolani a fini, piccole variazioni del contenuto in argilla o del fuso granulometrico possono comportare notevoli cambiamenti nella resistività del materiale. Nei materiali lapidei, invece, è la fatturazione e/o la porosità ad essere il principale fattore di controllo (Tab. 10).

Rocce e minerali metallici	Resistività ($\Omega \cdot m$)
Sedimentarie	
Calcare	50 + 150
Argilla	1 + 100
Ghiaia	100 + 5000
Calcare compatto	50 + 10^7
Marna	1 + 100
Quarzite	10 + 10^8
Argilla	10 + 1000
Sabbia	500 + 5000
Arenaria	1 + 10^8
Ignee e Metamorfiche	
Basalto	10 + 10^7
Gabbro	$10^3 + 10^6$
Granito	$10^2 + 10^6$
Marmo	$10^2 + 10^8$
Scisto	10 + 10^4
Ardesia	$10^2 + 10^7$
Minerali e minerali metallici	
Argento	$1.6 \cdot 10^{-8}$
Grafite (giacimento massivo)	$10^{-4} + 10^{-3}$
Galena (Pbs)	$10^{-3} + 10^2$
Magnetite di giacimento	1 + 10^5
Sfalerite (ZnS)	$10^3 + 10^6$
Pirite	10^2
Calcopirite	$10^{-5} + 0.3$
Quarzo	$10^{10} + 2 \cdot 10^{14}$
Salgemma	10 + 10^{13}
Acque ed effetto del contenuto in sale	
Acqua pura	10^6
Acque naturali	1 + 10^3
Acqua di mare	0,2
Sale 20%	$5 \cdot 10^{-2}$
Granito 0% di acqua	10^{10}
Granito 0,19% di acqua	10^6
Granito 0,31% di acqua	$4 \cdot 10^3$

Tabella 11 - Riepilogo delle resistività dei principali materiali

Quindi, in linea generale, la distribuzione della resistività elettrica consente di discriminare eventuali variazioni nei geo-materiali dovute a:

- presenza di litologie differenti o con caratteristiche di maggiore o minore cementazione;
- fratture o discontinuità tettoniche;

	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1:		Tratta	Trento-Borgo	Valsugana	Est
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 31 di 42

- presenza di sostanze fluide a comportamento elettrico resistivo o conduttivo all'interno dei pori;
- presenza di argilla (i cationi adsorbiti sulla superficie delle particelle di tale sostanza offrono cammini addizionali per la corrente elettrica e quindi aumentano la conducibilità dei sedimenti).

Inoltre, la resistività è strettamente dipendente dalla temperatura. In particolare, tale dipendenza è espressa dalla seguente relazione:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha_0 T) \quad (2.6)$$

dove ρ è la resistività alla temperatura T , ρ_0 è la resistività a 0°C e α_0 è il coefficiente di temperatura della resistività riferito alla temperatura di 0°C . L'equazione è valida in un intervallo di temperatura di alcune centinaia di gradi ed il coefficiente di temperatura della resistività può essere positivo o negativo. Se il materiale considerato è una roccia, la relazione che lega la resistività alla temperatura è ancora più complessa. Infatti, essendo la roccia un aggregato di più minerali, per definire il comportamento elettrico delle rocce in funzione delle variazioni di temperatura, bisogna studiare non solo le relazioni di ogni minerale in essa presente, ma anche le relazioni tra i diversi meccanismi di conduzione. Infatti, i minerali possono presentare una conducibilità metallica, essere dei semiconduttori o, come nella maggior parte dei casi, essere degli elettroliti solidi. La minima conduzione elettrica che può avvenire negli elettroliti solidi è dovuta alle imperfezioni reticolari per temperature inferiori a $500 - 600^\circ\text{C}$, o può essere causata dalla temperatura per valori più elevati di 600°C (Keller & Rapolla; 1974). A complicare ulteriormente la relazione tra resistività e temperatura vi è il fatto che le rocce a temperatura ambiente presentano una certa quantità d'acqua che, se è presente in quantità tale da formare almeno una pellicola continua sulle pareti dei pori (in genere superiore al 10% della quantità totale di acqua che potenzialmente la roccia può contenere), le proprietà elettriche cambiano sensibilmente. Esse dipenderanno, quindi, anche dalle caratteristiche elettriche della soluzione a contatto con la roccia.

La temperatura è legata alla resistività da una relazione di tipo inverso: all'aumentare della temperatura la viscosità dell'acqua diminuisce e quindi gli ioni in essa presenti godono di una mobilità maggiore. Come già accennato, il parametro della resistività è influenzato anche da: tessitura, porosità, grado di cementazione, contenuto argilloso e salinità della soluzione acquosa che imbibisce la formazione. Le rocce con tessitura granitica conducono l'elettricità lungo le fessure o i giunti di strato per cui presentano generalmente una resistività alta; un'arenaria ben selezionata ha una resistività più bassa rispetto ad un'arenaria meno selezionata. Sperimentalmente si verifica, inoltre, che, a parità di contenuto e tipo d'acqua, una roccia vulcanica presenterà

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

una resistività più alta di una roccia sedimentaria con la stessa porosità. La causa è da ricercarsi, molto probabilmente, nella differenza tra porosità totale e porosità utile che caratterizza le due litologie (Fig. 19).

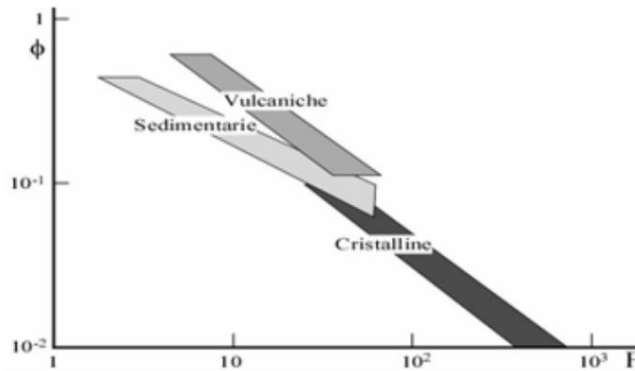


Figura 19 - Campi di variazione del fattore di formazione F con la porosità Φ per le principali tipologie di rocce saturate (da Keller & Rapolla, 1974).

8.3. Strumentazione utilizzata

Lo strumento di acquisizione utilizzato, il georesistivimetro multielettrodo e multicanale IRIS SYSCAL PRO (Fig. 20; Tab. 11), è capace di gestire contemporaneamente oltre 256 elettrodi e di personalizzare, tramite specifico software applicativo, tutte le misure desiderate e la loro posizione nel sottosuolo. È uno strumento a 10 canali di ricezione, ovvero consente l'acquisizione contemporanea di più quadripoli, fino ad un massimo di dieci. Il Syscal ha una precisione strumentale di circa 0.5%, utilizza un'alimentazione in corrente continua fino a 2.5 A ed effettua una compensazione automatica dei potenziali spontanei.

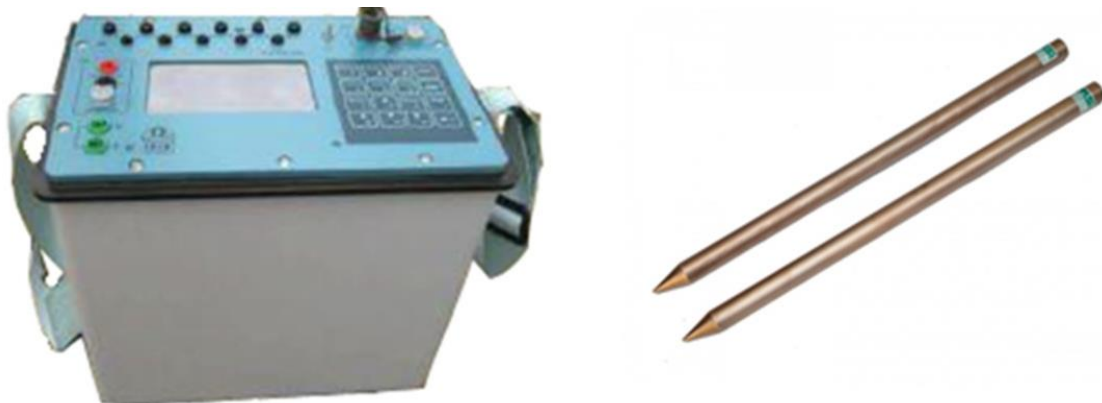


Figura 20 - Georesistivimetro Syscal Pro (IRIS instruments) ed elettrodi di acquisizione.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
	INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A

Specifiche SYSCAL Pro	
Casa produttrice	IRIS Instruments (Orléans, Francia)
Voltaggio massimo	800V in modalità switch
Voltaggio massimo	1000V in modalità manuale
Corrente massima	2.5A, accuratezza 0.2%
Potenza massima	250W con DC/DC interna
Energia	1200 W con AC / DC esterno
Durata dell'impulso	250ms, 500ms, 1s, 2s, 4s o 8s
Risoluzione/precisione	1 μ V / 0,2%
Impedenza di input	100Mohm

Tabella 12 - Specifiche tecniche SYSCAL Pro.

Inoltre, sono stati utilizzati cavi di connessione elettrodi - georesistivimetro schermati, batteria esterna da 12V/65Ah, elettrodi in acciaio inossidabile e una soluzione salina per migliorare l'accoppiamento terreno-elettrodi.

8.4. Schema di acquisizione

ERT2 Lo stendimento di geoelettrica è stato effettuato con passo elettrodo pari a 1.5 m e configurazione elettrodica Polo-Dipolo (Fig. 21). Sono stati utilizzati 48 elettrodi, i quali sono stati installati nel rilevato costituito prevalentemente da terra. Per favorire l'accoppiamento tra gli elettrodi ed il mezzo in cui sono stati collocati, al fine di ottenere una migliore propagazione elettrica, gli elettrodi sono stati bagnati mediante una soluzione salina.



Figura 21 – Fasi di acquisizione

8.5. Processing

I dati acquisiti sono stati elaborati mediante il software ERTlab 64™ sviluppato e prodotto da Geostudi Astier srl (Livorno, Italia) e dalla Multi-Phase Technologies LLC (Nevada, U.S.A.). Viene effettuato un filtraggio in base ad una serie di criteri:

- Fattore di qualità Q: i valori che eccedono il fattore Q, imposto in fase di acquisizione, vengono esclusi;
- Valori di intensità di corrente I: se troppo bassi non garantiscono un sufficiente rapporto S/N (segnale/rumore);
- Fattore geometrico K: data la rapidità di acquisizione delle moderne attrezzature, si preferisce utilizzare sequenze che presentano anche quadripoli con fattori geometrici K molto elevati. Nel caso in cui i parametri I e Q si rivelino ottimali, si riesce ad ottenere un numero maggiore di dati, in caso contrario i dati con “K” elevato vengono scartati.

Al fine di calcolare un'immagine di resistività dai dati ERT, è necessario effettuare un'inversione che produca un modello in grado di dare una distribuzione spaziale di resistività il più possibile vicina a quella reale del sistema investigato.

L'obiettivo finale è derivare la distribuzione delle proprietà elettriche all'interno del sottosuolo, da un insieme di misurazioni effettuate sul contorno dell'oggetto, o almeno al di fuori della regione di interesse. A tal fine, si

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 35 di 42

ricorre al cosiddetto "modello inverso" ossia, dato un insieme di misurazioni (dati), la distribuzione delle proprietà elettriche (modello) deve essere "coerente" con le resistenze effettivamente misurate. In generale, per formulare il modello inverso, il sottosuolo è suddiviso in celle, ciascuna avente una conduttività σ (o resistività ρ). Ne consegue, quindi, che la distribuzione di conduttività è rappresentata da un vettore di incognite m . Dal momento che le variazioni di conduttività possono essere di vari ordini di grandezza, usualmente il vettore m è dato dai logaritmi della conduttività. Questa trasformazione ha anche il vantaggio di garantire che la soluzione del problema inverso non contenga conduttività elettriche negative. Il modello inverso cerca di determinare il miglior set di parametri che riproduca i dati sperimentali di resistenza tramite calcoli effettuati con il modello diretto.

Il calcolo del miglior set m si effettua minimizzando una funzione obiettivo (Ψ_d), generalmente corrispondente alla norma della differenza pesata tra valori di resistenza misurati d e calcolati con il modello diretto $F(m^*)$. Usare soltanto il *misfit* dei dati causa, però, un sistema contemporaneamente sotto determinato (troppe incognite e poche equazioni) e sovra determinato (solo alcune parti del dominio). Per tale motivo, l'inversione va vincolata, introducendo una funzione di penalità (Ψ_m) alla funzione obiettivo, in modo che l'inversione non conduca a soluzioni diverse da ciò che riteniamo accettabile.

La funzione da minimizzare sarà composta da una funzione obiettivo (Ψ_d), che si occupa dei dati, e una funzione di penalità (Ψ_m) che si occuperà del modello. Resta all'operatore decidere quale peso attribuire ai vari termini: questo viene stabilito sulla base di un fattore peso α (più è piccolo e più pesano i dati rispetto alla *lisciatura*):

$$\Psi(\mathbf{m}) = \Psi_d(\mathbf{m}) + \alpha \Psi_m(\mathbf{m}) \quad (2.14)$$

Le iterazioni del modello inverso si devono fermare una volta che il misfit dei dati è prossimo agli errori dei dati stessi e del modello diretto. A tale scopo, il set di dati di resistività è stato importato su specifico software per la visualizzazione bidimensionale di dati geostatistici (MVS della C-Tech – USA).

Nel dettaglio, il programma di inversione per ogni profilo fornisce: la pseudosezione misurata, che riporta la distribuzione laterale e verticale della resistività apparente in funzione della profondità teorica (i.e., pseudo-profondità); la pseudosezione calcolata, derivata dal modello bidimensionale, relativamente all'iterazione che fornisce il valore più basso di errore percentuale; il modello 2D del terreno che mostra la distribuzione verticale ed orizzontale delle resistività reali.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 36 di 42

L'errore percentuale (espresso come RMS Error) nel modello finale mostra lo scarto esistente tra la pseudosezione misurata e quella calcolata; per i profili esaminati sono stati ottenuti errori RMS bassi (inferiori al 10%).

9. RISULTATI INDAGINI ERT

L'indagine svolta ha consentito di ottenere due tomografie di misura di resistività lungo due profili 2d dell'area d'indagine, che ha permesso di ricostruire le caratteristiche stratigrafiche fino ad una profondità di circa 12-13 m.

Da una prima analisi è possibile definire un modello stratificato con alternanza di elettrostrati a differenti valori di resistività. I valori di resistività misurati presentano un range di resistività compreso tra 10 Ohm·m a 3000 Ohm·m.

In particolare, dall'analisi della tomografia di resistività ERT 1 è possibile definire un modello elettrostratigrafico come descritto: a partire dal p.c., si rileva un costante aumento delle resistività elettriche; in particolare, nel settore sud-est della tomografia si riscontra la presenza di un'area, a circa 7 m dal p.c., caratterizzata da valori di resistività superiori a 1000 Ohm·m associabile alla presenza di ghiaia sabbiosa, come suggerirebbe il sondaggio geognostico TN7. Nel settore nord-ovest dell'area indagata si rileva, a circa 10 – 11 m dal p.c., un'area fortemente conduttiva associabile probabilmente alla presenza di terreni a grana fine.

La tomografia ERT2 mostra la presenza di un elettrostrato fortemente resistivo ($\rho \geq 1000$ Ohm·m) nei primi 5 m dal p.c. suggerendo la presenza di terreni a grana grossa probabilmente arenati e/o antropici. L'assenza di sondaggi geognostici lungo il profilo, non consente di vincolare l'indagine dal punto di vista litologico. Inoltre, al di sotto dei 5 m dal p.c., si riscontra un aumento dei valori di conducibilità il quale suggerirebbe la presenza di litologie caratterizzate da una granulometria più fine; tuttavia sono presenti lenti di materiale mediamente più grossolano.

10. INDAGINI SEV

10.1. Principi di funzionamento e cenni sul metodo

Le misure di resistività elettrica sono state condotte per fornire informazioni sulla resistività elettrica del terreno finalizzata alla progettazione della rete di messa a terra.

La metodologia impiega la stessa strumentazione (IRIS Syscal Pro) e lo stesso principio della tomografia elettrica sopra descritta ma viene limitata alla registrazione di pochi quadrupoli riferiti ad una singola verticale di misura. Questa tecnica consiste nell'aumentare progressivamente la distanza degli elettrodi d'immissione, misurando ogni

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 37 di 42

volta la differenza di potenziale esistente fra due punti, situati a piccola distanza, posti al centro dello stendimento. In questo modo il flusso di corrente penetra sempre più nel sottosuolo interessando così gli strati via via più profondi. Dalle misure così ottenute si costruisce il diagramma di resistività dal quale, tramite opportune elaborazioni, si potrà risalire al profilo elettrico del sottosuolo. Da tutti i grafici ricavati tramite le prospezioni elettriche effettuate in campagna, si ottengono sempre valori di Ra (resistività apparente) e solo nei punti di asintoto si hanno valori molto prossimi alla resistività effettiva.

Al fine di individuare oltre che la resistività effettiva anche lo spessore reale dei vari strati investigati, si devono effettuare opportune interpretazioni. Esse consistono nel mettere a confronto le curve di campagna normalizzate con delle curve teoriche pre-calcolate e riferite ad un'ampia casistica. I SEV sono effettuati aumentando progressivamente la distanza tra gli elettrodi di corrente AB, con lo scopo di aumentare la profondità di penetrazione; la misura dei valori viene effettuata dagli elettrodi di potenziale MN posizionati al centro dello stendimento; il valore di resistività apparente ottenuto ad ogni passaggio è tracciato in funzione di AB/2.

Allo scopo di diminuire la resistenza elettrodo-terreno, risulta necessario infiggere gli elettrodi quanto più in profondità possibile e bagnare il terreno con una soluzione salina. Una resistenza di pochi kohms è ottimale (da 10 a 20 kohm max). I cavi che collegano il SYSCAL agli elettrodi A, B vanno posti il più lontano possibile dai cavi che vanno agli elettrodi M, N per evitare problemi di isolamento. I valori AB/2 sono spazati logaritmicamente (circa 8 valori per decade da 1 a 10, da 10 a 100, da 100 a 1000 m, ecc.). Quando la misurazione diventa rumorosa (standard deviation Q maggiore del 5%), si consiglia di diminuire la resistenza di massa degli elettrodi A, B. La profondità di indagine è dell'ordine del 20% della lunghezza della linea AB. La strumentazione utilizzata per eseguire l'indagine SEV è la stessa utilizzata nell'indagine ERT.

11. RISULTATI INDAGINI SEV

Per ogni distanza AB/2, è stato calcolato il valore di resistività che può essere ritenuto esaustivo del profilo verticale nel punto centrale dello stendimento. Il SEV1 mostra la presenza di due elettrostrati caratterizzati da valori di ρ di circa 460 – 420 Ohm·m collocati, rispettivamente ad una profondità di 0 -1 m e 4 – 11 m dal p.c.; inoltre sono presenti altri due elettrostrati più conduttivi con valori di ρ intorno ai 220 Ohm·m i quali suggerirebbero la presenza di litologie caratterizzata da un aumento di matrice a grana fine.

GRAFICO & TABELLA $\rho - h$

Sismostrato	Profondità		Spessore	Resistività
1	0.00	1.00	1.00	465.00
2	1.00	4.00	3.00	231.00
3	4.00	11.00	7.00	424.00
4	11.00	inf.	inf.	215.00

Tabella 13 – Risultati SEV1

Il SEV2 mostra un graduale decremento dei valori di resistività che passano da circa 620 a 80 Ohm·m ad eccezione di un elettrostrato presente tra 2 e 8 m di profondità caratterizzato da valori di resistività di circa 1180 Ohm·m i quali suggerirebbero la presenza di terreni ghiaiosi e/o arenati.

GRAFICO & TABELLA $\rho - h$

Sismostrato	Profondità		Spessore	Resistività
1	0.00	1.90	1.90	619.00
2	1.90	7.60	5.70	1184.00
3	7.60	9.30	1.70	182.00
4	9.30	32.70	23.40	156.00
5	32.70	inf.	inf.	80.00

Tabella 14 – Risultati SEV2

12. CONCLUSIONI

Si può concludere che l'indagine geofisica eseguita ha permesso di definire le geometrie e gli spessori dei terreni indagati e di evidenziare le eventuali anomalie.

L'area a nord ovest, collocata ai piedi del Monte Marzola, rileva la presenza di terreni particolarmente compatti, talvolta con substrati abbastanza superficiali, che vanno a collocarsi nella categoria di suolo **B**; il sondaggio geognostico TN4 mostra la presenza di epiclastite e diorite a profondità che non superano i 9 m dal p.c.. Tuttavia, ad est del Monte Marzola, nella città di Pergine Valsugana, sia il sondaggio geognostico TN5 che la DH5 eseguita nel medesimo foro, mostrano la presenza di terreno caratterizzato da Vs leggermente inferiori che lo collocano nella categoria di suolo **C**.

A sud del lago Caldonazzo, le indagini geofisiche mostrano la presenza di bedrock a una profondità di circa 75 m e la MASW2 mostra la presenza di litologie che vanno a collocarsi nella categoria di suolo **B**, con assenza di inversioni di velocità. In tale area, ricade la tomografia elettrica ERT2 i cui valori di resistività confermerebbero la presenza di terreni compatti, probabilmente ghiaiosi e alternanze di lenti di materiale a granulometria variabile.

Il settore più a est di tutta l'area è stato indagato attraverso una tomografia elettrica e una serie di indagini DH. In generale, le indagini mostrano la presenza di terreni caratterizzati da velocità Vs inferiori rispetto ai due settori precedentemente descritti. In particolare, le DH8 e DH9 collocano i terreni in categoria **C**; l'indagine DH7 mostra, tuttavia, la presenza di un'inversione di velocità in corrispondenza dello strato di argilla evidenziato dal sondaggio TN7.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA					
	LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est					
INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA IT1J	LOTTO 10	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 0005 001	REV. A	FOGLIO 40 di 42

13. BIBLIOGRAFIA

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

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

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

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

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

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

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

Watanabe T. & Sassa K., 1995. Velocity and amplitude of P-waves transmitted through fractured zones composed of multiple thin low-velocity layers. *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.

ALLEGATI



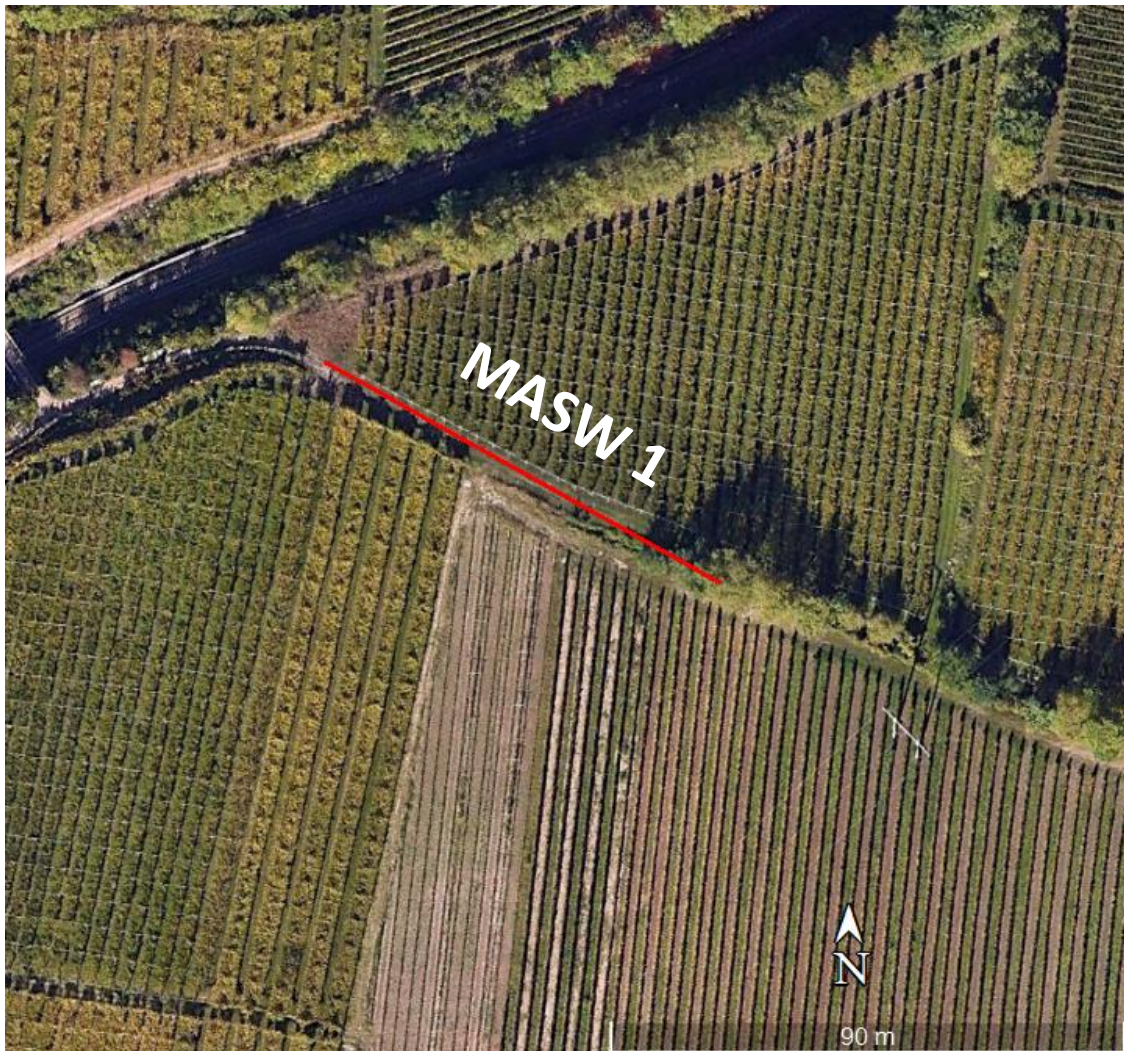
TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	MASW 1		
DATA DI ESECUZIONE	15/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 3'20.74"N	
	X	11° 8'33.44"E	

UBICAZIONE





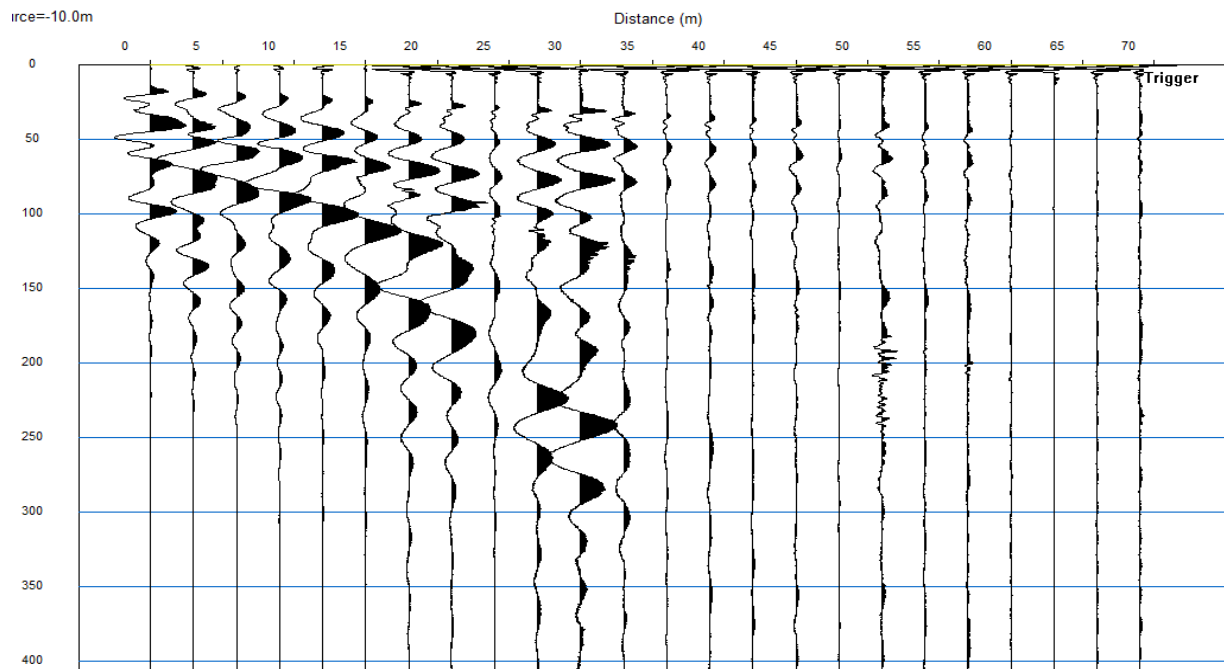
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	MASW 1		
DATA DI ESECUZIONE	15/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 3'20.74"N	
	X	11° 8'33.44"E	

SISMOGRAMMA





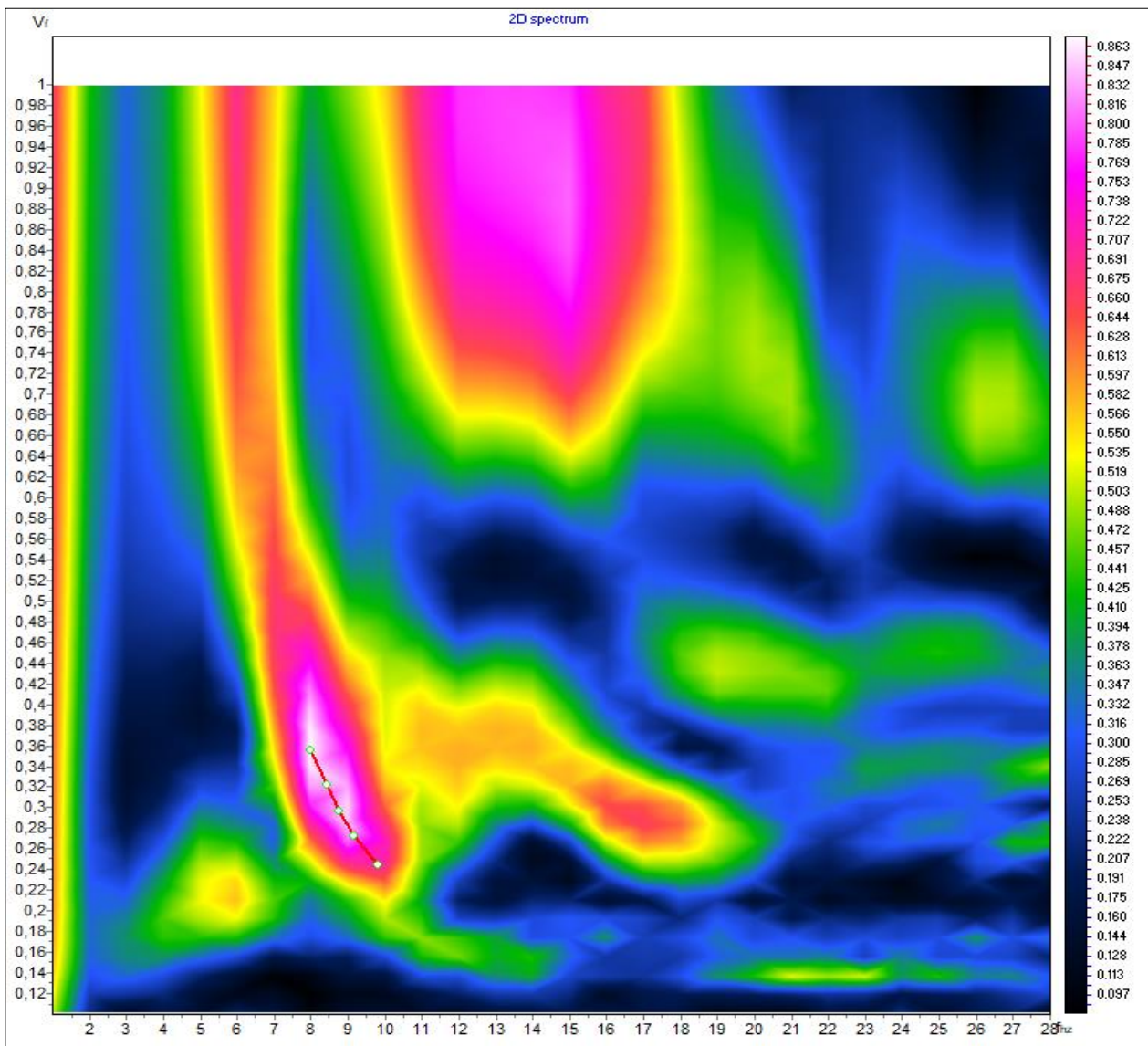
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	MASW 1		
DATA DI ESECUZIONE	15/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 3'20.74"N	
	X	11° 8'33.44"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

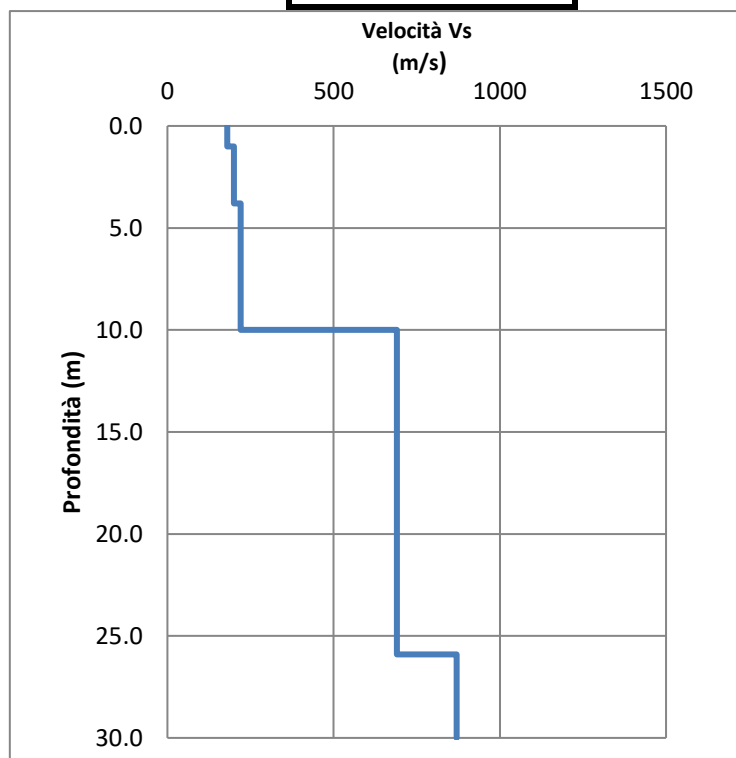
MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	MASW 1		
DATA DI ESECUZIONE	15/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 3'20.74"N	
	X	11° 8'33.44"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	1.00	1.00	180.00
2	1.00	3.80	2.80	200.00
3	3.80	10.00	6.20	220.00
4	10.00	25.90	15.90	690.00
5	25.90	inf.	inf.	870.00

Vs eq (0-25.9) **366**
Suolo B





TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Caldonazzo (TN)		
NOME TEST:	MASW 2		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Lat.	45°59'49.93"N	
	Long.	11°15'46.76"E	

UBICAZIONE





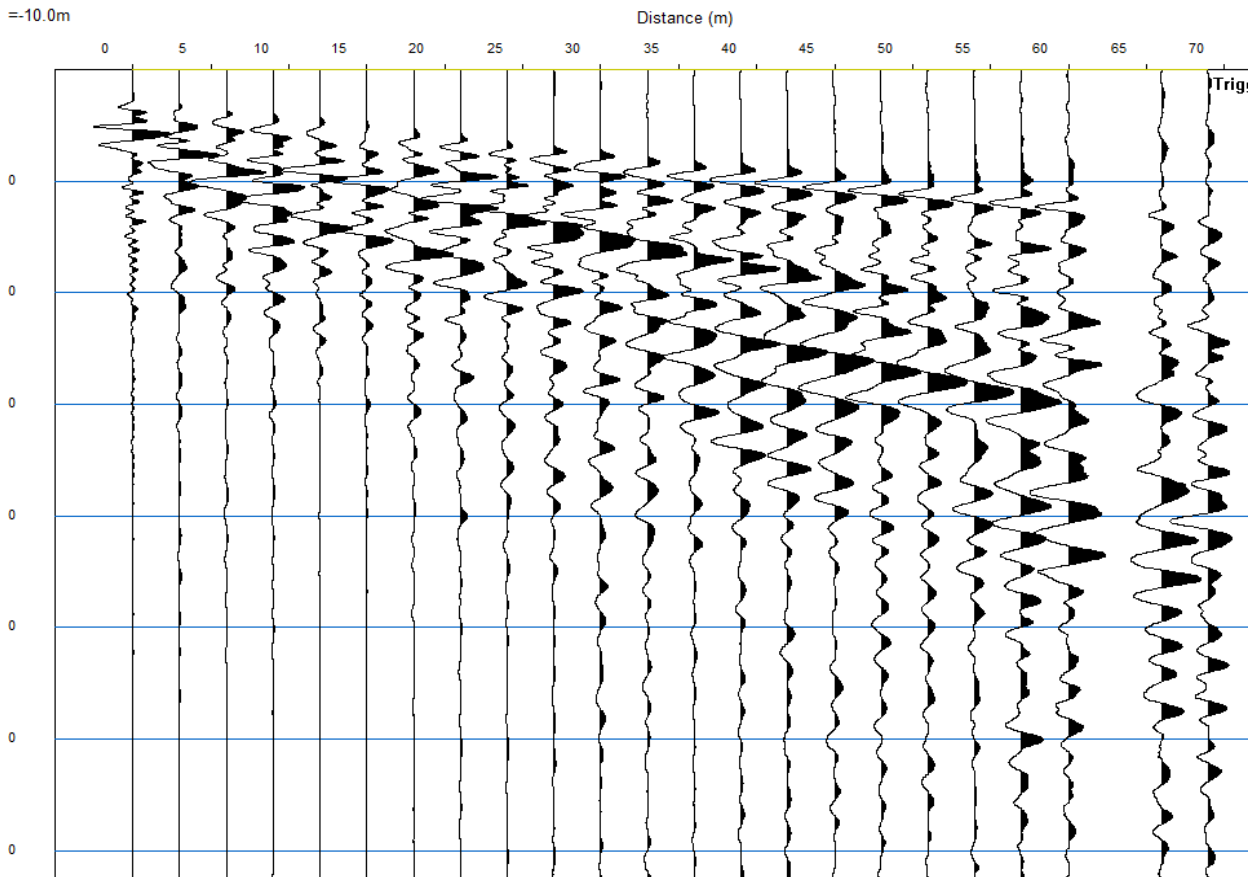
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Caldonazzo (TN)		
NOME TEST:	MASW 2		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Lat.	45°59'49.93"N	
	Long.	11°15'46.76"E	

SISMOGRAMMA





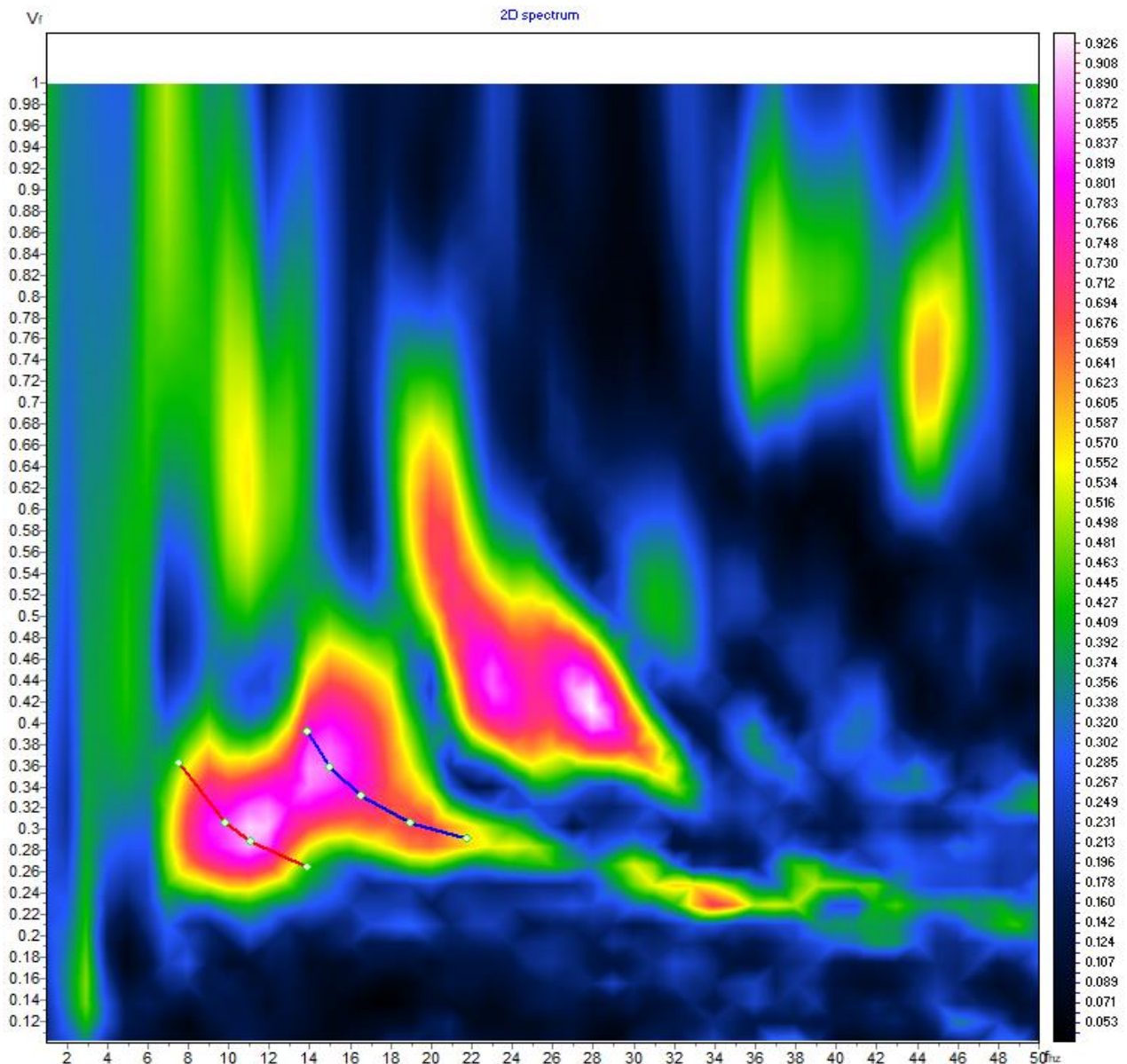
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Caldonazzo (TN)		
NOME TEST:	MASW 2		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Lat.	45°59'49.93"N	
	Long.	11°15'46.76"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

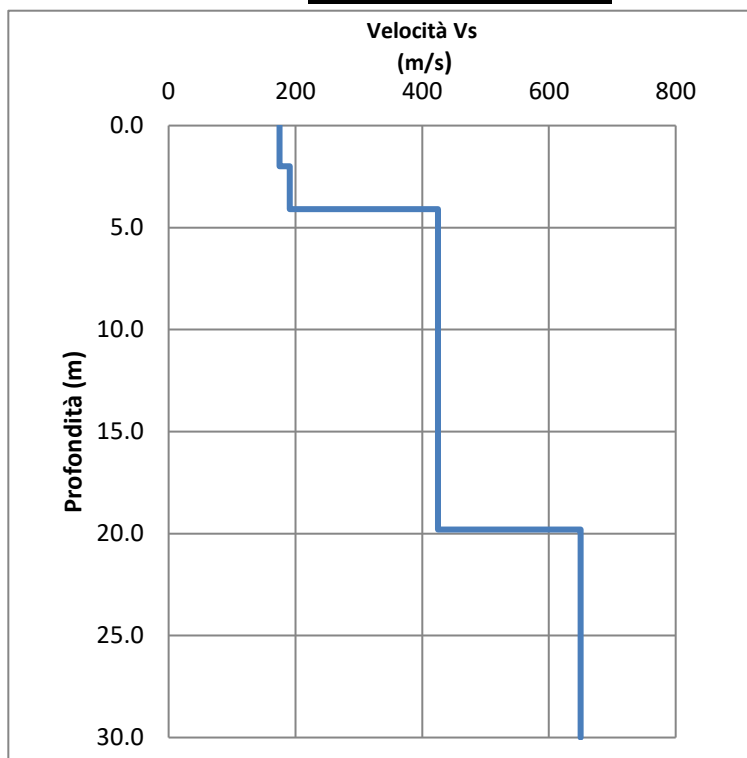
MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Caldonazzo (TN)		
NOME TEST:	MASW 2		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Lat.	45°59'49.93"N	
	Long.	11°15'46.76"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.00	2.00	175.00
2	2.00	4.10	2.10	191.00
3	4.10	19.80	15.70	425.00
4	19.80	inf.	inf.	650.00

Vs eq (0 - 30) **400**
Suolo **B**





TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	MASW 3		
DATA DI ESECUZIONE	15/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 2'22.82"N	
	X	11° 8'26.62"E	

UBICAZIONE





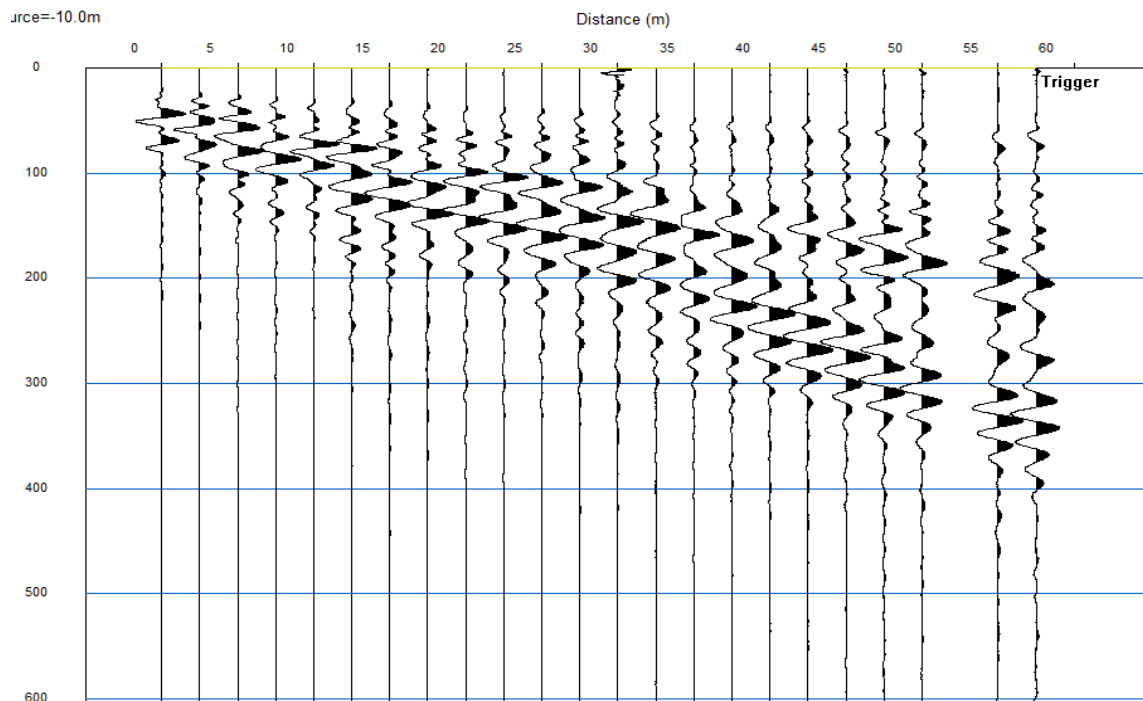
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	MASW 3		
DATA DI ESECUZIONE	15/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 2'22.82"N	
	X	11° 8'26.62"E	

SISMOGRAMMA





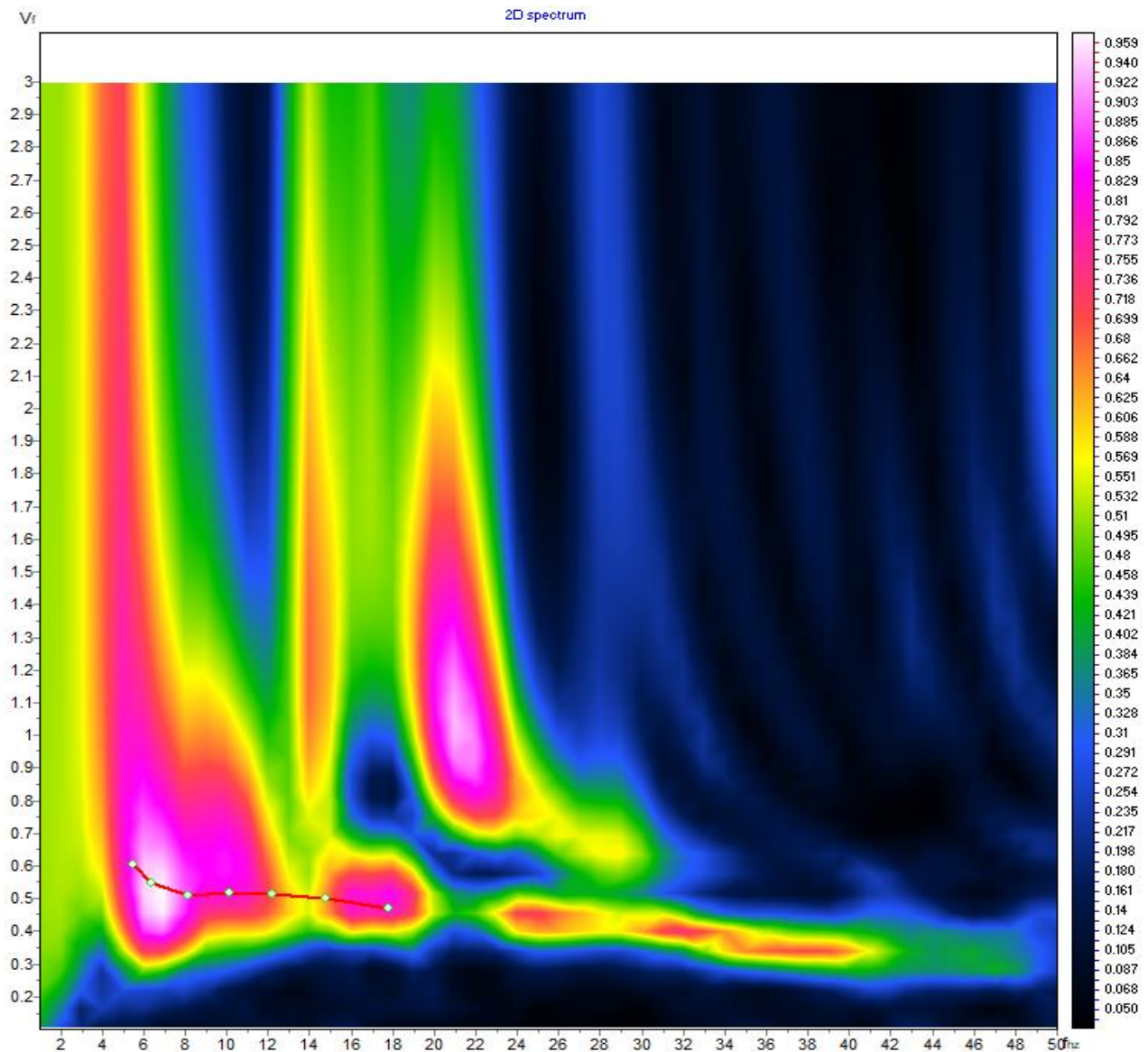
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	MASW 3		
DATA DI ESECUZIONE	15/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 2'22.82"N	
	X	11° 8'26.62"E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

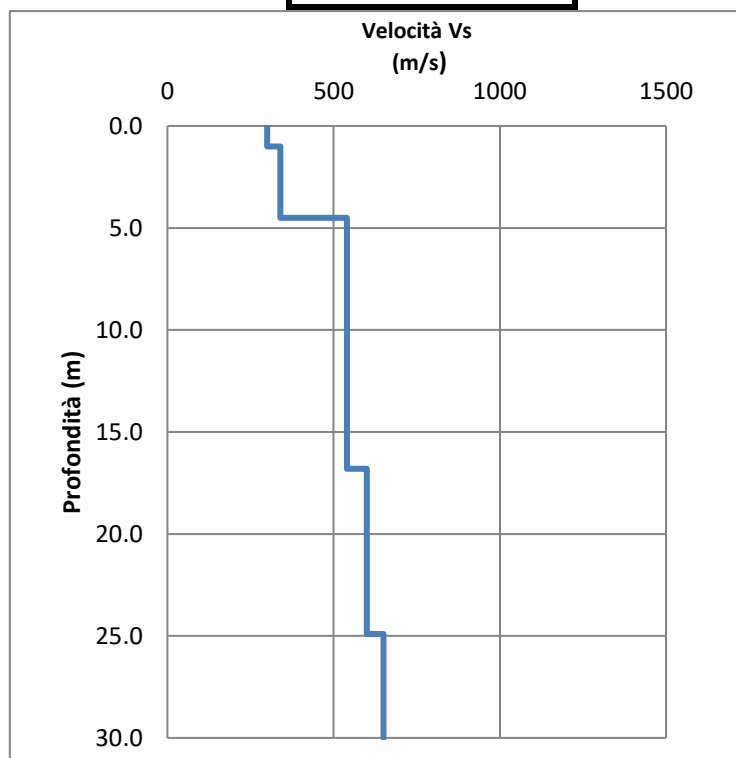
MASW

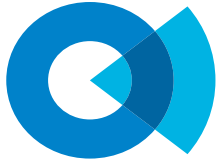
CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	MASW 3		
DATA DI ESECUZIONE	15/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 2'22.82"N	
	X	11° 8'26.62"E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	1.00	1.00	300.00
2	1.00	4.50	3.50	340.00
3	4.50	16.80	12.30	540.00
4	16.80	24.90	8.10	600.00
5	24.90	inf.	inf.	650.00

Vs eq (0-30) **519**
Suolo B



**SOCOTEC****TEST REPORT**

1/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR S p A		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Pergine Valsugana (TN)		
NOME TEST:	DH4		
DATA DI ESECUZIONE	15/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 4'29.23"N	
	X	11°11'58.79"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	4.13	242.35	8.45	118.31	0.34	62.0	23.1	66.1	16.5
2.00	6.08	512.59	14.01	179.97	0.43	157.7	55.1	373.8	17.0
3.00	7.23	863.64	17.74	267.86	0.45	368.0	127.2	1152.6	17.7
4.00	8.14	1104.42	20.32	388.59	0.43	786.0	275.0	1854.4	18.2
5.00	9.28	880.49	22.90	386.48	0.38	732.6	265.3	1023.2	17.8
6.00	9.88	1652.91	24.95	489.14	0.45	1341.4	461.9	4658.7	19.3
7.00	10.39	1961.06	27.07	471.48	0.47	1301.4	442.9	7071.1	19.9
8.00	10.81	2391.38	28.76	589.39	0.47	2119.2	722.0	10922.5	20.8
9.00	11.38	1749.61	30.68	521.12	0.45	1537.0	529.5	5262.9	19.5
10.00	11.92	1859.98	32.94	444.18	0.47	1143.6	389.1	6303.4	19.7
11.00	12.33	2440.44	34.90	508.87	0.48	1597.5	540.7	11715.1	20.9
12.00	12.82	2015.76	36.48	631.25	0.45	2307.9	798.2	7075.1	20.0
13.00	13.25	2322.62	37.95	681.83	0.45	2788.9	959.8	9857.4	20.6
14.00	13.76	1989.24	39.63	597.11	0.45	2066.4	712.3	6955.9	20.0
15.00	14.29	1862.21	41.09	684.80	0.42	2630.3	925.0	5606.8	19.7
16.00	14.76	2127.09	42.28	839.48	0.41	4018.7	1427.4	7260.9	20.3
17.00	15.48	1399.35	43.89	618.97	0.38	1985.5	720.2	2720.8	18.8
18.00	15.93	2238.64	45.14	804.13	0.43	3776.2	1324.1	8496.7	20.5
19.00	16.39	2141.85	46.02	1126.99	0.31	6742.4	2576.3	5870.2	20.3
20.00	16.90	1975.36	47.12	913.44	0.36	4541.2	1664.6	5565.4	20.0
21.00	17.23	3041.05	48.19	931.14	0.45	5545.6	1914.5	17868.8	22.1
22.00	17.55	3066.16	49.15	1044.76	0.43	6930.1	2415.8	17586.3	22.1
23.00	17.98	2330.18	50.44	772.68	0.44	3548.1	1233.5	9573.3	20.7
24.00	18.32	3011.81	51.38	1072.26	0.43	7228.9	2532.1	16601.5	22.0
25.00	18.64	3056.39	52.59	821.60	0.46	4361.8	1492.7	18666.5	22.1
26.00	19.01	2720.04	54.25	602.54	0.47	2295.0	778.4	14824.8	21.4
27.00	19.32	3243.81	55.70	691.51	0.48	3174.8	1075.3	22228.3	22.5
28.00	19.60	3571.52	56.64	1067.55	0.45	7653.8	2637.5	26004.0	23.1
29.00	19.91	3186.45	57.61	1029.14	0.44	6832.8	2369.6	19556.8	22.4
30.00	20.22	3285.85	58.58	1030.70	0.45	6932.0	2397.9	21173.1	22.6



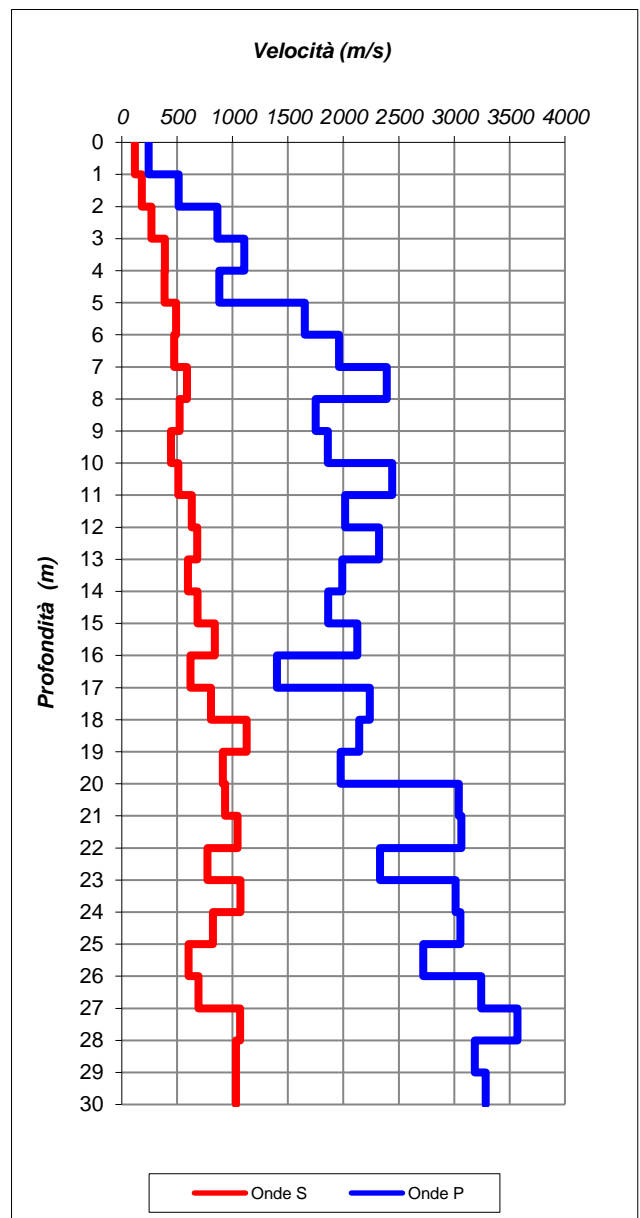
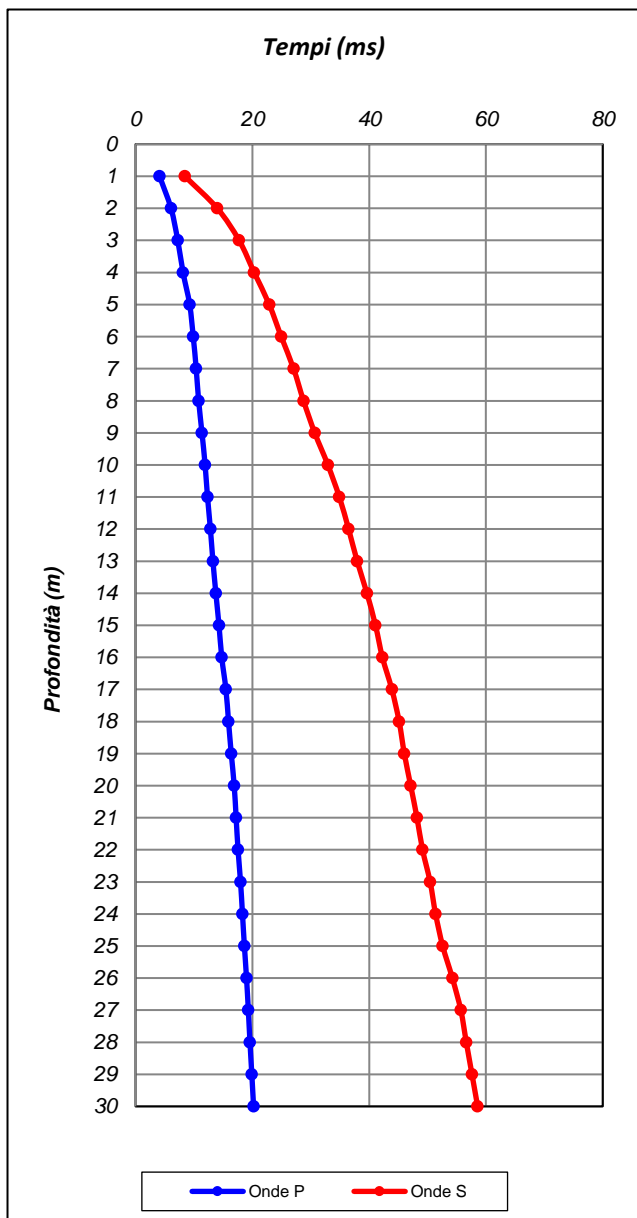
SOCOTEC

TEST REPORT

2/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR S p A		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Pergine Valsugana (TN)		
NOME TEST:	DH4		
DATA DI ESECUZIONE	15/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 4'29.23"N	
	X	11°11'58.79"E	





SOCOTEC

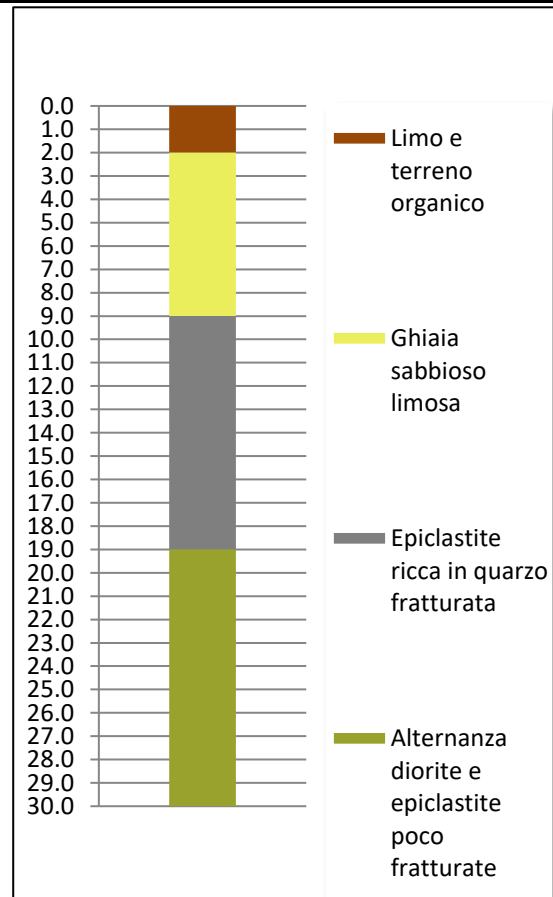
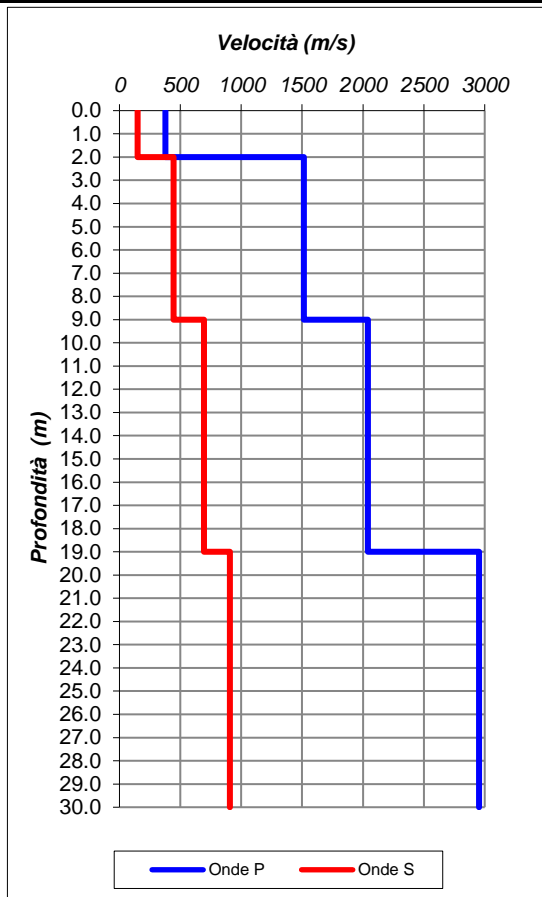
TEST REPORT

3/3

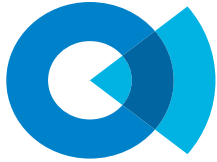
DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR S p A	
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est	
UBICAZIONE:	Pergine Valsugana (TN)	
NOME TEST:	DH4	
DATA DI ESECUZIONE	15/04/2021	
COORDINATE	Y	46° 4'29.23"N
	X	11°11'58.79"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	377.47	149.14	0.41	104.91	37.27	189.04	16.8
9.00	1514.79	444.87	0.45	1094.27	376.61	3864.34	19.0
19.00	2039.72	693.76	0.43	2772.87	966.43	7065.37	20.1
30.00	2953.51	907.03	0.45	5219.20	1802.29	16706.94	21.9



V_{S eq (0-19)}	Suolo
436	B

**SOCOTEC****TEST REPORT**

1/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR S p A		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Pergine Valsugana (TN)		
NOME TEST:	DH5		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 3'37.92"N	
	X	11°14'9.68"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	2.41	415.31	5.46	183.19	0.38	155.8	56.5	215.0	16.8
2.00	4.55	466.57	10.64	192.98	0.40	176.2	63.1	284.5	16.9
3.00	6.22	597.82	15.43	208.87	0.43	214.6	75.0	514.5	17.2
4.00	7.84	618.94	19.61	239.17	0.41	278.5	98.6	528.9	17.2
5.00	9.56	579.68	23.87	234.66	0.40	264.9	94.5	450.6	17.2
6.00	11.30	576.33	28.91	198.61	0.43	193.9	67.7	479.5	17.2
7.00	12.93	612.12	32.24	299.51	0.34	414.9	154.5	439.4	17.2
8.00	14.16	813.48	35.29	328.00	0.40	532.1	189.6	913.6	17.6
9.00	15.60	693.46	39.22	254.39	0.42	320.1	112.5	686.1	17.4
10.00	16.87	789.21	43.70	223.39	0.46	255.5	87.7	977.9	17.6
11.00	18.24	732.04	46.73	330.64	0.37	523.8	190.9	681.3	17.5
12.00	19.20	1042.14	49.23	399.94	0.41	817.8	289.3	1578.4	18.1
13.00	20.17	1029.32	53.43	237.62	0.47	300.1	102.0	1777.4	18.1
14.00	21.17	997.36	57.12	271.57	0.46	387.5	132.7	1613.0	18.0
15.00	21.97	1258.72	60.72	277.52	0.47	420.6	142.6	2743.7	18.5
16.00	22.97	997.12	64.17	290.01	0.45	440.0	151.3	1587.3	18.0
17.00	23.90	1071.32	68.33	240.30	0.47	308.7	104.8	1942.6	18.1
18.00	24.52	1621.42	71.11	359.89	0.47	734.8	249.2	4726.7	19.2
19.00	24.95	2314.83	73.90	358.45	0.49	788.7	265.1	10700.9	20.6
20.00	25.41	2159.70	76.89	334.56	0.49	676.7	227.4	9174.3	20.3
21.00	25.85	2271.34	79.67	359.58	0.49	790.0	265.6	10243.8	20.5
22.00	26.31	2181.11	82.24	388.20	0.48	910.5	306.9	9277.6	20.4
23.00	26.70	2589.32	84.87	380.10	0.49	911.2	306.0	13791.4	21.2
24.00	27.08	2596.25	86.71	544.86	0.48	1858.4	629.1	13446.0	21.2
25.00	27.52	2302.21	88.53	547.98	0.47	1819.0	618.7	10095.7	20.6
26.00	27.98	2157.07	90.23	590.14	0.46	2065.2	707.5	8508.7	20.3
27.00	28.42	2307.98	91.70	677.83	0.45	2752.2	947.2	9718.7	20.6
28.00	28.84	2350.94	93.16	686.04	0.45	2832.3	974.3	10142.6	20.7
29.00	29.28	2256.73	94.62	686.28	0.45	2800.0	966.1	9158.9	20.5
30.00	29.71	2361.78	96.20	634.66	0.46	2439.2	834.7	10446.7	20.7



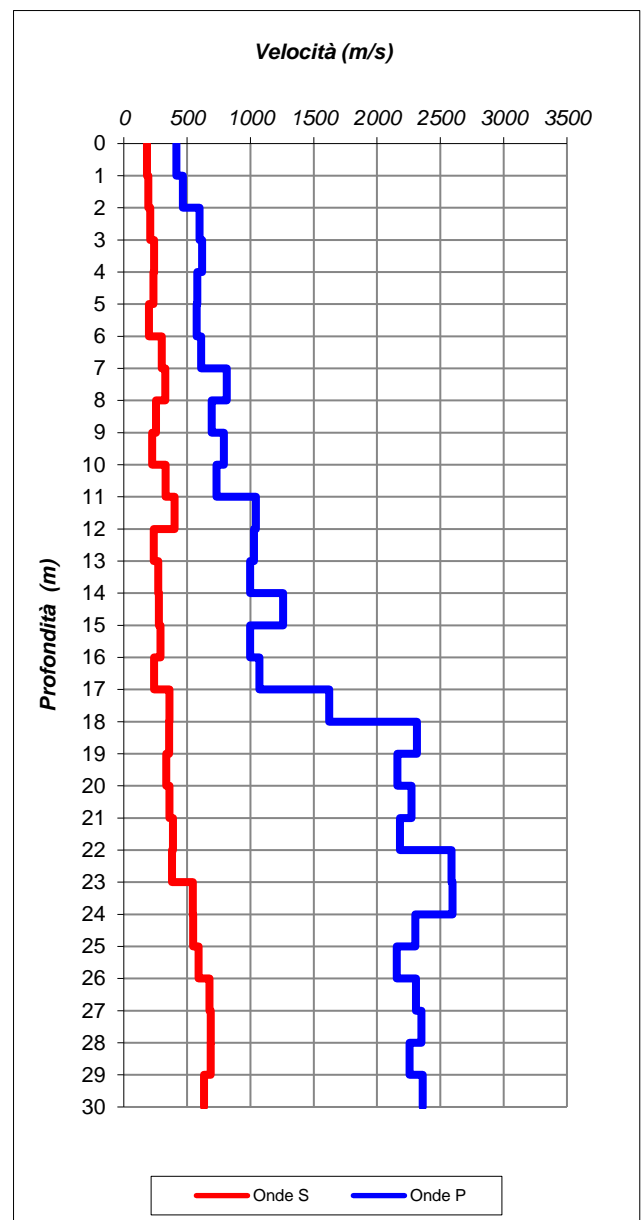
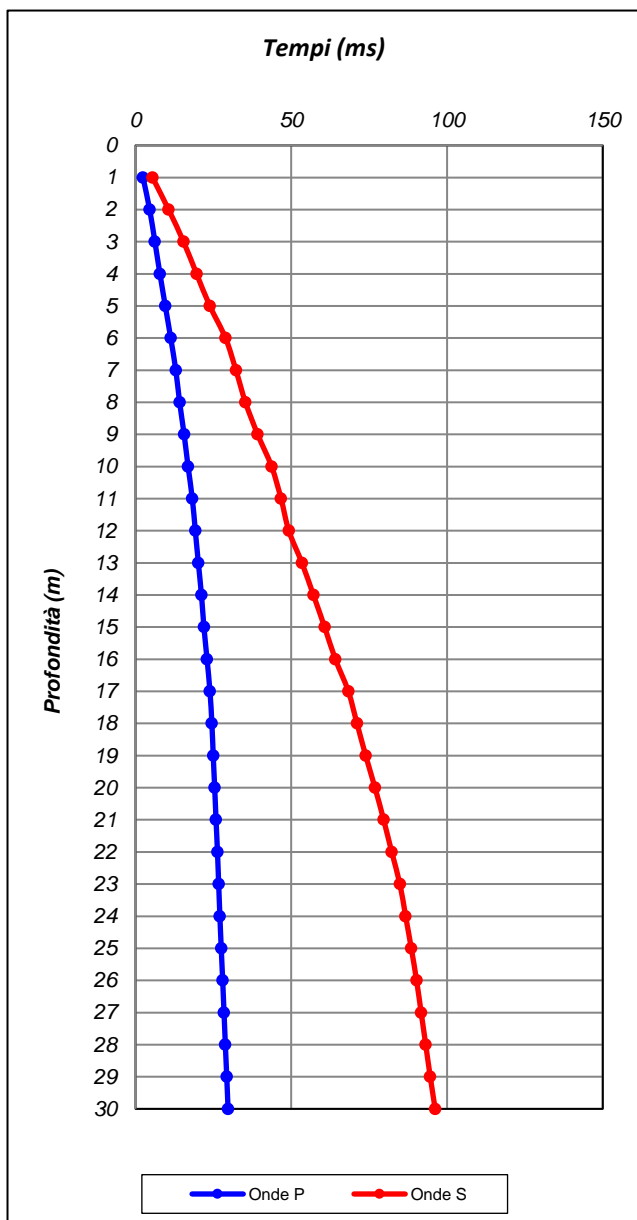
SOCOTEC

TEST REPORT

2/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR S p A		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Pergine Valsugana (TN)		
NOME TEST:	DH5		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 3'37.92"N	
	X	11°14'9.68"E	





SOCOTEC

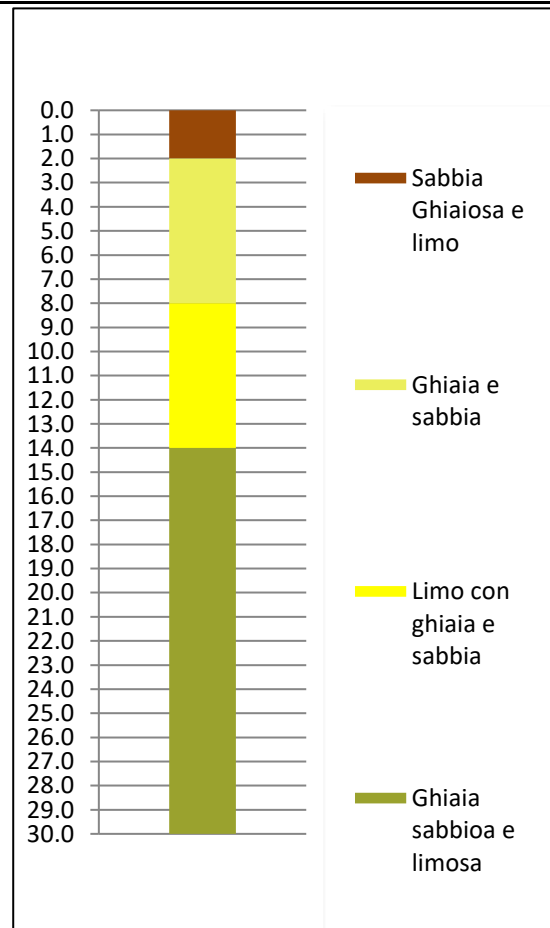
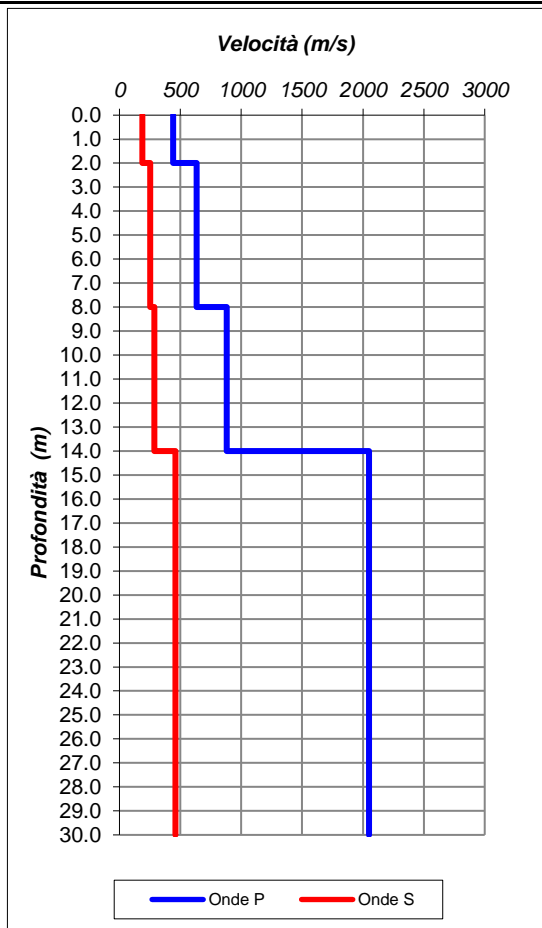
TEST REPORT

3/3

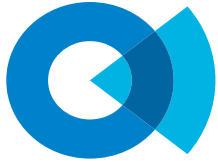
DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR S p A		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Pergine Valsugana (TN)		
NOME TEST:	DH5		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 3'37.92"N	
	X	11°14'9.68"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	440.94	188.09	0.39	165.89	59.72	248.60	16.9
8.00	633.06	251.47	0.41	307.10	109.19	546.39	17.3
14.00	880.59	286.26	0.44	419.43	145.54	1183.21	17.8
30.00	2049.87	459.77	0.47	1252.17	424.89	7879.28	20.1



V_{S eq} (0-30) 332	Suolo C
---------------------------------------	-------------------

**SOCOTEC****TEST REPORT**

1/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR S p A		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Borgo Valsugana (TN)		
NOME TEST:	DH7		
DATA DI ESECUZIONE	14/03/2019		
COORDINATE	Y	46° 3'2.86"N	
	X	11°27'18.97"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	2.44	410.55	6.59	151.83	0.42	110.2	38.8	231.8	16.8
2.00	4.98	393.34	13.03	155.28	0.41	114.0	40.5	205.8	16.8
3.00	7.31	427.95	17.98	202.04	0.36	186.7	68.8	217.0	16.9
4.00	9.90	386.33	23.63	176.91	0.37	143.6	52.5	180.3	16.8
5.00	11.89	502.67	27.82	238.79	0.35	262.6	97.0	300.4	17.0
6.00	13.48	629.27	32.49	214.08	0.43	226.9	79.1	577.9	17.3
7.00	14.74	795.56	35.13	377.83	0.35	680.2	251.1	778.6	17.6
8.00	15.48	1343.87	37.64	398.99	0.45	863.7	297.5	2978.3	18.7
9.00	16.33	1182.12	39.78	466.28	0.41	1124.3	399.3	2033.8	18.4
10.00	17.00	1495.11	41.73	514.66	0.43	1441.4	503.0	3574.3	19.0
11.00	17.79	1267.82	43.76	491.01	0.41	1261.8	446.9	2383.5	18.5
12.00	18.51	1389.75	45.89	471.28	0.44	1197.1	417.1	3071.0	18.8
13.00	19.17	1497.99	47.64	571.27	0.41	1754.3	619.9	3436.1	19.0
14.00	19.92	1341.91	50.78	318.15	0.47	556.1	189.1	3112.3	18.7
15.00	20.86	1066.08	53.78	333.32	0.45	582.5	201.4	1792.2	18.1
16.00	21.79	1068.82	56.57	358.72	0.44	670.6	233.4	1760.8	18.1
17.00	22.80	995.60	60.03	288.60	0.45	435.8	149.9	1583.5	18.0
18.00	23.61	1229.99	62.55	397.86	0.44	842.5	292.2	2403.2	18.5
19.00	24.51	1112.75	65.42	348.17	0.45	638.8	220.9	1962.1	18.2
20.00	25.20	1451.94	68.61	313.42	0.48	548.0	185.7	3737.6	18.9
21.00	26.22	977.16	71.55	339.70	0.43	593.1	207.2	1438.1	18.0
22.00	27.34	892.00	74.63	324.78	0.42	534.1	187.6	1164.9	17.8
23.00	28.37	972.77	77.68	328.52	0.44	556.1	193.7	1439.9	17.9
24.00	29.43	943.58	80.82	317.89	0.44	519.1	180.8	1351.6	17.9
25.00	30.25	1220.14	82.99	460.97	0.42	1110.3	391.8	2222.8	18.4
26.00	31.07	1216.43	85.72	366.46	0.45	717.9	247.5	2397.4	18.4
27.00	32.00	1079.67	88.14	413.17	0.41	876.8	310.0	1703.5	18.2
28.00	32.78	1273.49	90.56	412.76	0.44	910.9	316.0	2586.6	18.5
29.00	33.47	1460.69	92.59	492.85	0.44	1319.7	459.6	3424.3	18.9
30.00	34.23	1307.28	95.34	364.36	0.46	720.6	247.1	2851.7	18.6
31.00	35.04	1234.25	97.68	427.10	0.43	964.9	336.9	2364.3	18.5
32.00	35.98	1065.95	99.54	537.55	0.33	1393.1	523.9	1361.7	18.1
33.00	36.95	1033.02	101.71	459.66	0.38	1050.9	381.7	1418.9	18.1
34.00	37.74	1264.09	103.53	551.94	0.38	1560.4	564.4	2208.0	18.5
35.00	38.38	1549.70	105.74	452.26	0.45	1135.6	390.7	4066.0	19.1
36.00	38.96	1743.43	107.49	571.59	0.44	1833.3	636.7	5074.3	19.5
37.00	39.56	1649.40	110.05	390.61	0.47	865.9	294.5	4857.7	19.3
38.00	39.99	2337.99	111.26	825.38	0.43	4025.1	1408.5	9423.9	20.7
39.00	40.48	2046.83	112.43	850.48	0.40	4057.0	1453.4	6480.4	20.1
40.00	40.94	2165.76	113.63	833.24	0.41	3989.5	1411.6	7654.4	20.3



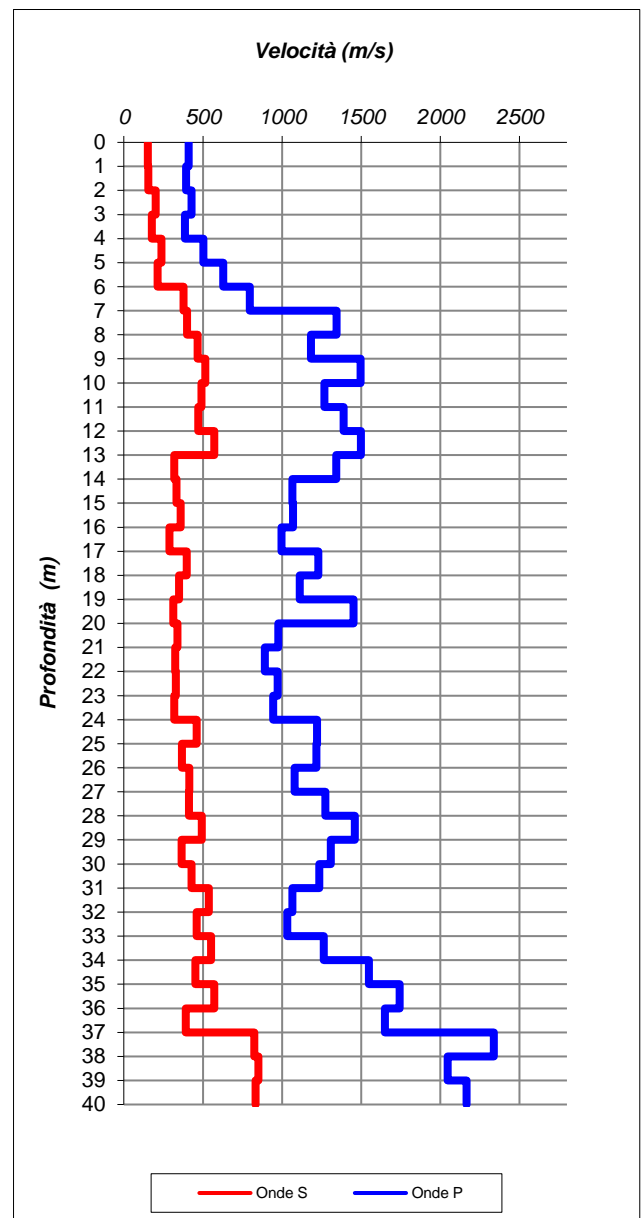
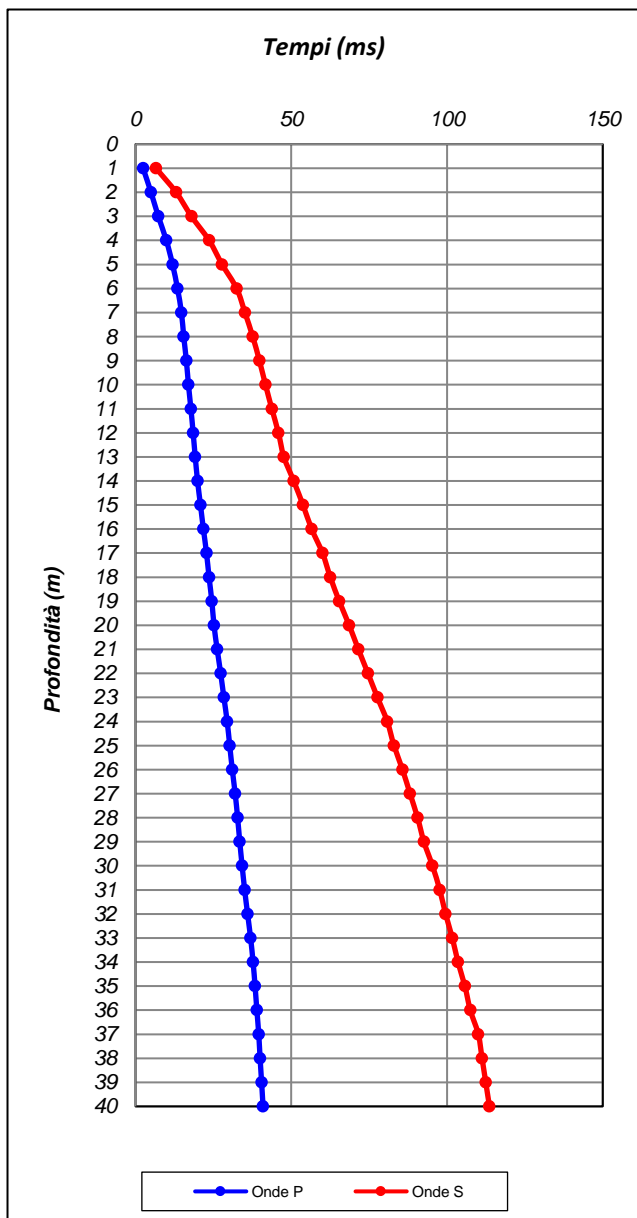
SOCOTEC

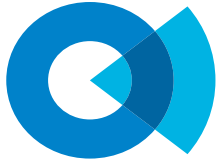
TEST REPORT

2/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR S p A		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Borgo Valsugana (TN)		
NOME TEST:	DH7		
DATA DI ESECUZIONE	14/03/2019		
COORDINATE	Y	46° 3'2.86"N	
	X	11°27'18.97"E	





SOCOTEC

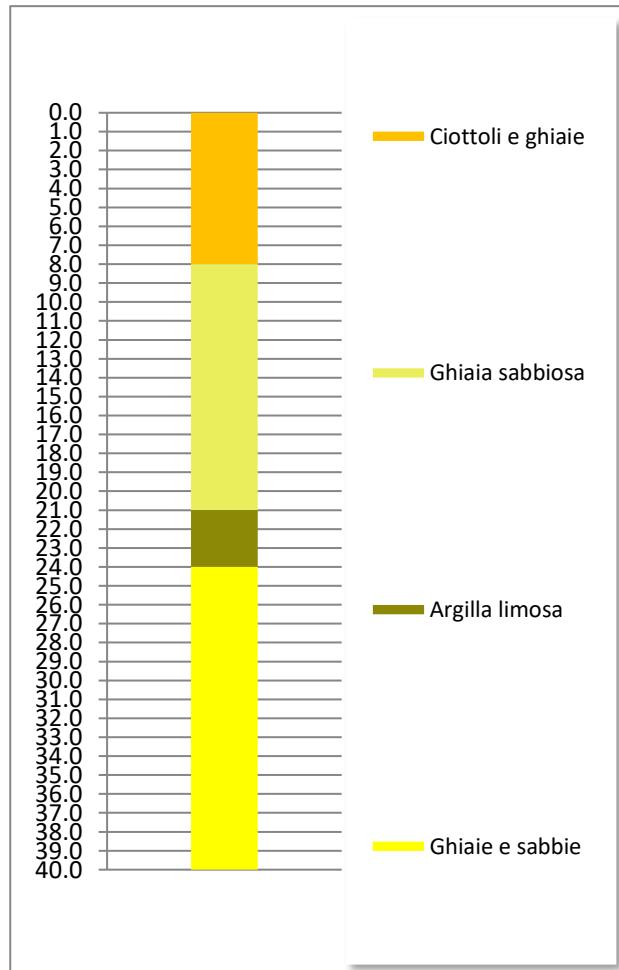
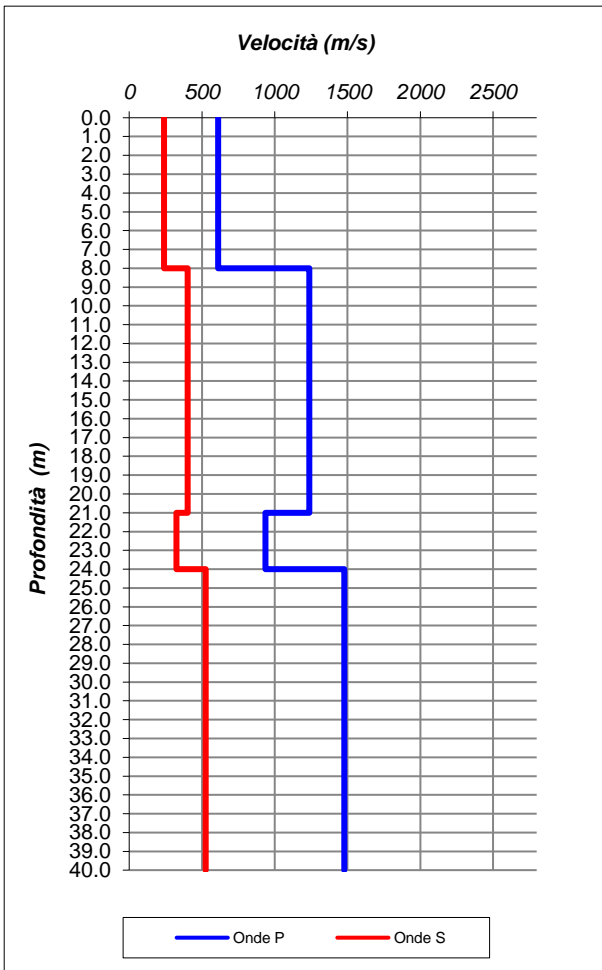
TEST REPORT

3/3

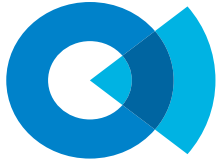
DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR S p A		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Borgo Valsugana (TN)		
NOME TEST:	DH7		
DATA DI ESECUZIONE	14/03/2019		
COORDINATE	Y	46° 3'2.86"N	
	X	11°27'18.97"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)					
8.00	611.19	239.47	0.41	278.38	98.76	511.67	17.2
21.00	1236.70	400.96	0.44	856.09	296.99	2429.36	18.5
24.00	936.12	323.73	0.43	536.46	187.30	1316.44	17.9
40.00	1478.01	525.65	0.43	1495.47	523.77	3442.60	19.0



V_{Seq(10-40)}	Suolo
439	-

**SOCOTEC****TEST REPORT**

1/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Margoni (TN)		
NOME TEST:	DH8		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 1' 43.58" N	
	X	11° 23' 15.56" 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	2.62	382.39	6.59	151.76	0.41	108.6	38.6	193.7	16.8
2.00	3.79	851.67	10.60	249.39	0.45	320.0	110.1	1137.3	17.7
3.00	4.90	898.56	15.03	225.69	0.47	265.9	90.7	1316.1	17.8
4.00	6.29	722.44	20.07	198.26	0.46	200.1	68.6	819.0	17.4
5.00	7.73	690.74	24.99	203.58	0.45	209.3	72.0	733.3	17.4
6.00	8.97	807.23	29.64	214.78	0.46	237.6	81.3	1039.5	17.6
7.00	9.98	990.39	33.21	280.53	0.46	412.2	141.5	1575.0	18.0
8.00	11.20	818.24	38.56	186.95	0.47	181.5	61.6	1098.6	17.6
9.00	12.24	969.16	42.32	265.46	0.46	369.0	126.4	1516.3	17.9
10.00	13.26	978.39	45.69	296.60	0.45	457.9	158.0	1508.3	18.0
11.00	14.28	981.58	48.74	327.93	0.44	555.3	193.2	1473.2	18.0
12.00	15.27	1009.96	51.84	322.90	0.44	542.3	187.9	1587.6	18.0
13.00	16.31	962.38	55.28	290.58	0.45	438.9	151.4	1458.4	17.9
14.00	17.24	1076.30	58.50	310.35	0.45	508.7	174.8	1869.7	18.2
15.00	18.08	1190.72	61.36	350.35	0.45	655.5	225.6	2305.3	18.4
16.00	18.93	1175.23	64.21	350.55	0.45	654.5	225.5	2233.9	18.4
17.00	19.82	1114.67	67.98	264.97	0.47	376.3	128.0	2094.3	18.2
18.00	20.66	1191.91	70.92	340.67	0.46	621.1	213.4	2327.2	18.4
19.00	21.54	1141.23	73.66	364.87	0.44	702.5	243.4	2056.6	18.3
20.00	22.31	1292.08	76.79	319.91	0.47	558.2	190.2	2849.0	18.6
21.00	23.14	1202.11	80.22	291.35	0.47	458.9	156.2	2451.3	18.4
22.00	23.93	1271.50	83.15	340.94	0.46	629.9	215.5	2710.5	18.5
23.00	24.65	1395.51	85.85	370.83	0.46	755.6	258.4	3314.9	18.8
24.00	25.39	1355.36	89.29	290.26	0.48	465.4	157.6	3227.0	18.7
25.00	26.15	1313.77	92.58	304.15	0.47	507.2	172.3	2985.3	18.6
26.00	26.92	1285.95	95.84	306.78	0.47	513.8	174.8	2838.1	18.6
27.00	27.62	1446.65	98.94	322.94	0.47	580.8	197.0	3691.3	18.9
28.00	28.33	1407.59	102.47	282.93	0.48	445.5	150.6	3527.1	18.8
29.00	28.99	1507.79	105.82	298.95	0.48	502.9	169.9	4096.5	19.0
30.00	29.62	1591.39	108.23	415.15	0.46	967.7	330.6	4417.3	19.2
31.00	30.23	1639.78	111.16	341.38	0.48	663.9	224.7	4884.5	19.3
32.00	30.79	1783.88	113.73	388.07	0.48	869.4	294.7	5834.0	19.6
33.00	31.41	1597.87	116.39	376.07	0.47	798.5	271.5	4539.0	19.2
34.00	31.95	1869.80	118.57	459.01	0.47	1221.0	415.9	6346.7	19.7
35.00	32.53	1731.96	120.93	423.76	0.47	1026.3	349.5	5372.5	19.5
36.00	33.09	1782.84	123.22	436.31	0.47	1093.7	372.5	5722.4	19.6
37.00	33.56	2117.74	125.37	465.30	0.47	1292.1	438.1	8491.1	20.2
38.00	34.09	1889.56	127.49	470.99	0.47	1287.2	438.8	6477.0	19.8
39.00	34.64	1802.71	129.51	496.06	0.46	1407.8	482.4	5728.0	19.6
40.00	35.16	1923.55	131.51	499.67	0.46	1450.7	495.5	6682.8	19.8



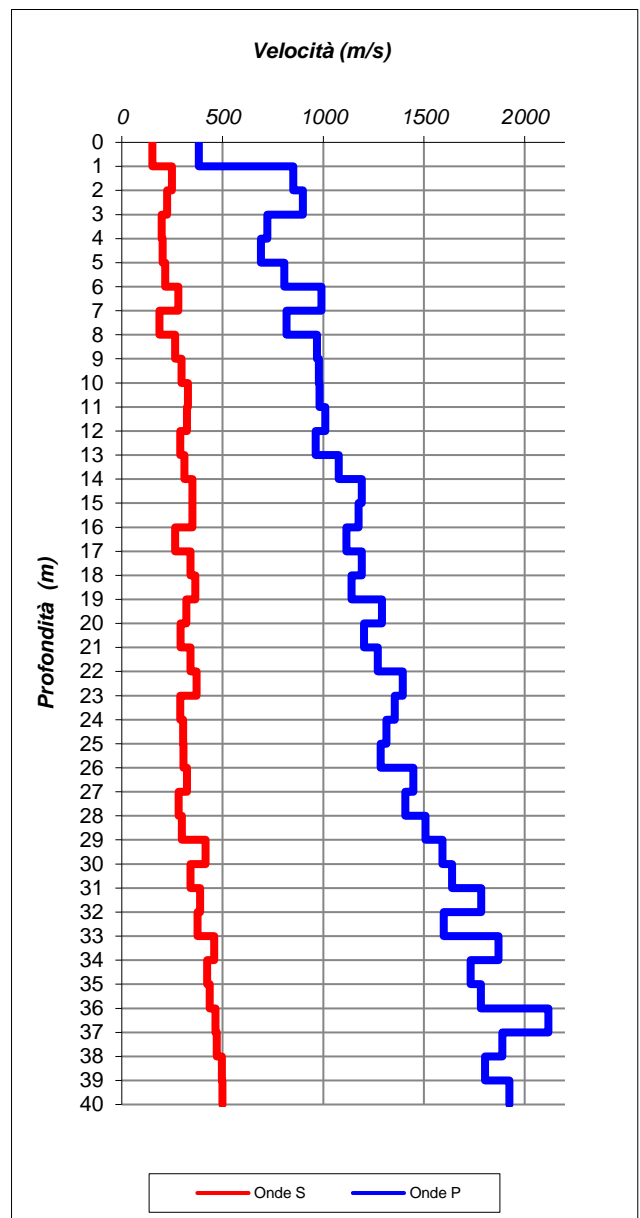
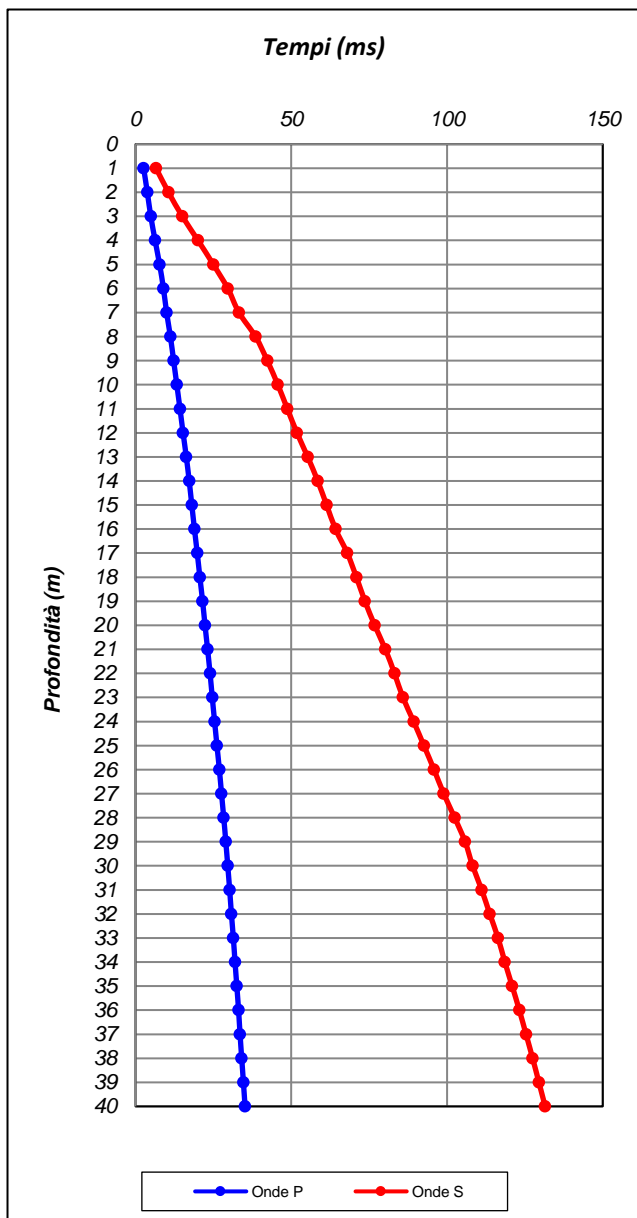
SOCOTEC

TEST REPORT

2/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Margoni (TN)		
NOME TEST:	DH8		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 1' 43.58" N	
	X	11° 23' 15.56" E	





SOCOTEC

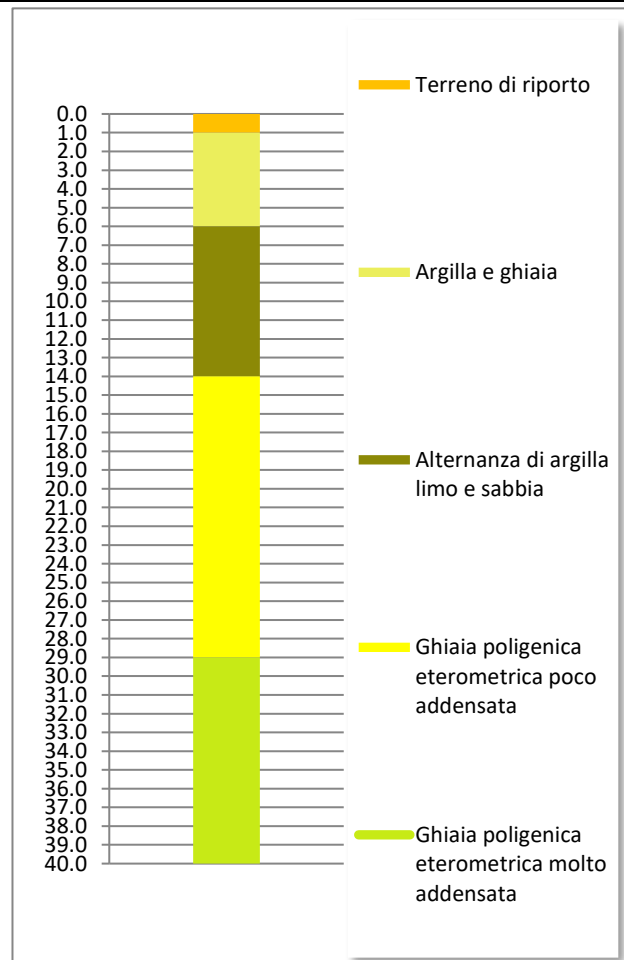
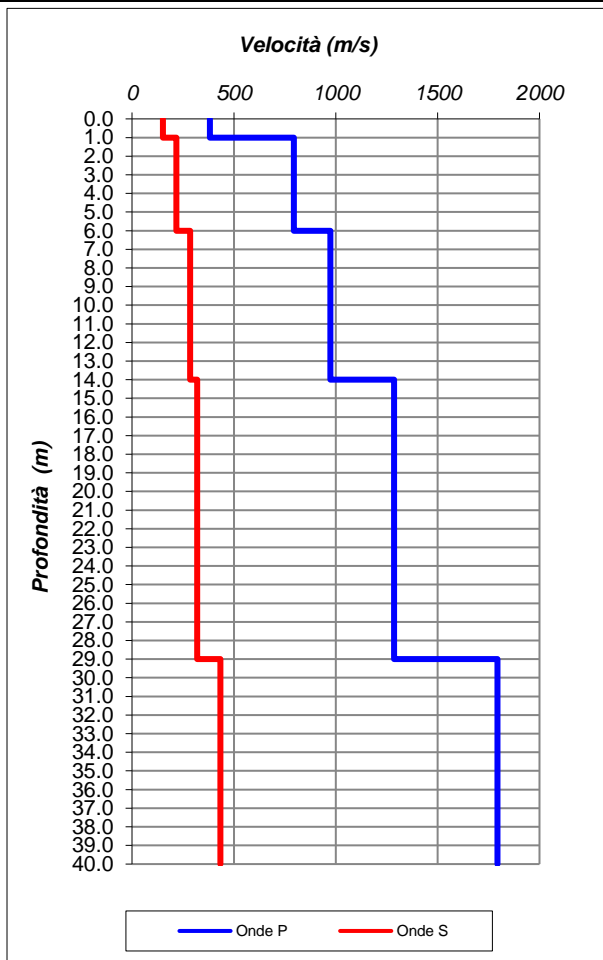
TEST REPORT

3/3

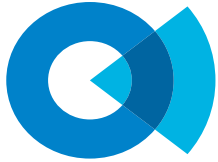
DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Margoni (TN)		
NOME TEST:	DH8		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 1' 43.58" N	
	X	11° 23' 15.56" 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	382.39	151.76	0.41	108.62	38.61	193.66	16.8
6.00	794.13	218.34	0.46	244.69	83.85	997.39	17.6
14.00	973.30	285.16	0.45	424.11	145.94	1505.52	17.9
29.00	1286.14	320.03	0.47	558.09	190.22	2818.51	18.6
40.00	1793.73	433.80	0.47	1082.89	368.60	5810.76	19.6



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

**SOCOTEC****TEST REPORT**

1/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR S p A		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Borgo Valsugana (TN)		
NOME TEST:	DH9		
DATA DI ESECUZIONE	13/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 2'45.53"N	
	X	11°25'46.16"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	2.32	430.90	5.53	180.91	0.39	153.7	55.2	239.5	16.9
2.00	4.34	496.45	10.74	191.79	0.41	176.6	62.5	335.5	17.0
3.00	5.99	602.90	14.63	257.31	0.39	316.4	113.9	473.5	17.2
4.00	7.34	744.42	18.31	271.44	0.42	366.8	128.9	797.4	17.5
5.00	8.25	1098.43	21.39	324.82	0.45	557.6	192.0	1939.5	18.2
6.00	9.29	958.49	25.31	255.13	0.46	341.0	116.6	1490.5	17.9
7.00	10.32	969.11	28.75	290.82	0.45	440.1	151.7	1482.4	17.9
8.00	11.25	1080.64	31.91	316.41	0.45	528.4	181.8	1878.4	18.2
9.00	12.14	1115.64	37.99	164.35	0.49	146.6	49.2	2203.5	18.2
10.00	13.05	1107.38	41.19	313.12	0.46	520.2	178.6	1995.6	18.2
11.00	13.94	1116.90	44.97	264.64	0.47	375.5	127.7	2104.4	18.2
12.00	14.77	1212.20	48.58	276.71	0.47	415.5	141.1	2519.2	18.4
13.00	15.47	1426.84	53.83	190.59	0.49	204.2	68.5	3747.0	18.9
14.00	16.20	1367.71	58.19	229.42	0.49	293.0	98.6	3373.2	18.7
15.00	16.88	1478.18	61.75	280.52	0.48	441.9	149.2	3943.1	19.0
16.00	17.60	1384.99	66.64	204.34	0.49	233.4	78.4	3495.9	18.8
17.00	18.33	1362.15	70.00	297.79	0.47	489.8	166.0	3252.8	18.7
18.00	19.02	1447.60	73.23	310.32	0.48	537.1	182.0	3717.0	18.9
19.00	19.62	1668.36	76.31	324.34	0.48	602.2	203.4	5111.0	19.3
20.00	20.26	1558.71	81.03	211.70	0.49	255.4	85.7	4530.5	19.1
21.00	21.00	1361.81	83.80	360.78	0.46	712.7	243.7	3147.4	18.7
22.00	21.69	1441.30	87.79	251.15	0.48	353.6	119.1	3763.8	18.9
23.00	22.32	1597.59	92.60	207.85	0.49	247.3	82.9	4788.6	19.2
24.00	22.96	1556.10	95.92	301.29	0.48	513.7	173.5	4396.6	19.1
25.00	23.73	1295.04	98.69	359.96	0.46	702.4	240.9	2796.6	18.6
26.00	24.40	1488.40	102.07	296.14	0.48	492.4	166.4	3982.1	19.0
27.00	25.02	1633.64	104.83	362.46	0.47	746.3	253.1	4804.5	19.3
28.00	25.67	1524.07	108.53	269.88	0.48	411.7	138.7	4239.5	19.0
29.00	26.38	1411.70	111.75	310.63	0.47	535.7	181.6	3509.1	18.8
30.00	27.01	1599.68	114.01	443.85	0.46	1103.2	378.2	4408.7	19.2
31.00	27.73	1384.61	117.31	302.55	0.47	506.8	171.8	3369.2	18.8
32.00	28.38	1525.31	120.14	354.13	0.47	703.1	238.9	4113.7	19.1
33.00	29.04	1524.18	122.85	368.57	0.47	760.2	258.8	4080.2	19.0
34.00	29.63	1696.24	125.73	347.67	0.48	692.9	234.4	5267.1	19.4
35.00	30.35	1392.68	128.99	305.96	0.47	518.6	175.8	3409.1	18.8
36.00	30.93	1714.19	131.61	381.93	0.47	835.4	283.4	5331.0	19.4
37.00	31.51	1728.84	134.65	328.88	0.48	623.5	210.5	5535.1	19.5
38.00	32.09	1722.27	136.83	458.41	0.46	1194.7	408.6	5222.8	19.4
39.00	32.63	1853.16	138.97	467.80	0.47	1264.4	431.2	6192.5	19.7
40.00	33.18	1808.92	141.23	443.81	0.47	1134.5	386.4	5904.1	19.6



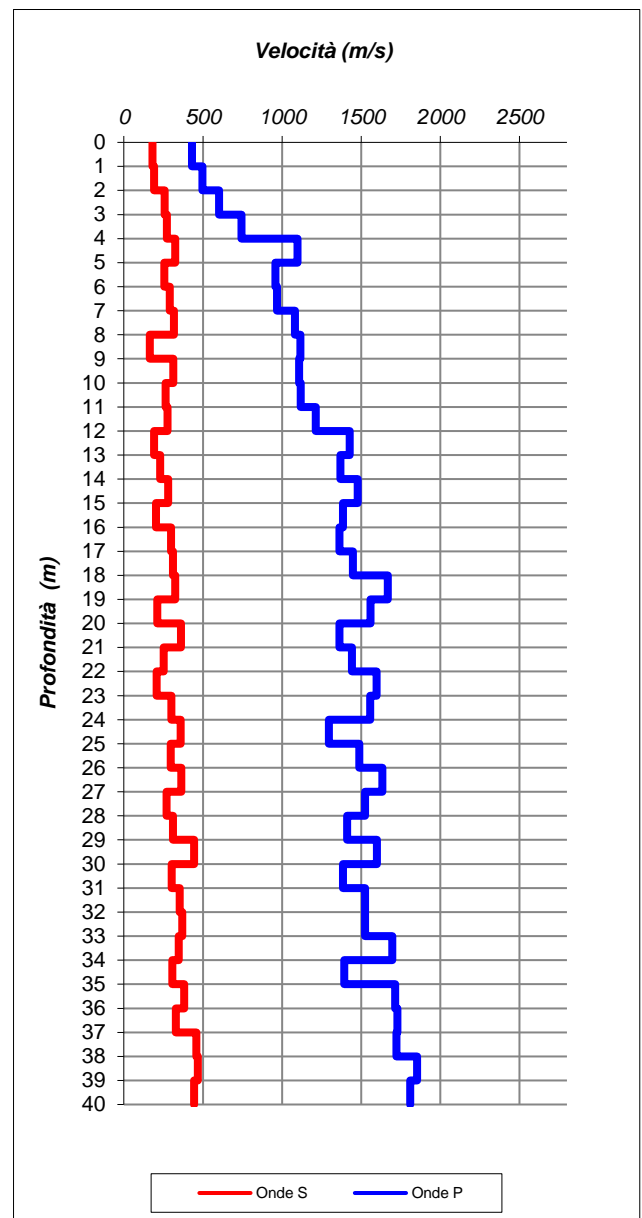
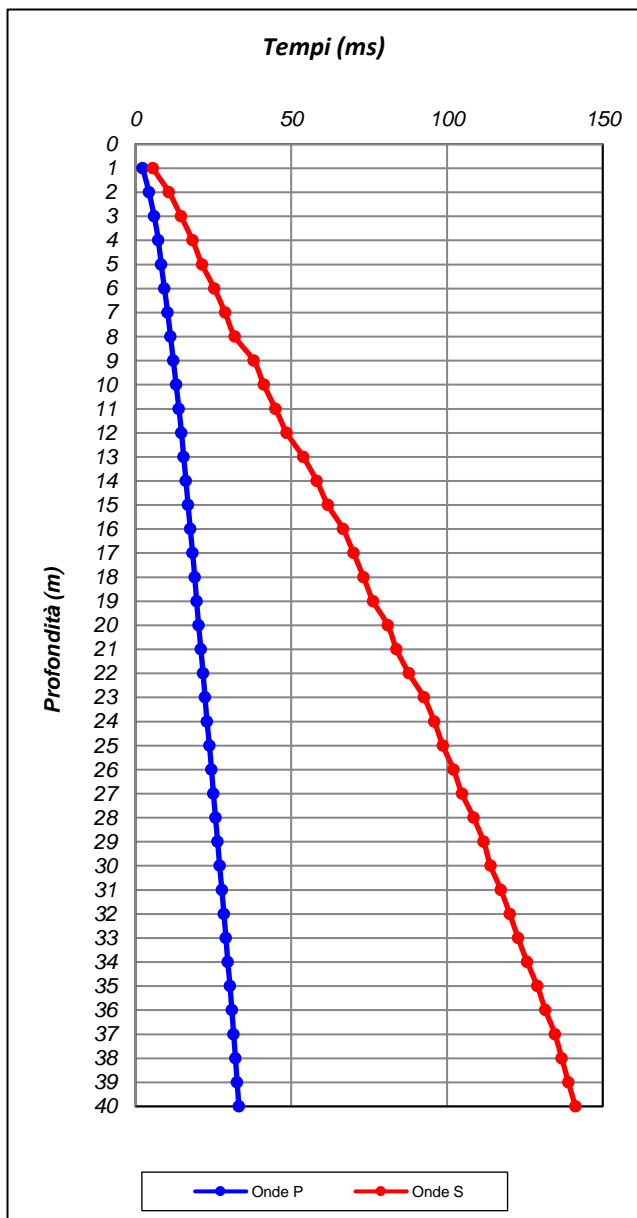
SOCOTEC

TEST REPORT

2/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR S p A		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Borgo Valsugana (TN)		
NOME TEST:	DH9		
DATA DI ESECUZIONE	13/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 2'45.53"N	
	X	11°25'46.16"E	





SOCOTEC

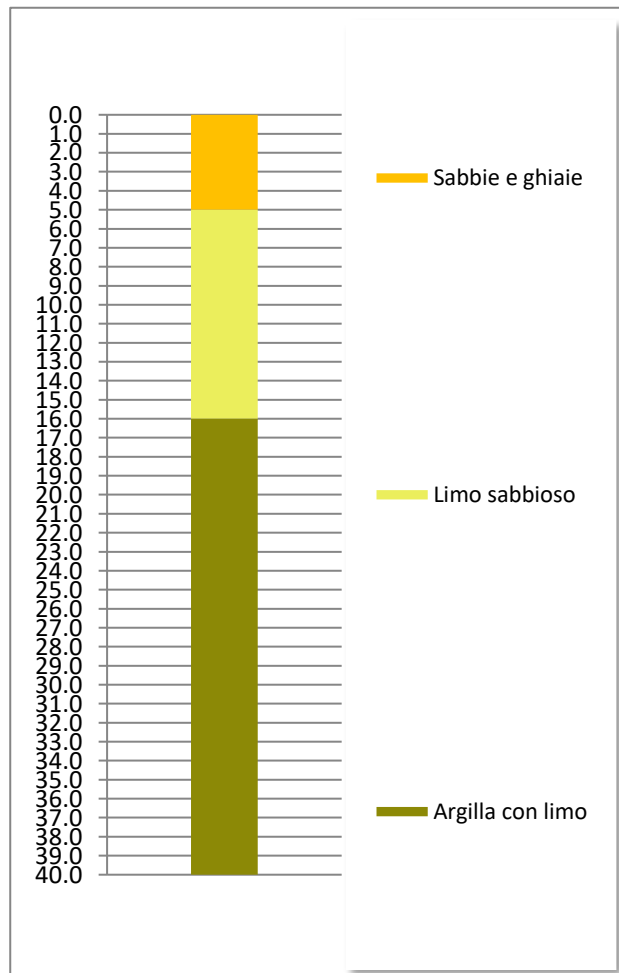
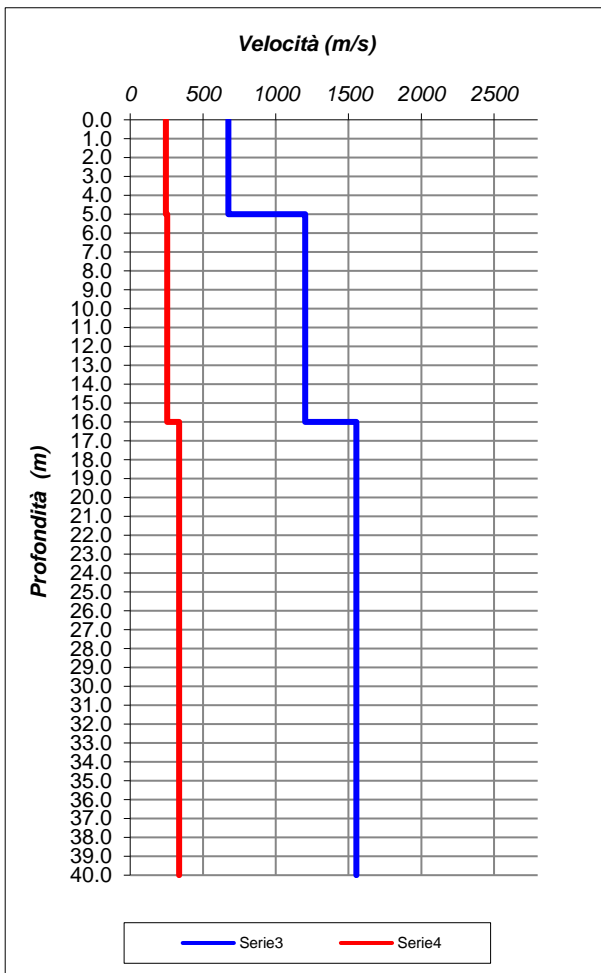
TEST REPORT

3/3

DOWN HOLE

CLIENTE:	ITALFERR S p A		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Borgo Valsugana (TN)		
NOME TEST:	DH9		
DATA DI ESECUZIONE	13/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 2'45.53"N	
	X	11°25'46.16"E	


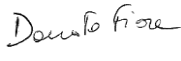

Profondità base(m)	Onde P	Onde S	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	γ (kN/m ³)
	Velocità (m/sec)	Velocità (m/sec)					
5.00	674.62	245.25	0.42	297.17	104.35	650.45	17.3
16.00	1201.64	253.28	0.48	348.68	118.06	2499.93	18.4
40.00	1554.02	336.16	0.48	637.18	215.93	4326.66	19.1



V_{S eq(10-40)} 312	Suolo C
---------------------------------------	-------------------

ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

Indagini HVSR

Emissione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato
Rev01	30/04/2021	Angelo Maradei	Donato Fiore	Massimo De Iasi
				

AVELLINO DEPARTMENT
Via Campo di Fiume, 13 – 83030 Montefredane (AV)
Tel.: +39 0825 24353 - Fax.: +39 0825 248705

SOCOTEC ITALIA Srl – P.Iva 01872430648 - Capitale sociale 7.144.000,00 euro
Sede Legale: Via Bariola, 101-103 - 20020 Lainate (MI)
Tel.: +39 02 9375 0000 - Fax: +39 02 9375 0099
www.socotec.it



Ubicazione



Foto acquisizione

Latitudine	Longitudine
46° 2'22.82"N	11° 8'26.62"E

Hvsr_01

Instrument: TZ3-0005/01-13

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 19/09/19 14:47:12 End recording: 19/09/19 15:27:12

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

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

Sampling rate: 128 Hz

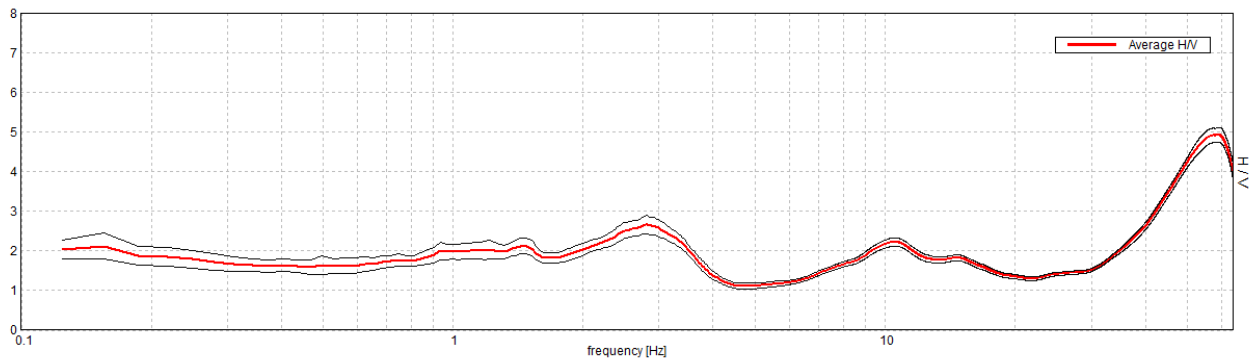
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

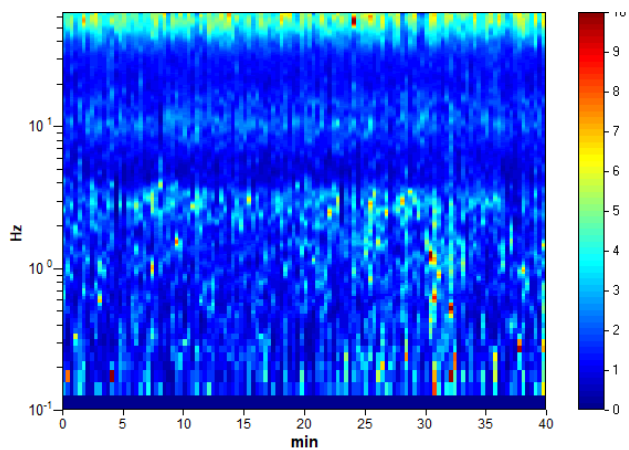
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

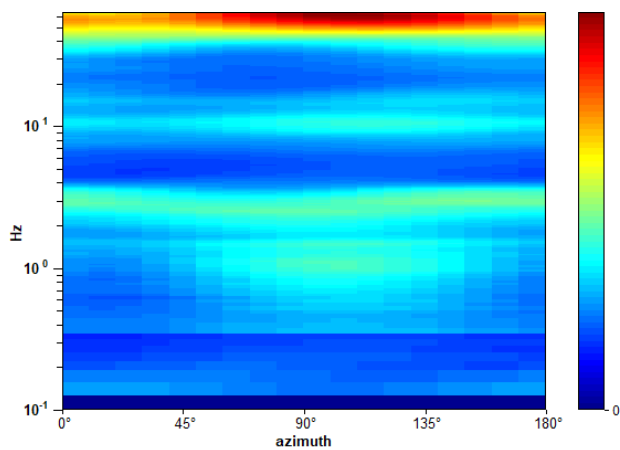
Max. H/V at 59.03 ± 5.67 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



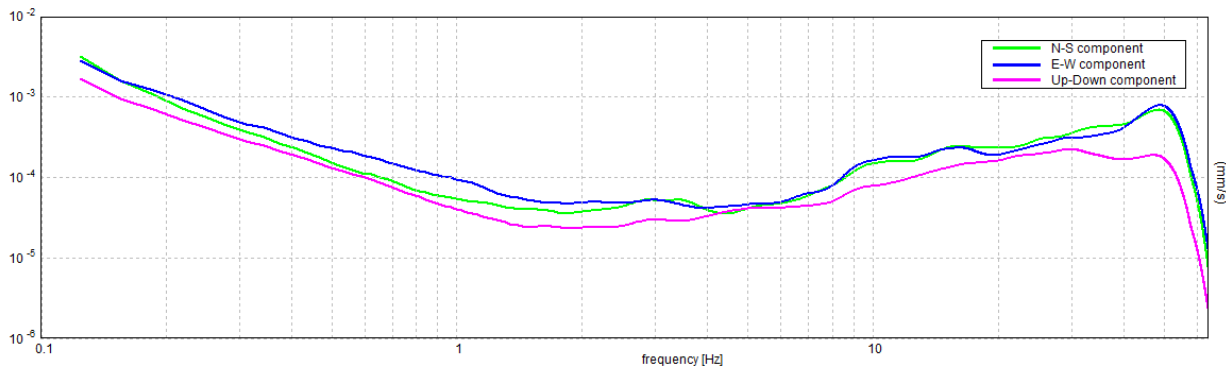
H/V TIME HISTORY



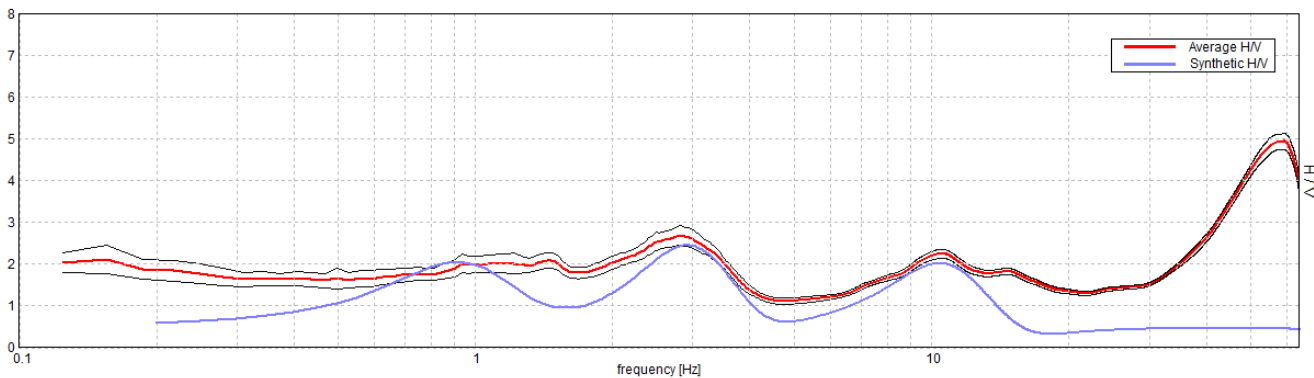
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



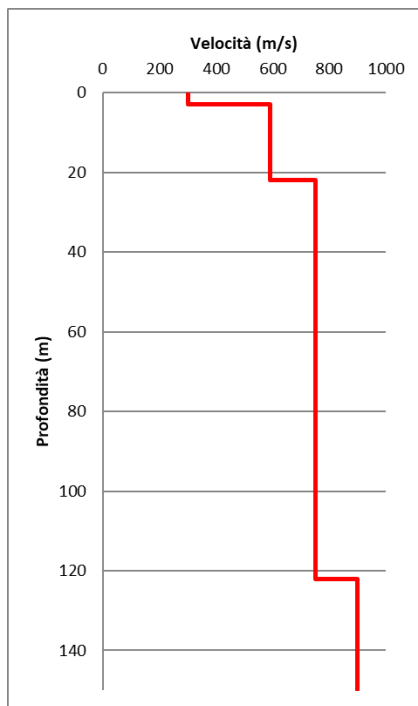
Max. H/V at 59.03 ± 5.8 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
3.00	3.00	302	0.42
22.00	19.00	590	0.42
122.00	100.00	752	0.42
inf.	inf.	900	0.42

Vs_eq(0.0-30.0)=568m/s



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

Max. H/V at 59.03 ± 5.67 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	59.03 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	141675.0 > 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 1104 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	38.781 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	4.92 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09598 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	5.66586 < 2.95156		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1869 < 1.58	OK	

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

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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



Latitudine	Longitudine
45°59'49.93"N	11°15'46.76"E

Hvsr_02

Instrument: TZ3-0005/01-13

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: 51

Start recording: 19/09/19 16:25:37 End recording: 19/09/19 17:05:37

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

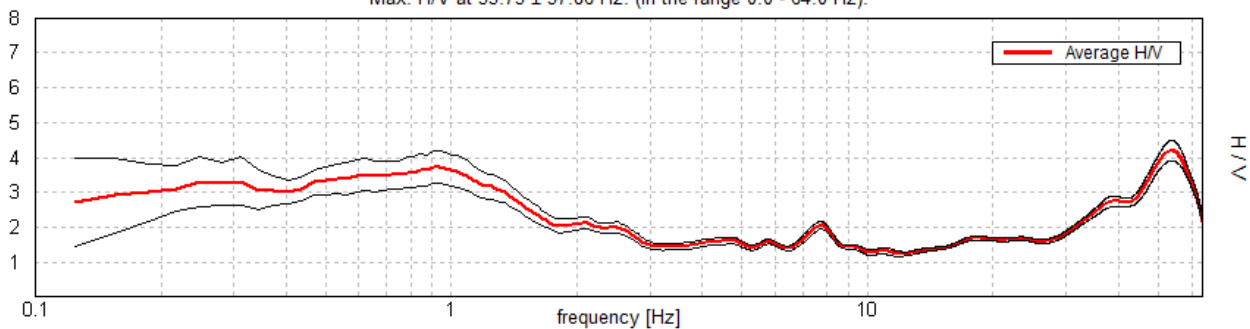
Trace length: 0h40'00". Analyzed 94% trace (automatic window selection)

Sampling rate: 128 Hz

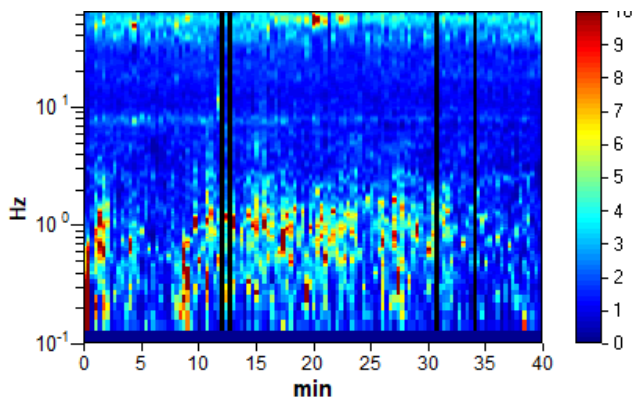
Window size: 20 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

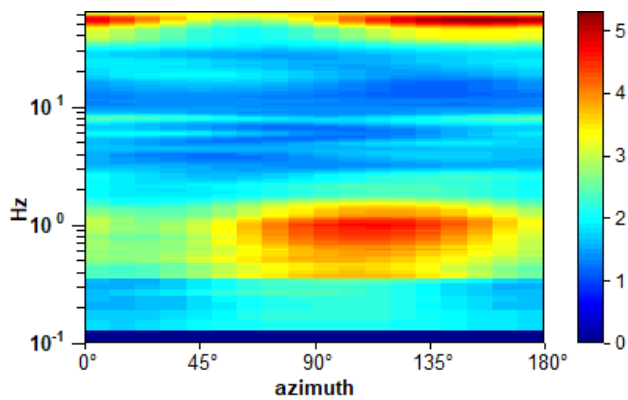
Max. H/V at 53.75 ± 37.86 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



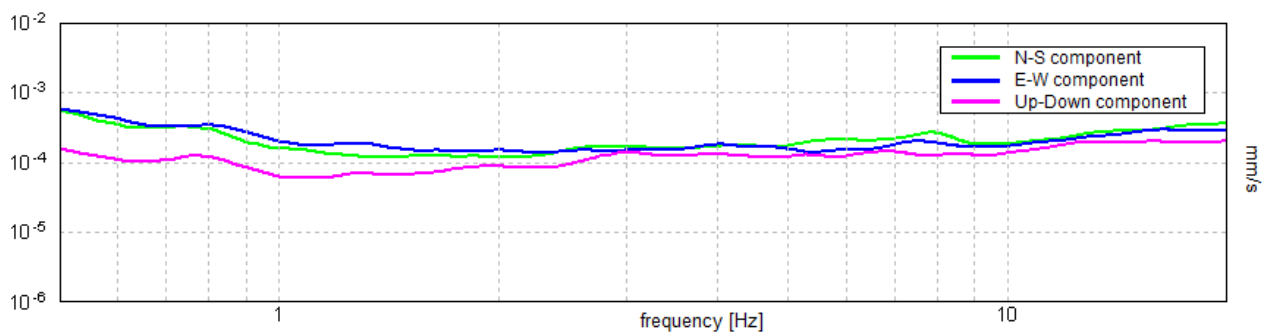
SERIE TEMPORALE H/V



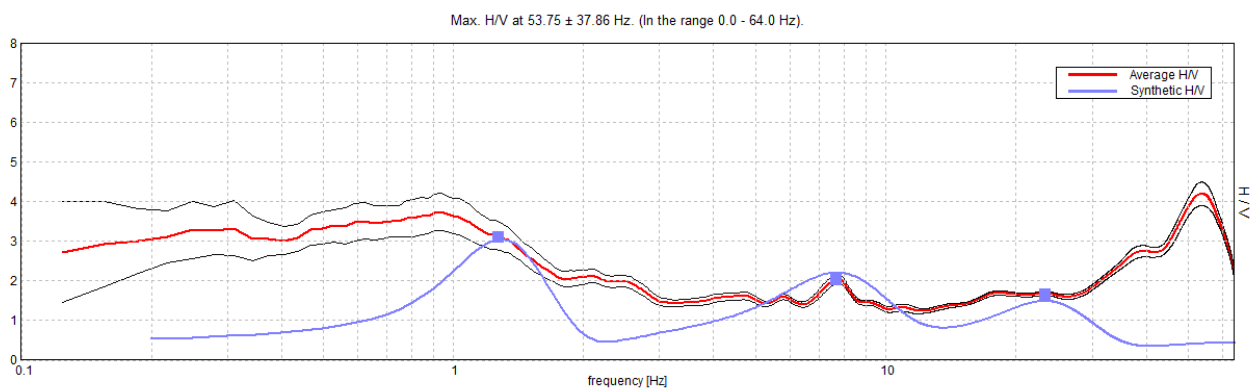
DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

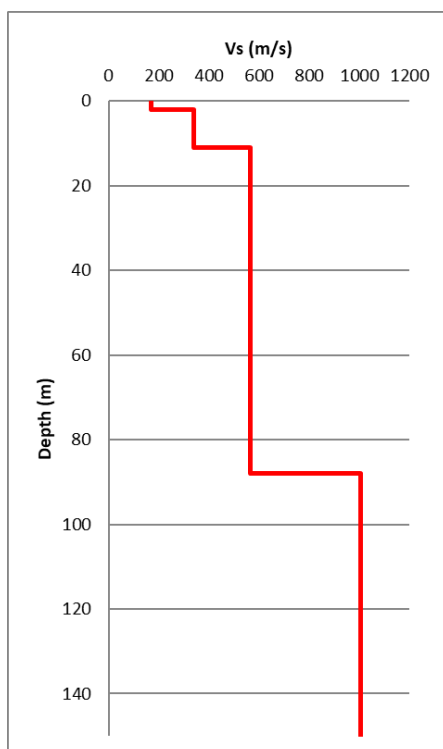


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]
2.00	2.00	168
11.00	9.00	340
88.00	77.00	565
inf.	inf.	1006

Vs_eq(0.0-30.0)=425m/s



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

Picco H/V a 53.75 ± 37.86 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$53.75 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$124700.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 1189	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	32.219 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$4.19 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.70429 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$37.85585 < 2.6875$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2941 < 1.58$	OK	

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

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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



SOCOTEC

THE POWER OF FORESIGHT

ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

Tomografia di resistività elettrica

EMISSIONE: Rev.01

DATA: 03/05/2021

Elaborato	Verificato	Approvato
Giovanni Pallavicino	Donato Fiore	Massimo De Iasi
<i>Giovanni Pallavicino</i>	<i>Donato Fiore</i>	<i>Massimo De Iasi</i>

TAVOLA N°2

Ubicazione indagini Geoelettriche



Lavoro:
ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA
LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

Committente:


Indagini:
ERT
Data di esecuzione:
Aprile 2021

Elaborato: G.Pallavicino
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi


SOCOTEC

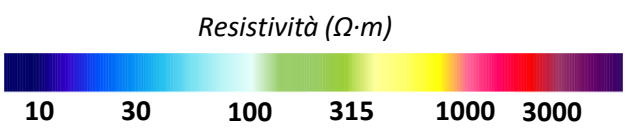
TAVOLA N°3

Tomografia di resistività elettrica –ERT1



Passo interelettrodo: 1.5 m

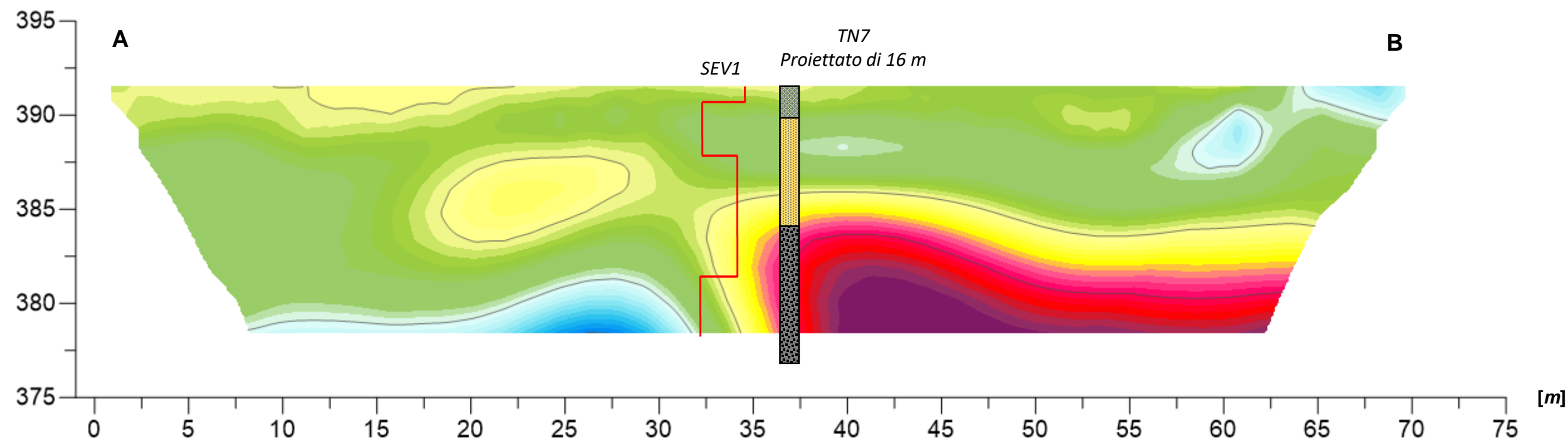
ID ERT 1	Latitudine	Longitudine
A	5102656.66 m N	689908.66 m E
B	5102623.22 m N	689970.55 m E



- Ciottoli e ghiaie sabbiose
- Sabbia con ghiaie
- Ghiaia con sabbia
- Ghiaia limoso - sabbiosa

ERT1

Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 250

Lavoro:
ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA
LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

Committente:

Indagini:
ERT
Data di esecuzione:
Aprile 2021

Elaborato: G.Pallavicino
Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi



TAVOLA N°4

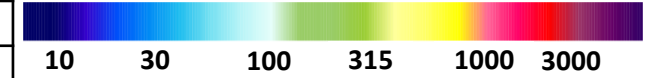
Tomografia di resistività elettrica –ERT2



Passo interelettrodo: 1.5 m

ID ERT 2	Latitudine	Longitudine
A	5096222.42 m N	675199.79 m E
B	5096232.06 m N	675270.12 m E

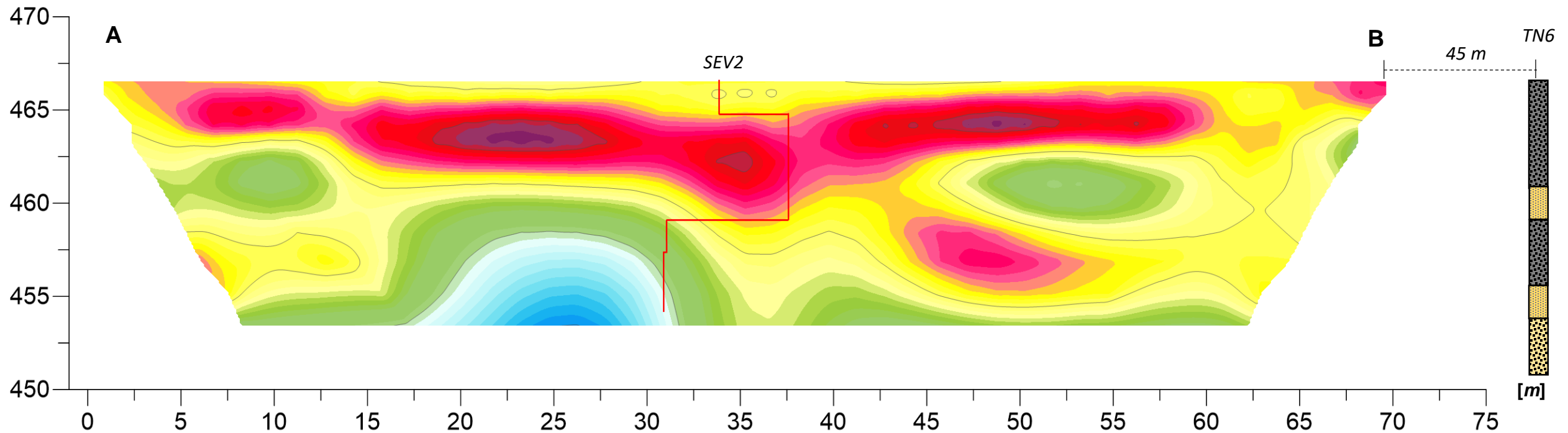
Resistività ($\Omega \cdot m$)



- Ciottoli e ghiaie sabbiose
- Sabbia con ghiaie
- Ghiaia con sabbia
- Ghiaia limoso - sabbiosa

ERT2

Quota ellissoidica [m]



Scala 1 : 250

Lavoro:
ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA
LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est

Committente:



Indagini:

ERT
Data di esecuzione:
Aprile 2021

Elaborato: G.Pallavicino

Verificato: D. Fiore
Approvato: M. De Iasi



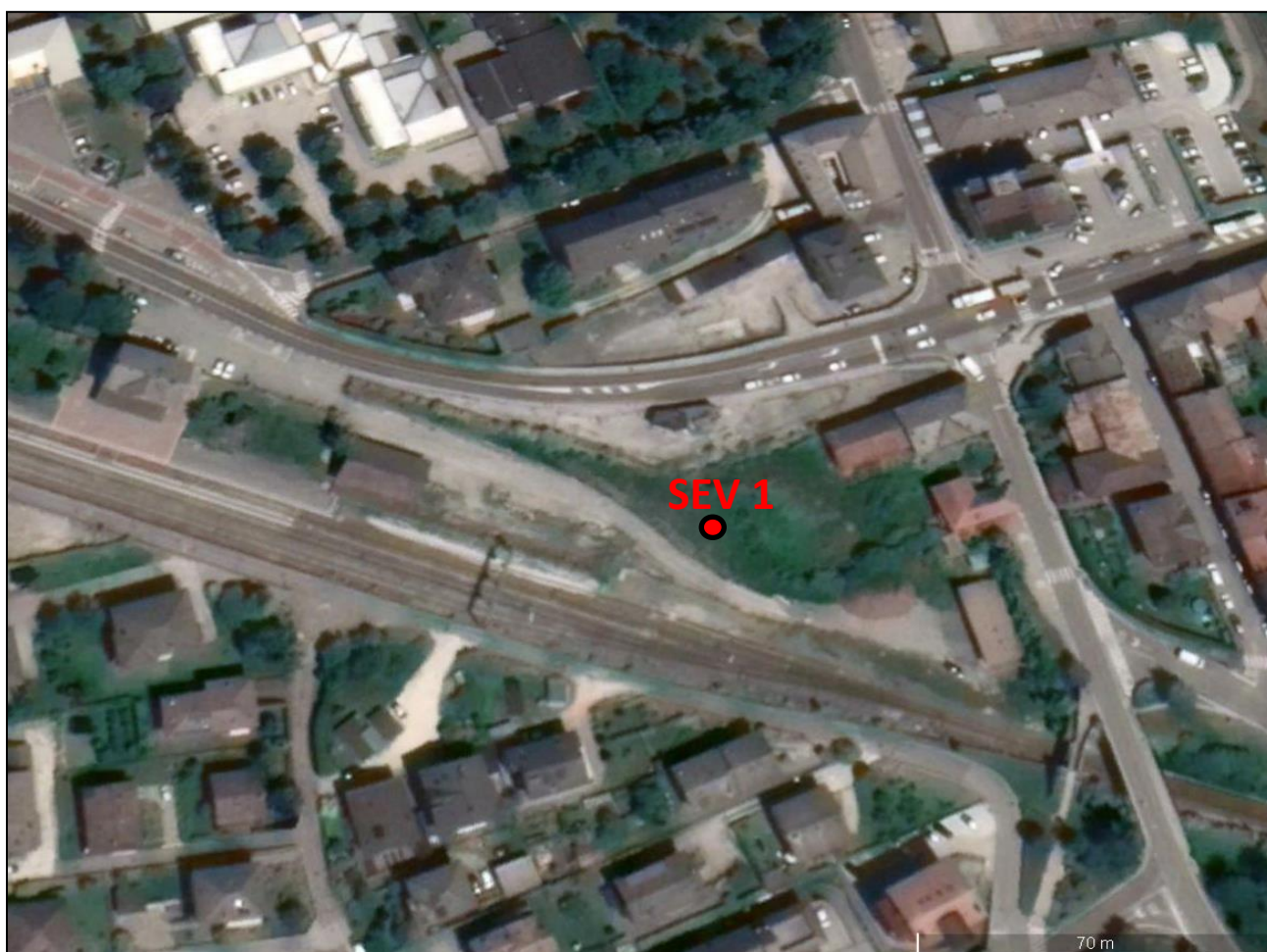


TEST REPORT

1/4

SEV

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	SEV1		
DATA DI ESECUZIONE	13/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 3'3.53"N	
	X	11°27'18.82"E	





TEST REPORT

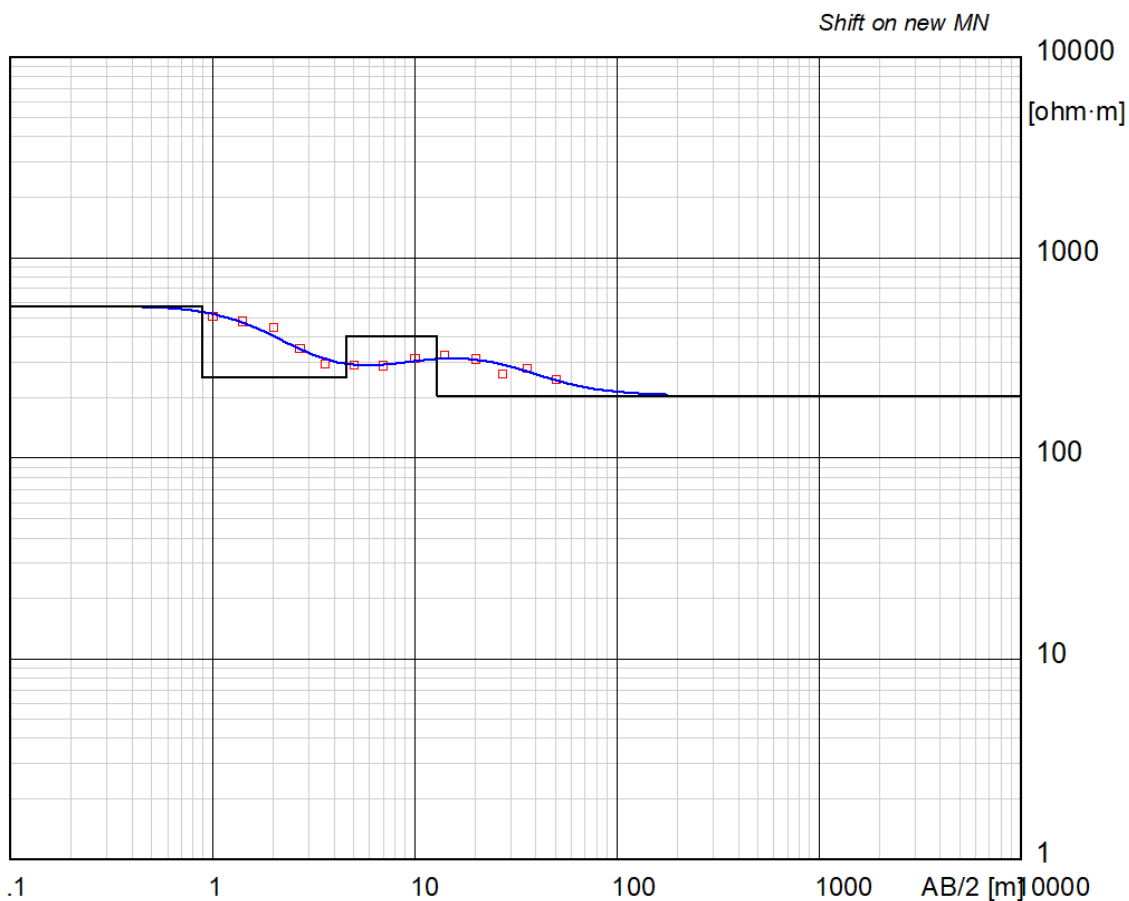
3/4

SEV

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	SEV1		
DATA DI ESECUZIONE	13/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 3'3.53"N	
	X	11°27'18.82"E	

CURVA DI RESISTIVITA'

Electrical sounding Schlumberger - sev1.WS3





TEST REPORT

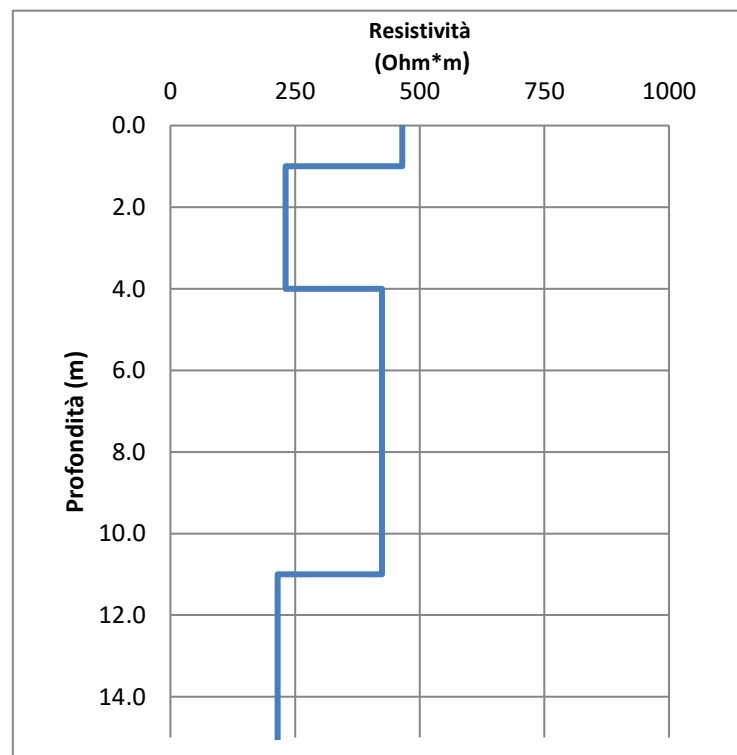
4/4

MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	SEV1		
DATA DI ESECUZIONE	13/04/2021		
COORDINATE	Y	46° 3'3.53"N	
	X	11°27'18.82"E	

GRAFICO & TABELLA $\rho - h$

Sismostrato	Profondità		Spessore	Resistività
1	0.00	1.00	1.00	465.00
2	1.00	4.00	3.00	231.00
3	4.00	11.00	7.00	424.00
4	11.00	inf.	inf.	215.00





TEST REPORT

1/4

SEV

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	SEV2		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Y	45°59'49.98"N	
	X	11°15'47.01"E	





TEST REPORT

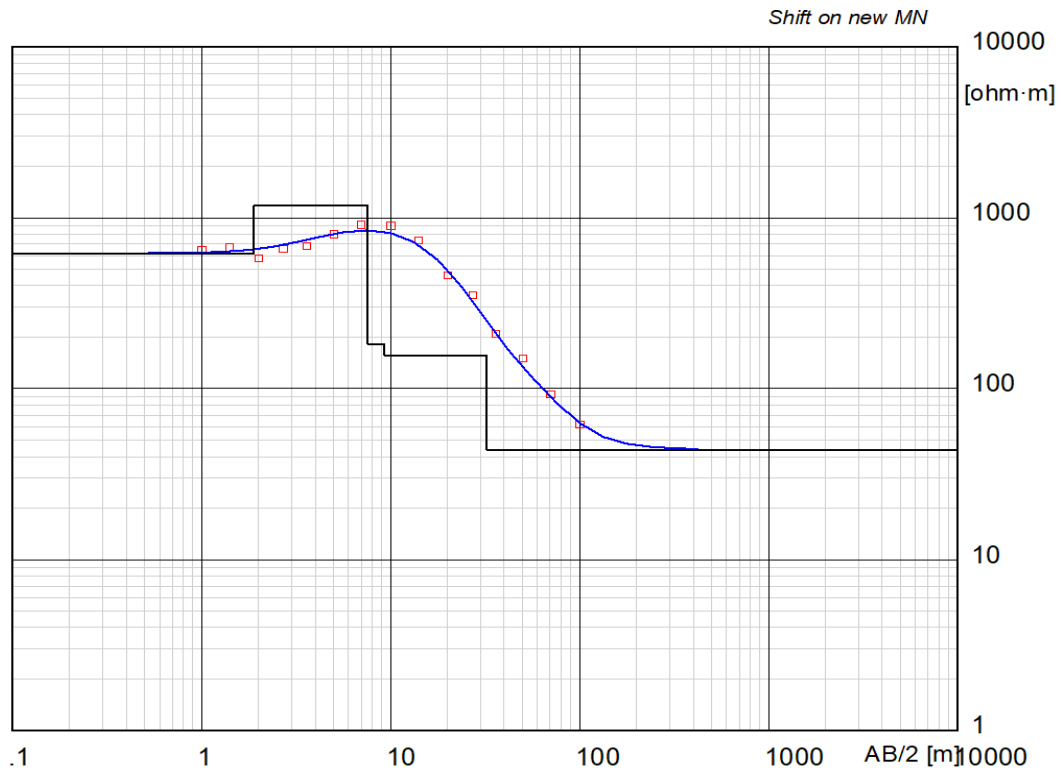
3/4

SEV

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	SEV2		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Y	45°59'49.98"N	
	X	11°15'47.01"E	

CURVA DI RESISTIVITA'

Electrical sounding Schlumberger - SEV2.WS3





TEST REPORT

4/4

MASW

CLIENTE:	Italferr S.p.a.		
LAVORO:	ELETTRIFICAZIONE TRENTO-BASSANO DEL GRAPPA LOTTO 1: Tratta Trento-Borgo Valsugana Est		
UBICAZIONE:	Comune di Trento (TN)		
NOME TEST:	SEV2		
DATA DI ESECUZIONE	14/04/2021		
COORDINATE	Y	45°59'49.98"N	
	X	11°15'47.01"E	

GRAFICO & TABELLA $\rho - h$

Sismostrato	Profondità		Spessore	Resistività
1	0.00	1.90	1.90	619.00
2	1.90	7.60	5.70	1184.00
3	7.60	9.30	1.70	182.00
4	9.30	32.70	23.40	156.00
5	32.70	inf.	inf.	80.00

