

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01 e s.m.i.

S.O. GEOLOGIA

PROGETTO DEFINITIVO

NODO DI BARI

BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO - PALESE

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATIVE (2023)

SCALA:

-

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
IADR	00	D	69	IG	GE0005	002	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	P. Luiso <i>Paolo Luiso</i>	Luglio 2023	A.D'Arcangelo <i>Arcangelo</i>	Luglio 2023	G. Dimaggio <i>Giuseppe Dimaggio</i>	Luglio 2023	G. BENEDETTI Luglio 2023
								ITALFERR S.p.A. Gruppo Ferrovie dello Stato Italiane Dot. Geol. Giampaolo Benedetti Ordine dei Geologi Emilia Romagna n. 1019 <i>Giampaolo Benedetti</i>

File: IADR00D69IGGE0005002A

n. Elab.:

INDICE

<i>PREMESSA</i>	2
1. METODO MASW	2
1.1. PRINCIPI DI FUNZIONAMENTO E CENNI SUL METODO	2
1.2. STRUMENTAZIONE IMPIEGATA	5
1.3. SCHEMA DI ACQUISIZIONE	7
2. RISULTATI INDAGINI MASW	8
• BIBLIOGRAFIA	9
ALLEGATI	10

PREMESSA

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche tipo MASW eseguite presso la tratta Bari Nord Santo Spirito-Palese. Le indagini sono state realizzate nel mese di giugno 2023.



Figura 1 – Inquadramento geografico e ubicazione indagini.

1. METODO MASW

1.1. Principi di funzionamento e cenni sul metodo

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

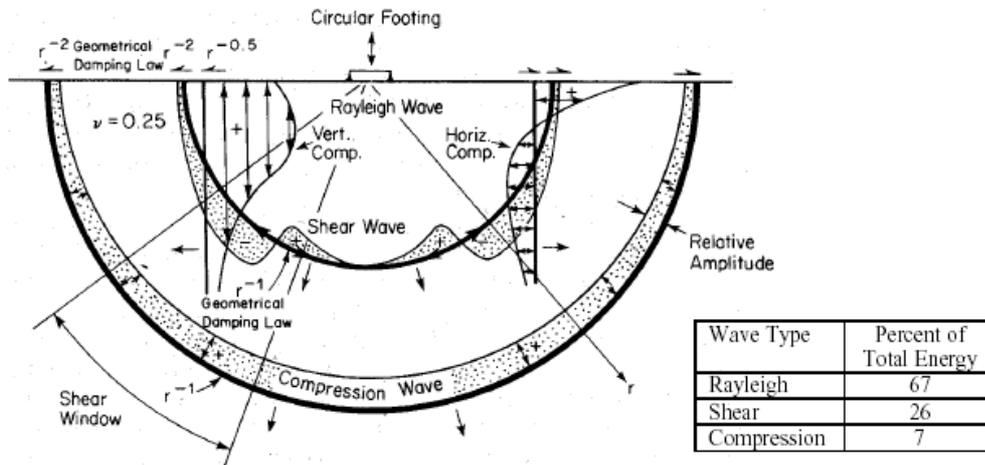


Figura 2 - Distribuzione delle onde di Rayleigh nel sottosuolo.

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

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

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

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

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

	PROGETTO DEFINITIVO					
	NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO – PALESE					
INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATIVE (2023)	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IADR	00	D 69 IG	GE 00 05 002	A	4 di 11

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

1.2. 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).

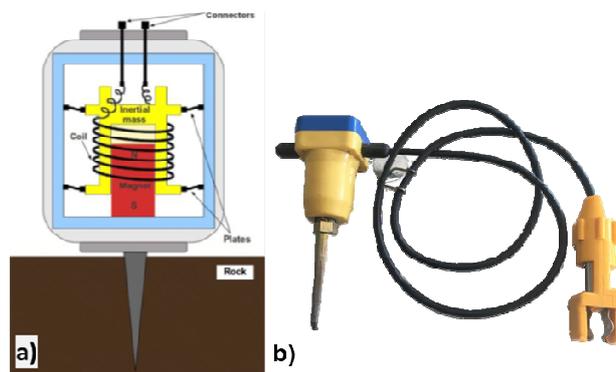


Figura 3 – Geofoni per onda P ed Sh; a) schema di funzionamento del geofono per onda P; b) geofono per onda P con frequenza caratteristica di 4.5 Hz.

	PROGETTO DEFINITIVO					
	NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO – PALESE					
INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATIVE (2023)	COMMESSA IADR	LOTTO 00	CODIFICA D 69 IG	DOCUMENTO GE 00 05 002	REV. A	FOGLIO 6 di 11

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

sistema di acquisizione dati: sismografo costituito da un sistema multicanale a conversione digitale. Il modello è denominato *GEODE* (prodotto dalla *GEOMETRICS*, Fig. 4; Tab. 1) ed è caratterizzato da una risoluzione di acquisizione pari a 24 bit (Tecnologia Delta Sigma). Tale sistema è in grado di registrare, su ciascun canale in forma digitale, le forme d’onda e di conservarle su memoria di massa dinamica minima a 24 bit. Esso è collegato a ciascuno dei geofoni ed al sensore del trigger, consentendo quindi di registrare in forma numerica e visualizzare sotto forma di tracce, su un apposito monitor, le vibrazioni a partire dall’impulso inviato dal trigger.



Figura 4 - Sismografo GEODE (Geometrics).

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

Tabella 1 - Specifiche tecniche Sismografo GEODE.

1.3. Schema di acquisizione

Lo stendimento sismico è stato realizzato utilizzando 24 canali d'acquisizione (geofoni) con passo intergeofonico pari a 2 m (Fig. 5). L'acquisizione dei dati sismici è stata condotta secondo la seguente configurazione spazio temporale:

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

2. RISULTATI INDAGINI MASW

L'indagine MASW ha consentito di ottenere un modello monodimensionale di Vs che, com'è noto, può essere ritenuto esaustivo del profilo verticale di Vs nel punto centrale dello stendimento. Pertanto, secondo la nuova normativa NTC2018, si riscontra la presenza di terreno che va a collocarsi nella categoria di suolo **A**.

In linea generale, le Masw mostrano la presenza di basamento sismico a una profondità che oscilla tra 2.5 e 3 m dal p.c..

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



PROGETTO DEFINITIVO

**NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO –
PALESE**

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATIVE (2023)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 69 IG	GE 00 05 002	A	9 di 11

• **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..

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



PROGETTO DEFINITIVO

**NODO DI BARI – BARI NORD VARIANTE SANTO SPIRITO –
PALESE**

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATIVE (2023)

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IADR	00	D 69 IG	GE 00 05 002	A	10 di 11

ALLEGATI



TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE	PALESE		
NOME TEST	MASW 1		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4558218.43 m N	
	Long.	643552.25 m E	





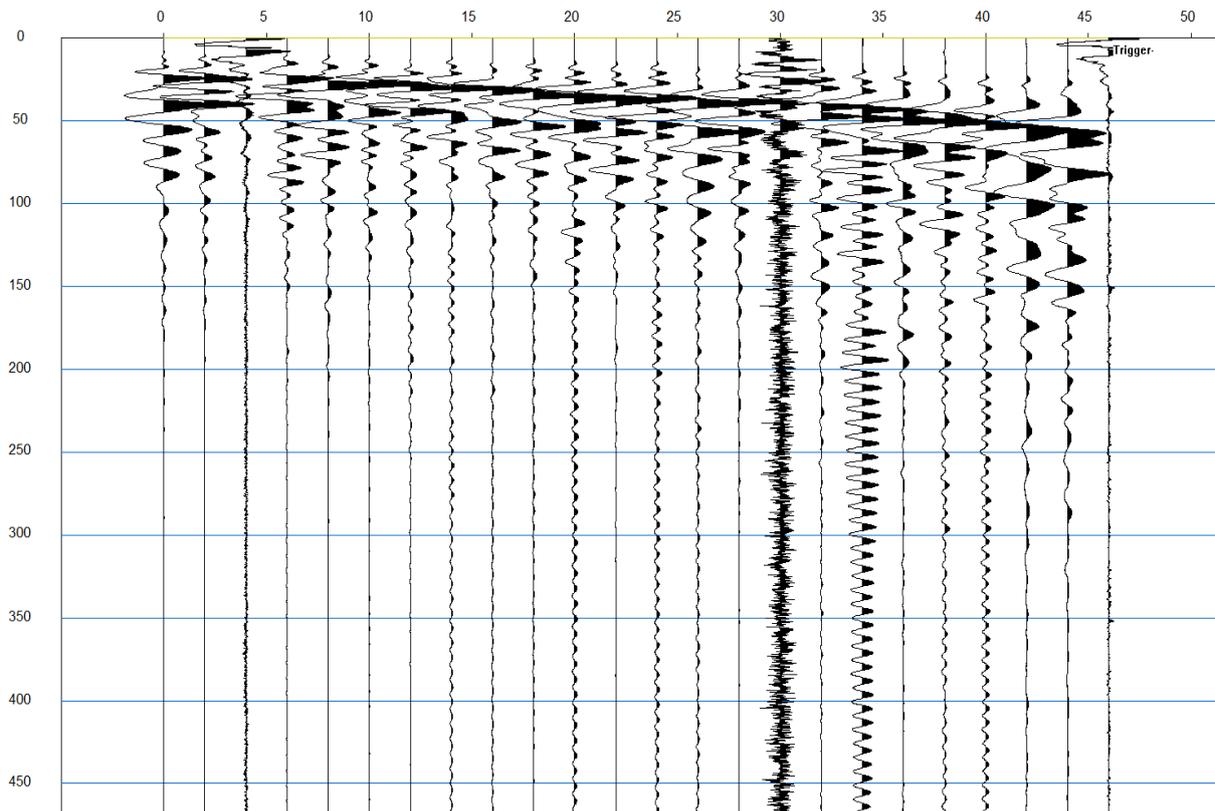
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE:	PALESE		
NOME TEST	MASW 1		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4558218.43 m N	
	Long.	643552.25 m E	

SISMOGRAMMA





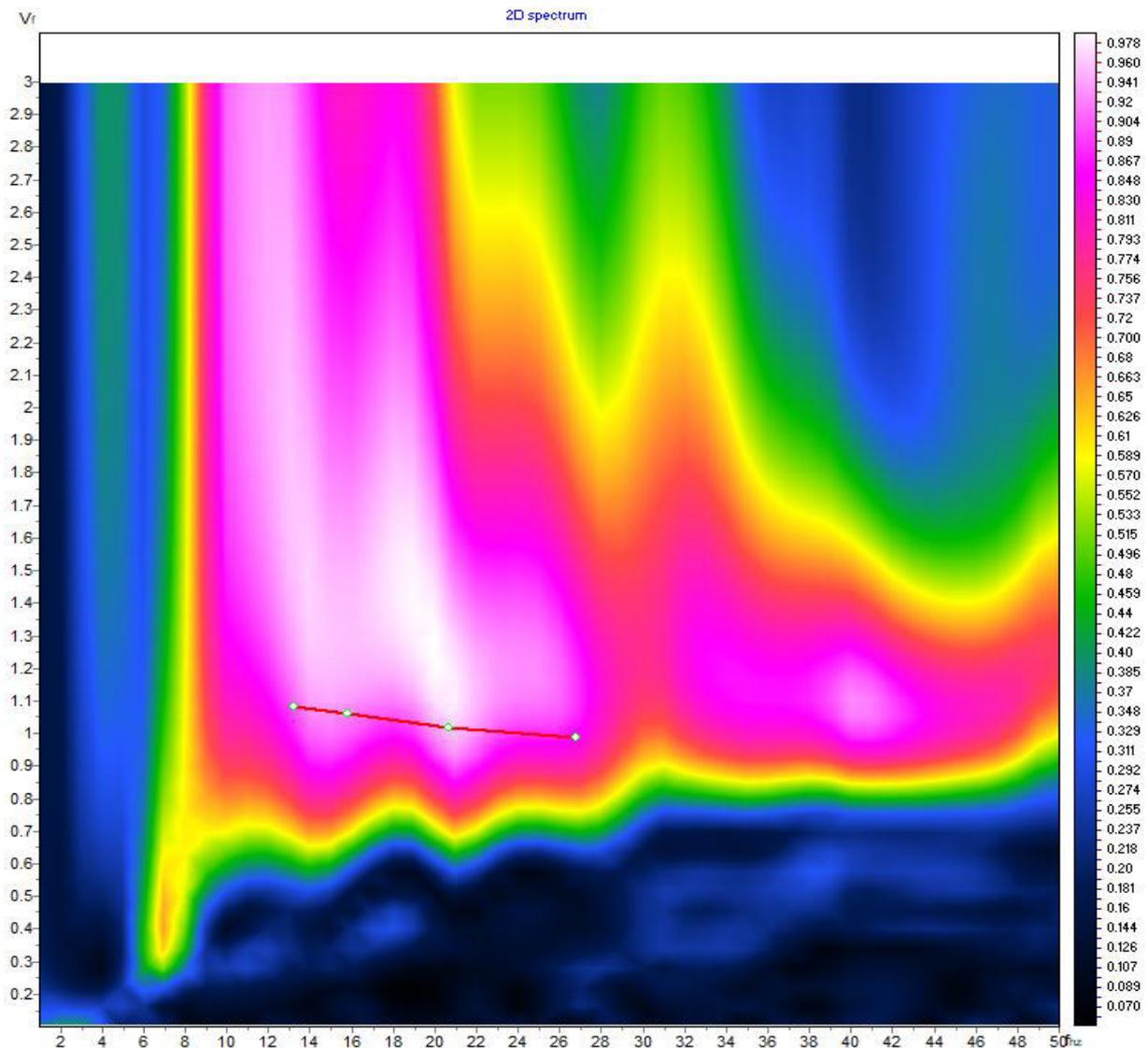
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE:	PALESE		
NOME TEST	MASW 1		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4558218.43 m N	
	Long.	643552.25 m E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

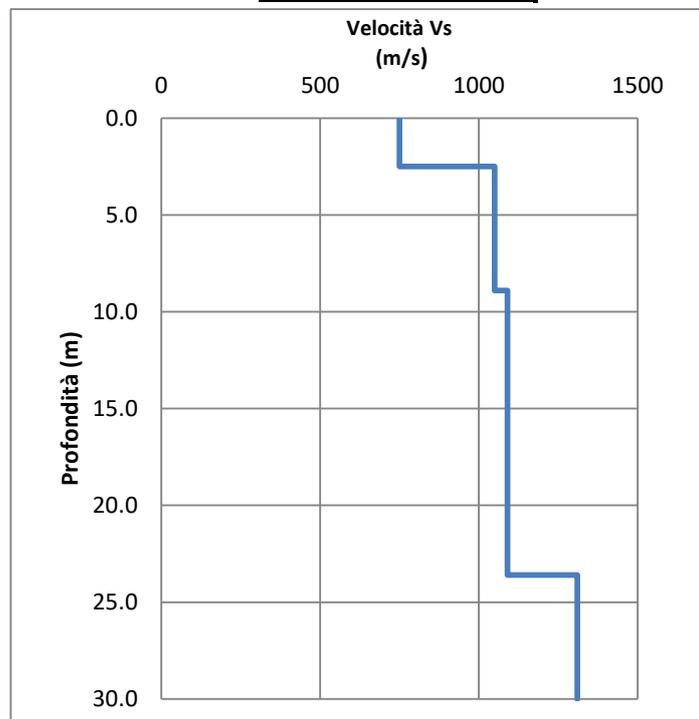
MASW

CLIENTE:	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE:	PALESE		
NOME TEST:	MASW 1		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4558218.43 m N	
	Long.	643552.25 m E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.50	2.50	750.00
2	2.50	8.90	6.40	1050.00
3	8.90	23.60	14.70	1090.00
4	23.60	inf.	inf.	1310.00

Vs eq (0 - 2.5) **750**
Suolo **A**





TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE	PALESE		
NOME TEST	MASW 2		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4556947.44 m N	
	Long.	646348.67 m E	





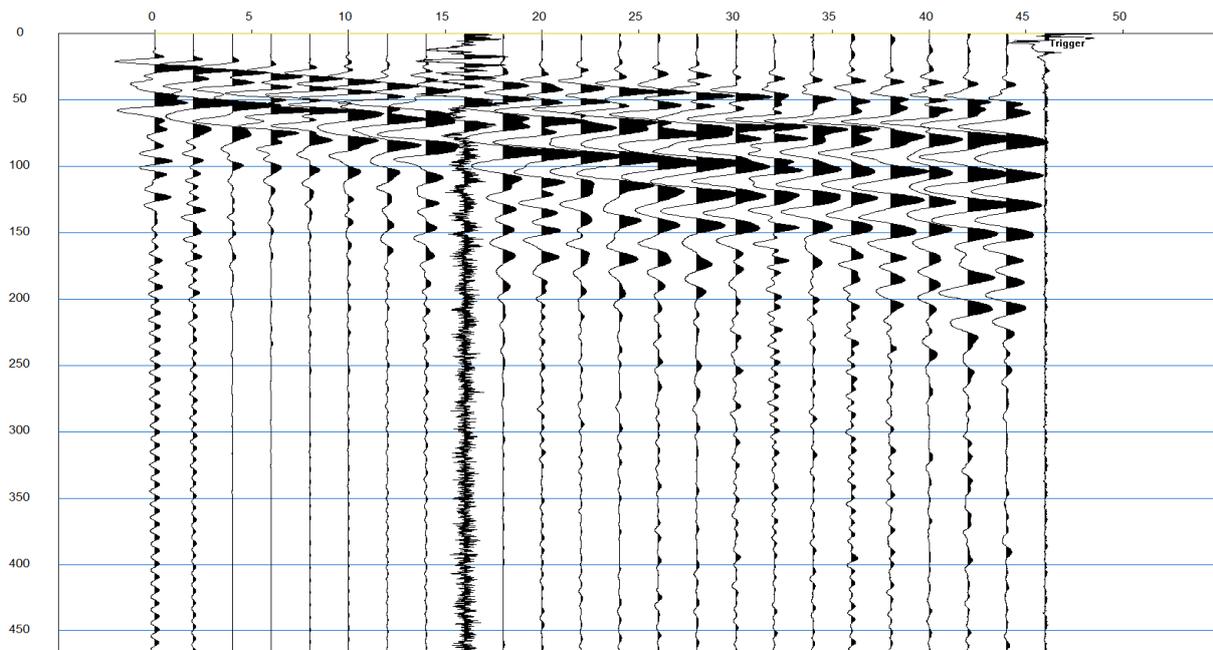
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE:	PALESE		
NOME TEST	MASW 2		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4556947.44 m N	
	Long.	646348.67 m E	

SISMOGRAMMA





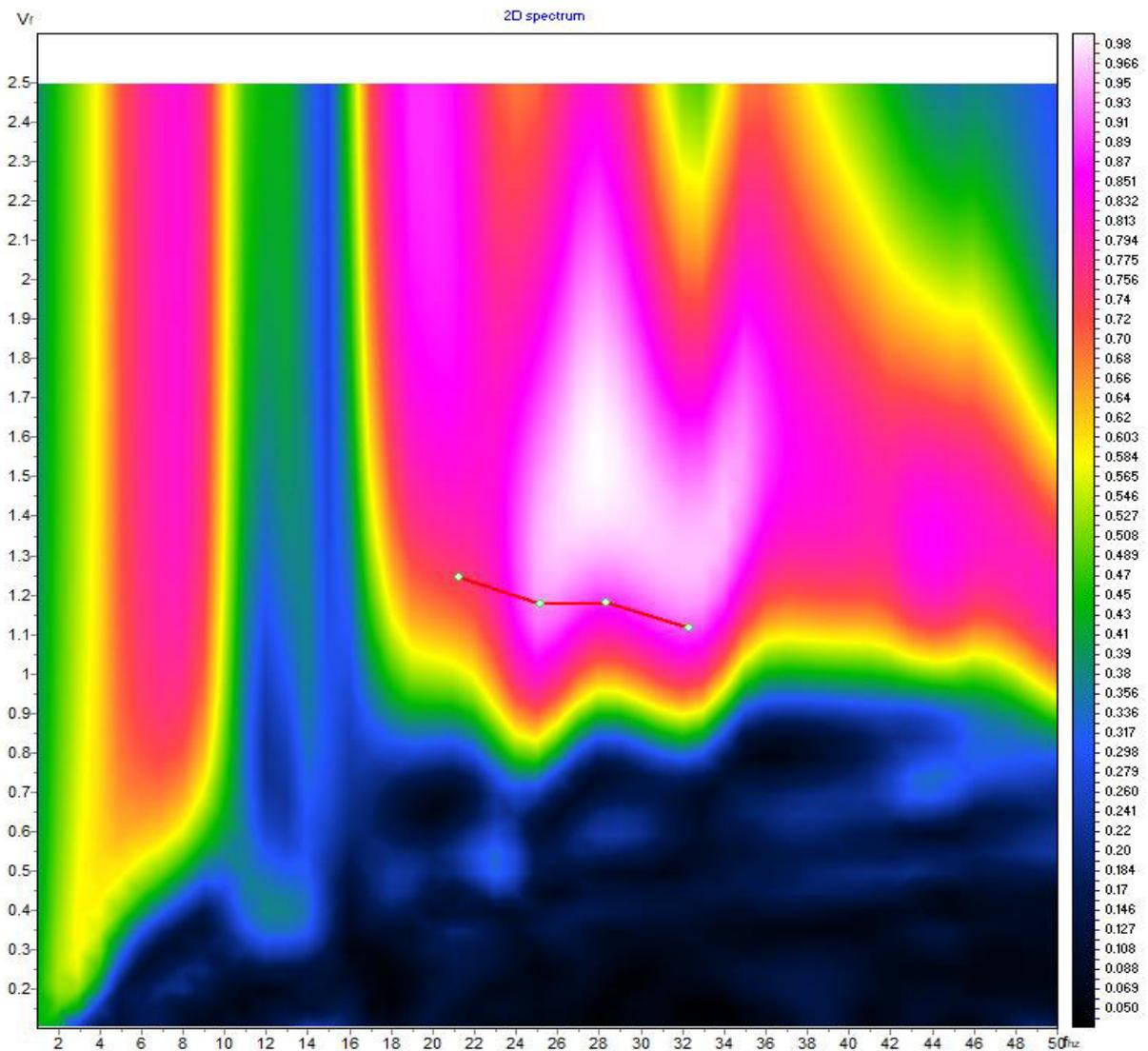
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE:	PALESE		
NOME TEST	MASW 2		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4556947.44 m N	
	Long.	646348.67 m E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

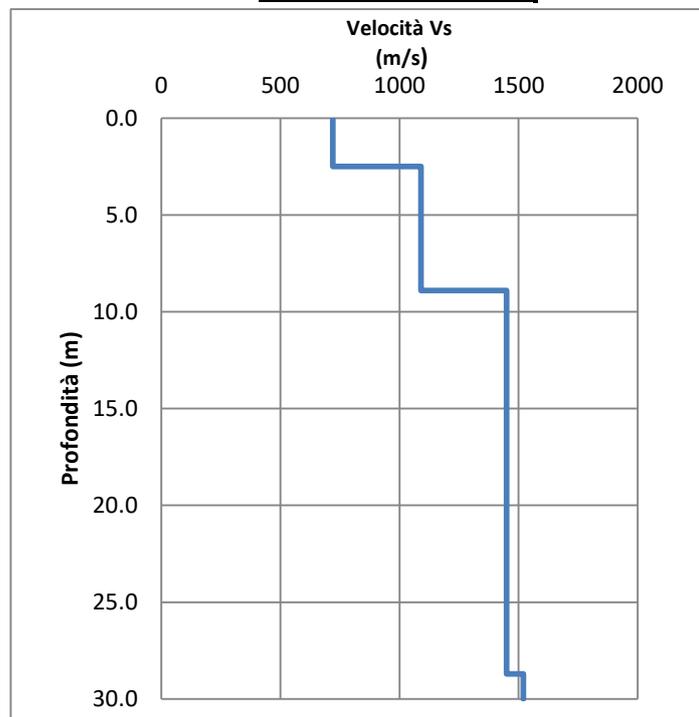
MASW

CLIENTE:	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE:	PALESE		
NOME TEST:	MASW 2		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4556947.44 m N	
	Long.	646348.67 m E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.50	2.50	720.00
2	2.50	8.90	6.40	1090.00
3	8.90	28.70	19.80	1450.00
4	28.70	inf.	inf.	1520.00

Vs eq (0 - 30) **720**
Suolo **A**





TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE	PALESE		
NOME TEST	MASW 3		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4556293.45 m N	
	Long.	648566.53 m E	





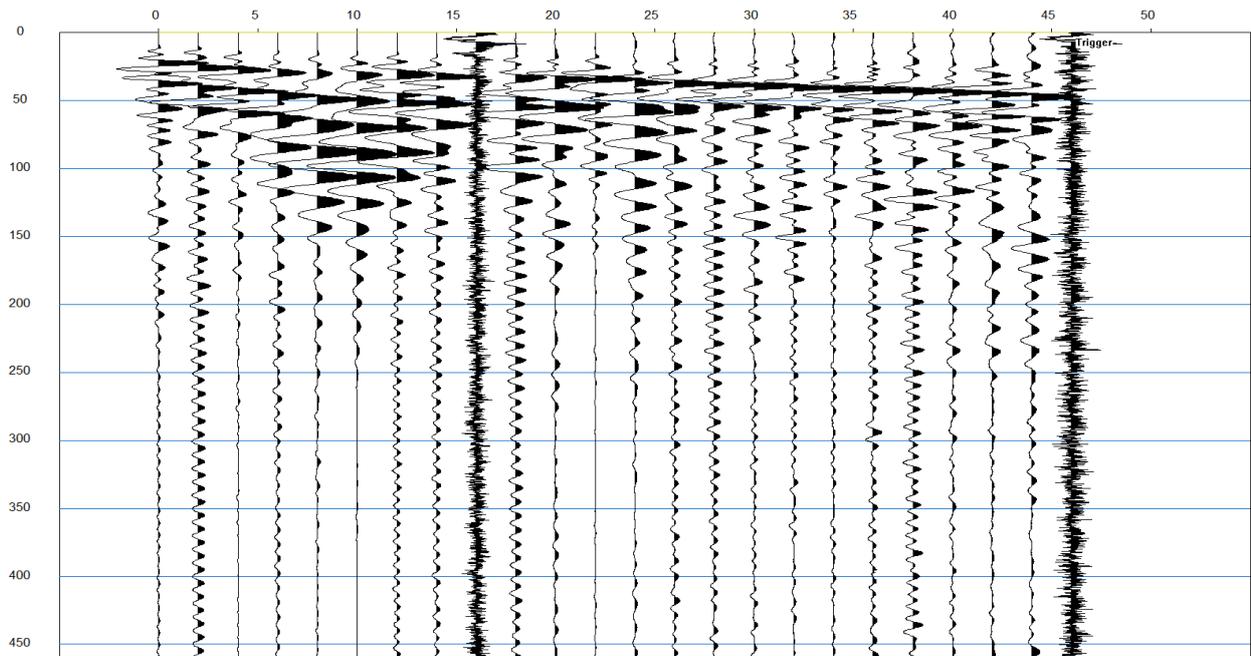
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE:	PALESE		
NOME TEST	MASW 3		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4556293.45 m N	
	Long.	648566.53 m E	

SISMOGRAMMA





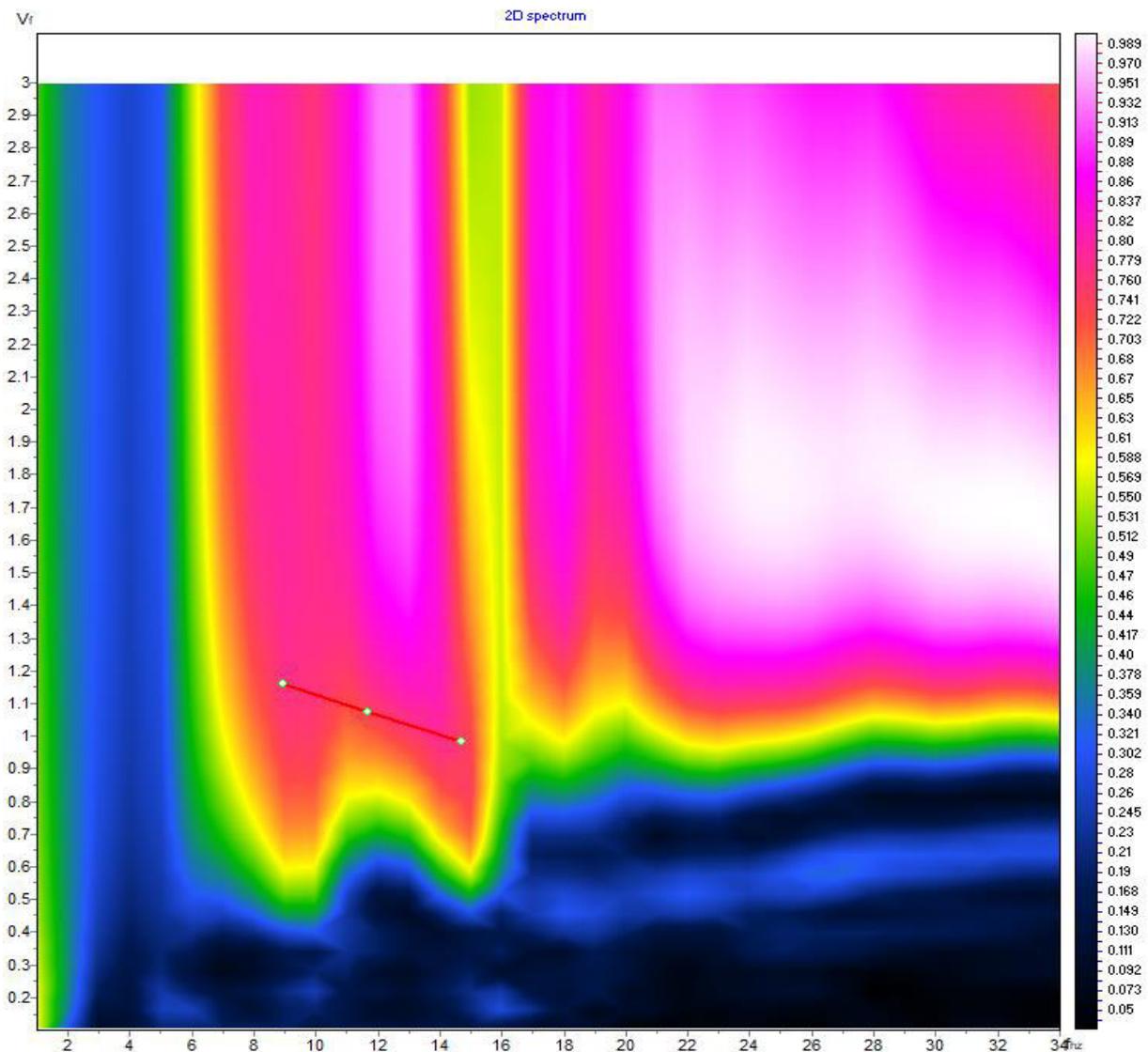
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE:	PALESE		
NOME TEST	MASW 3		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4556293.45 m N	
	Long.	648566.53 m E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

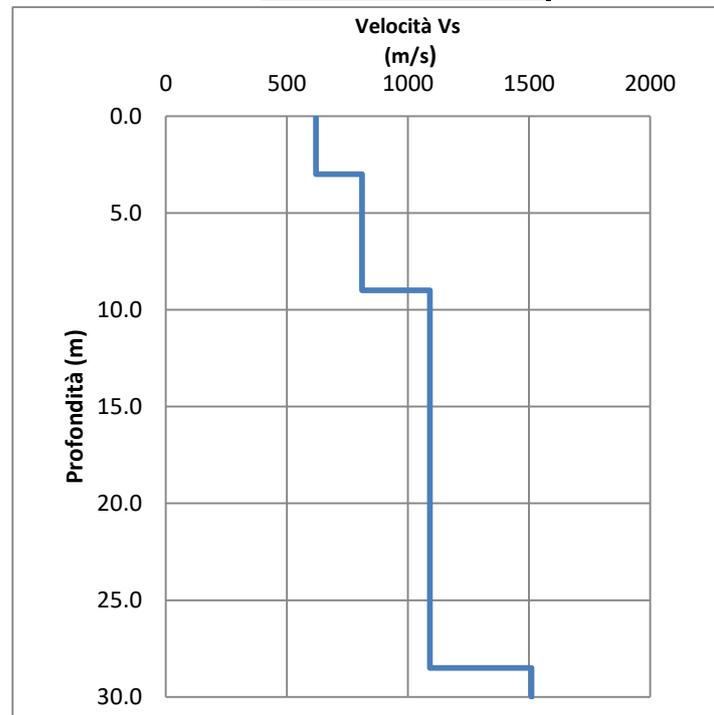
MASW

CLIENTE:	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE:	PALESE		
NOME TEST:	MASW 3		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4556293.45 m N	
	Long.	648566.53 m E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	3.00	3.00	620.00
2	3.00	9.00	6.00	810.00
3	9.00	28.50	19.50	1090.00
4	28.50	inf.	inf.	1510.00

Vs eq (0 - 3.3) **620**
Suolo **A**



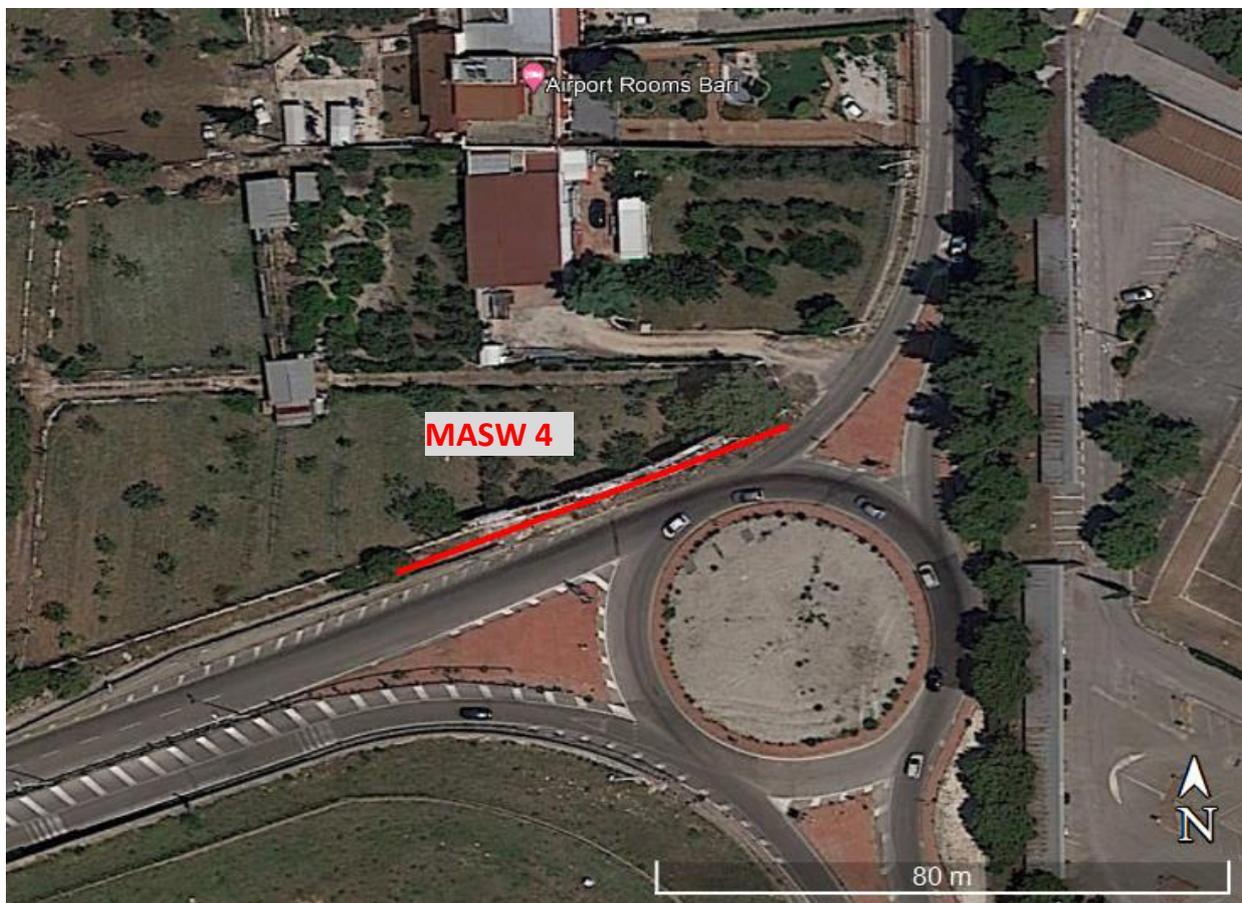


TEST REPORT

1/4

MASW

CLIENTE	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE	PALESE		
NOME TEST	MASW 4		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4556421.94 m N	
	Long.	649209.59 m E	





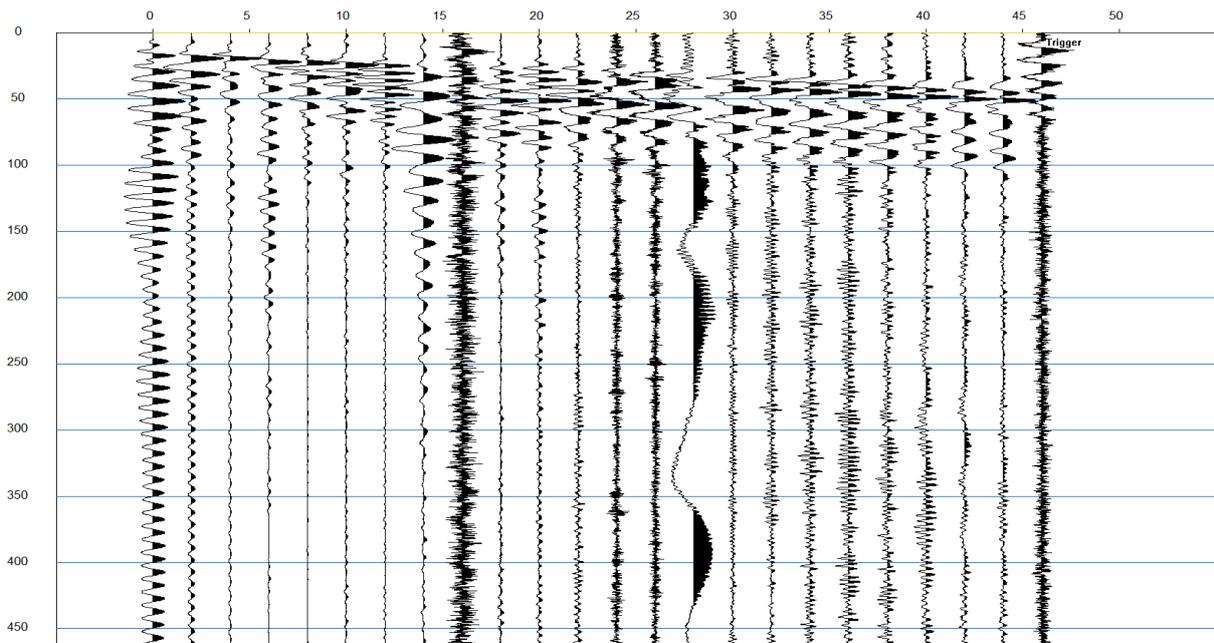
TEST REPORT

2/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE:	PALESE		
NOME TEST	MASW 4		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4556421.94 m N	
	Long.	649209.59 m E	

SISMOGRAMMA





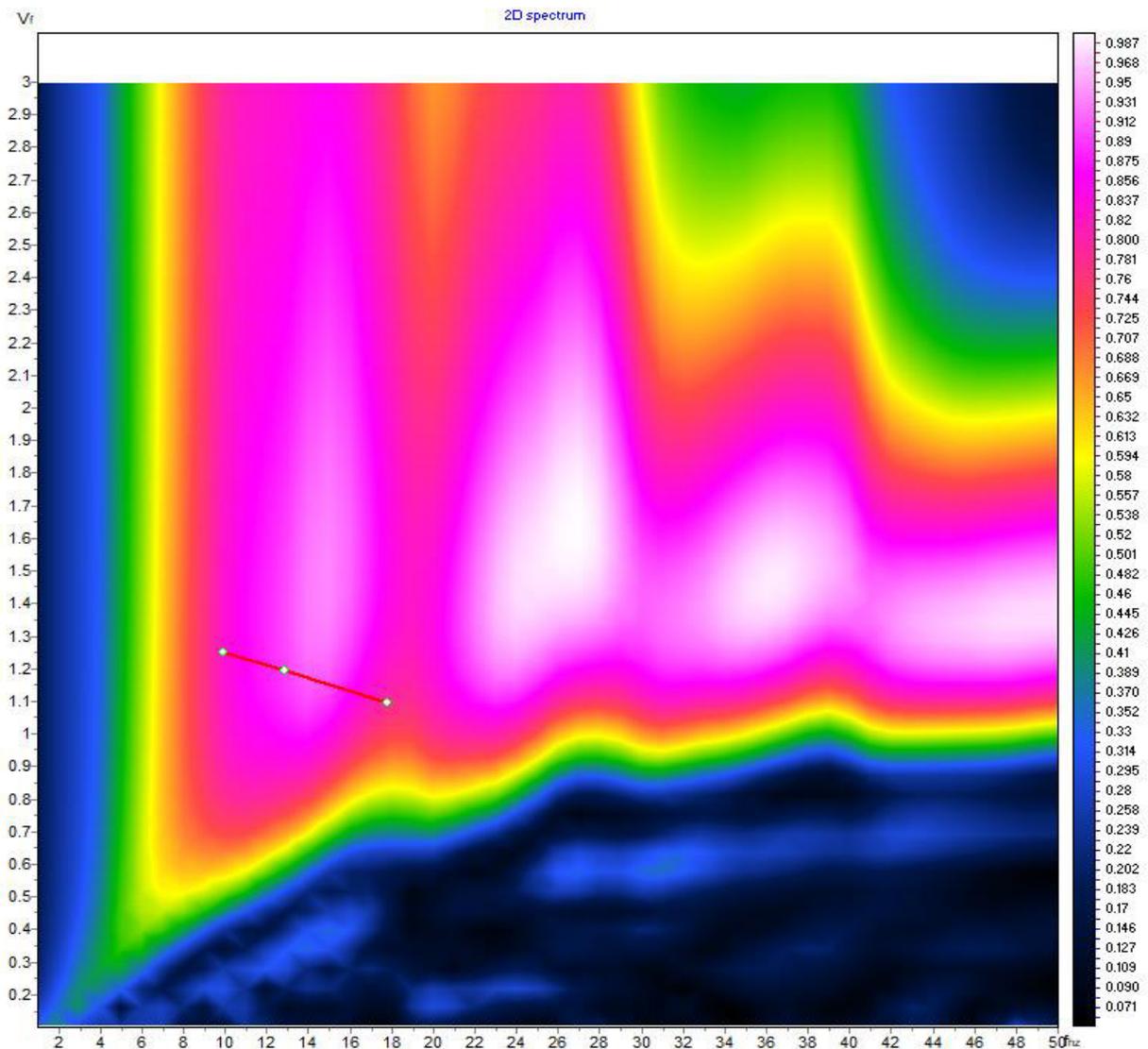
TEST REPORT

3/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE:	PALESE		
NOME TEST	MASW 4		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4556421.94 m N	
	Long.	649209.59 m E	

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE





TEST REPORT

4/4

MASW

CLIENTE:	ITALFERR S.p.a.		
LAVORO:	ESECUZIONE DI PROSPEZIONE GEOFISICHE PFTE E INTERRAMENTO TRATTA BARI NORD SANTO SPIRITO - PALESE		
UBICAZIONE:	PALESE		
NOME TEST:	MASW 4		
DATA DI ESECUZIONE	22/06/2023		
COORDINATE	Lat.	4556421.94 m N	
	Long.	649209.59 m E	

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0.00	2.90	2.90	780.00
2	2.90	8.60	5.70	990.00
3	8.60	28.50	19.90	1190.00
4	28.50	inf.	inf.	1560.00

Vs eq (0 - 2.9) **780**
Suolo **A**

