COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

PROGETTAZIONE:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

DIREZIONE TECNICA

U.O. GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

VELOCIZZAZIONE DELLA LINEA ROMA – PESCARA

RADDOPPIO FERROVIARIO TRATTA PESCARA PORTA NUOVA – CHIETI

LOTTO 1 - TRATTA PESCARA PORTA NUOVA - PM SAN GIOVANNI TEATINO

REPORT INDAGINI GEOFISICHE
MASW, SISMICA A RIFRAZIONE E GEOELETTRICA

SCALA: -

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
IA4S	01	D	69	IG	GE0005	001	A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	P.Luiso	01.02.2019	M.Sciarra	01.02.2019	T. Paoletti	01.02.2019	F. Marchese 01.02.2019

ITALFERR S.p.A.
Dott. Geologo Francesco MARCHESE
Resp. UO GEOLOGIA
Ordine Geologi Lazio n. 1185 Sez. A

″ Esecuzione di prospezioni geofisiche per il Progetto Definitivo del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova – Chieti ″

INDAGINI GEOFISICHE: MASW, sismica a rifrazione e Geoelettrica

REPORT DEFINITIVO

SOMMARIO

1. Premessa 4
2. Metodo MASW 5
2.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo 5
2.2 Schema di acquisizione 7
2.3 Strumentazione impiegata 8
3. Risultati indagini MASW 10
4. Sismica a rifrazione 12
4.1. Principi base del metodo 12
4.2. Fattori di influenza delle velocità sismiche 13
4.3. Schema di acquisizione 14
4.4. Processing 14
5. Risultati indagine sismica a rifrazione 16
6. Metodo della resistività elettrica (ERT) 17
6.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo 17
6.2 Proprietà elettriche del suolo ed interpretazione dei valori di resistività 17
6.3 Strumentazione utilizzata 20
6.4 Schema di acquisizione ed elaborazione dei dati ERT 21
7. Risultati indagine geoelettrica 22
ALLEGATI 23

1. Premessa

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche eseguite nei mesi di Febbraio - Maggio 2018 per il "Raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova – Chieti. Lotto 1". Nello specifico sono stati realizzati n°6 stendimenti di sismica per indagini MASW e n°2 stendimenti di sismica a rifrazione (SRT) e n°4 stendimenti acquisiti mediante metodologia geoelettrica (ERT); Fig.1.

Figura 1 - Ubicazione Indagini.

Si riporta di seguito il riepilogo delle indagini eseguite:

ID Prova	metri	Coordinate inizio linea (A)	Coordinate fine linea (B)
MASW 1	48	42°26'46.06"N 14°12'59.34"E	42°26'44.92"N 14°12'57.77"E
MASW 2	48	42°26'41.32"N 14°12'41.63"E	42°26'41.42"N 14°12'39.08"E
MASW 3	48	42°26'40.43"N 14°12'26.07"E	42°26'39.98"N 14°12'23.64"E
MASW 4	48	42°26'02.45"N 14°11'44.42"E	42°26'00.87"N 14°11'43.04"E
MASW 5	48	42°24'53.59"N 14°10'35.49"E	42°24'52.20"N 14°10'33.89"E
MASW 5 bis	48	42°25'3.69"N 14°10'48.64"E	42°25'04.85"N 14°10'50.02"E
ERT 1	70.5	42°26'35.87"N 14°12'18.58"E	42°26'34.51"N 14°12'16.32"E
ERT 2	106.5	42°25'24.11"N 14°11'9.64"E	42°25'21.68"N 14°11'7.37"E
ERT 3	39	42°24'42.72"N 14°10'22.69"E	42°24'41.78"N 14°10'21.42"E
ERT 4	94	42°24'29.84"N 14°10'9.61"E	42°24'27.46"N 14°10'8.04"E
SRT 2	120	42°25'55.46"N 14°11'39.10"E	42°25'52.23"N 14°11'36.22"E
SRT 6	120	42°25'16.84"N 14°11'2.42"E	42°25'13.99"N 14°10'58.82"E

Tabella 1 - Riepilogo 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).

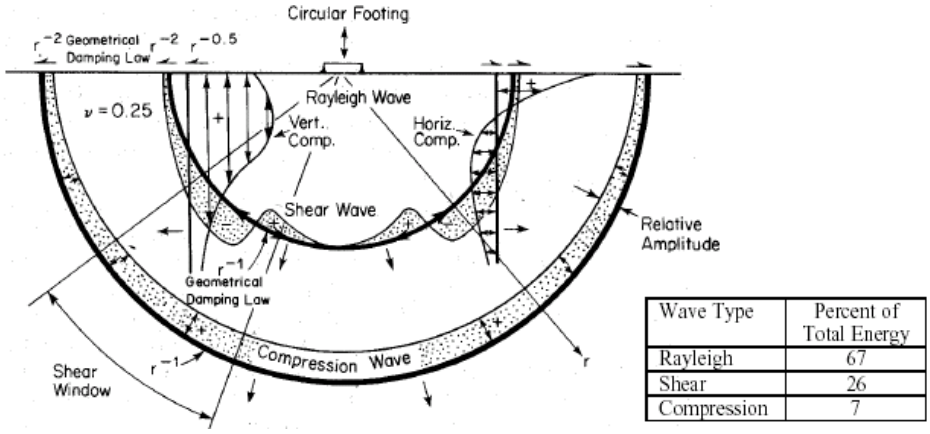


Figura 2 - Distribuzione delle onde di Rayleigh nel sottosuolo.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè 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) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione. La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Le indagini MASW si distinguono in attive e passive o in una combinazione di entrambi.

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 si misura 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):

$$U(x, f) = \int u(x,t) e^{ift} dt \qquad (1)$$

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

$$U(x, f) = P(x, f) A(x, f) \qquad (2)$$

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) può essere espressa come:

$$U(x, f) = e^{-i\theta x} A(x, f) \qquad (3)$$

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, ϕ):

$$V(f,\varphi) = \int e^{i\phi x}\left[U(x,f)/|U(x,f)|\right]dx = \int e^{-i(\Phi-\phi)x}\left[A(x,f)/|A(x,f)|\right]dx \qquad (4)$$

La funzione V(f, ϕ), 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/ϕ.

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, ϕ) avrà un massimo in corrispondenza di un valore:

$$\varphi = F = f / cf \qquad (5)$$

Per un dato valore di ϕ dove si verifica un massimo della funzione V(f, ϕ), la velocità di fase cf può essere determinata. Tenendo conto che cf = f/ϕ la funzione V(f, ϕ) 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 (5). Il luogo dei punti lungo questi massimi, per differenti valori di frequenza f, permettono di identificare le curve di dispersione delle velocità di fase dei modi di oscillazione dell'onda superficiale di Rayleigh.

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

2.2 Schema di acquisizione

Gli stendimenti sismici sono stati realizzati utilizzando 24 canali d'acquisizione (geofoni) con passo intergeofonico pari a 2 m (Fig. 3). L'acquisizione dei dati sismici è stata condotta secondo la seguente configurazione spazio temporale:

- n° geofoni: 24;
- n° 10/15 *shot* posizionati in linea con lo stendimento ad una distanza dal geofono 1 pari a -10 m da sottoporre al processo di stacking in fase di processing per ottimizzare il rapporto *signal/noise;*
- tempo di acquisizione: 1 s;

- intervallo di campionamento 0.125 µs;

Figura 3 - Fasi di acquisizione

2.3 Strumentazione impiegata

L'apparecchiatura utilizzata per questo tipo di prove (sia SRT che MASW) si compone delle seguenti parti:

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

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 + 24 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile (oscillazione orizzontale), con frequenza caratteristica di 8 Hz (Fig. 4).

Figura 4 - Geofono

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

*sistema di acquisizione dati (*comune a tutte le indagini eseguite*)*: n°1 sismografo costituito da un sistema a multicanale a conversione digitale. Il modello è denominato *GEODE* (prodotto dalla *GEOMETRICS,* Fig. 5) con 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 e consente quindi di registrare in forma numerica e visualizzare come tracce su un apposito monitor le vibrazioni a partire dall'impulso inviato dal trigger.

Figura 5 - 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

Tabella2 - Specifiche tecniche Sismografo GEODE.

3. Risultati indagini MASW

Le indagini MASW (Allegato A) 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. In tutti gli stendimenti, tenendo conto della nuova normativa NTC18, si riscontra la presenza di terreno che va a collocarsi nelle categorie di suolo **C.** In particolare, tutti gli stendimenti mostrano la presenza di terreni poco compatti con bassi valori di Vs, anche a causa

della vicinanza della linea di costa (a meno di 3 km di distanza). Le indagini mostrano la presenza di un primo strato a basse Vs (circa 123 -130 m/s) ricollegabile alla presenza di terreni sabbiosi poco compatti e alterati fino ad una profondità di 5 – 10 m dal p.c.. Al di sotto di tale profondità si rinviene un leggero aumento dei valori di Vs fino a circa 15 – 20 m di profondità in cui si arriva anche a 400 – 500 m/s ricollegabile al passaggio da sabbie e limi con argille. Tale andamento litostratigrafico è confermato dai sondaggi effettuati lungo lo stendimento: S1, S2, S3, S4, S5, S6 e S7.

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)		
1	0.00	1.00	1.00	130.00	**Vs_{eq}**	**202 m/s**
2	1.00	3.30	2.30	140.00		
3	3.30	10.50	7.20	150.00	**Suolo**	**C**
4	10.50	20.10	9.60	240.00		
5	20.10	Inf.	Inf.	270.00		

Tabella 3 - Modello 1D Vsh, Vs_{eq} e categoria di suolo (MASW 1).

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)		
1	0.00	12.00	12.00	130.00	**Vs_{eq}**	**212 m/s**
2	12.00	14.50	2.50	170.00		
3	14.50	24.80	10.30	410.00	**Suolo**	**C**
4	24.80	inf.	inf.	570.00		

Tabella 4 - Modello 1D Vsh, Vs_{eq} e categoria di suolo (MASW 2).

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)		
1	0.00	1.80	1.80	120.00	**Vs_{eq}**	**197 m/s**
2	1.80	6.10	4.30	170.00		
3	6.10	13.90	7.80	200.00	**Suolo**	**C**
4	13.90	inf.	inf.	220.00		

Tabella 5 - - Modello 1D Vsh, Vs_{eq} e categoria di suolo (MASW 3).

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)		
1	0.00	1.00	1.00	130.00	**Vs_{eq}**	**303 m/s**
2	1.00	2.90	1.90	140.00		
3	2.90	7.00	4.10	240.00	**Suolo**	**C**
4	7.00	14.90	7.90	360.00		
5	14.90	Inf.	Inf.	390.00		

Tabella 6 - Modello 1D Vsh, Vs_{eq} e categoria di suolo (MASW 4).

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)		
1	0.00	2.00	2.00	200.00	Vs_{eq}	347 m/s
2	2.00	5.60	3.60	220.00		
3	5.60	11.70	6.10	240.00	Suolo	C
4	13.70	19.90	8.20	460.00		
5	19.90	Inf.	Inf.	600.00		

Tabella 7 - Modello 1D Vsh, Vs_{eq} e categoria di suolo (MASW 5).

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)		
1	0.00	1.10	1.1	110.00	Vs_{eq}	315 m/s
2	1.10	3.50	2.4	170.00		
3	3.50	7.00	3.5	240.00	Suolo	C
4	7.00	21.70	14.70	330.00		
5	21.70	inf.	inf.	700.00		

Tabella 8 - Modello 1D Vsh, Vs_{eq} e categoria di suolo (MASW 5 bis).

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

4. Sismica a rifrazione

4.1. Principi base del metodo

Le indagini di sismica a rifrazione consentono la ricostruzione di geometrie e spessori dei depositi di copertura, le profondità del substrato (entro i limiti di penetrazione del metodo), la verifica di eventuali discontinuità laterali nonché di determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei materiali. Il metodo sismico a rifrazione si basa sul concetto della birifrazione delle onde elastiche a seguito del fronte d'onda conico. Data una sorgente di onde elastiche ed uno stendimento di geofoni lungo un profilo, giungeranno in superficie ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde rifratte. Tali onde giungono sulla superficie rifrangente (discontinuità individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse) con un angolo di incidenza critico (legge di Snell) e vengono quindi rifratte con un angolo di 90° propagandosi parallelamente alla superficie rifrangente e venendo nuovamente rifratte verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza. I contrasti di proprietà alla base di tale fenomeno possono essere legati a cause stratigrafiche, strutturali, idrogeologiche. Sulla superficie da investigare si posizionano i trasduttori del moto del suolo

(velocimetri o accelerometri) ad una certa distanza dalla sorgente sismica che può essere una massa battente (diversamente applicata e guidata), un fucile sismico o una carica esplosiva a seconda della lunghezza dello stendimento e della profondità di indagine richiesta.

Nell'indagine di sismica a rifrazione i trasduttori situati più vicino alla sorgente rilevano prima l'onda diretta che arriva con velocità legata alle caratteristiche meccaniche dello strato di terreno più superficiale, mentre quelli più lontani rilevano le onde rifratte che viaggiano a velocità più elevata. Conoscendo i tempi di primo arrivo e la distanza geofono-sorgente, tramite l'analisi delle curve dei primi arrivi ad ogni trasduttore (dromocrone) si può determinare la velocità dei vari strati; da qui produrre una stratigrafia sismica da correlare alle formazioni geologiche o discontinuità presenti nella serie investigata nel sottosuolo. I principi sin qui esposti sono validi indipendentemente dal tipo di polarizzazione dell'onda (P o S_H). Va inoltre considerato che la velocità delle onde P misurate per terreni perfettamente saturi dipende talora in maniera decisiva dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e dallo scheletro solido del materiale e perciò tale valore può non essere rappresentativo delle proprietà meccaniche del materiale in questione; invece la velocità delle onde S_H sono caratteristiche delle vibrazioni trasmesse prevalentemente dal solo scheletro solido e perciò rappresentative del terreno. Ne consegue che per alcuni terreni al di sotto della falda le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidezza del terreno sono quelle di taglio.

4.2. Fattori di influenza delle velocità sismiche

Come ampiamente noto in letteratura, la velocità delle onde P è fortemente influenzata dal grado di saturazione S_r. In particolare, in condizioni di saturazione totale, la velocità delle onde P è controllata dal mezzo liquido (che è incompressibile) se superiore a quello dello scheletro solido. Per $99\%<S_r<100\%$ la velocità delle onde P varia sensibilmente con S_r, mentre per $S_r < 99\%$ V_p è controllata dalla rigidezza dello scheletro solido nella stessa maniera delle onde S_H. Infatti la velocità delle onde S non risulta influenzata da tale parametro (l'acqua non può sostenere sforzi di taglio).

4.3. Schema di acquisizione

Gli stendimenti sismici sono stati realizzati a 24 canali d'acquisizione (geofoni).

L'acquisizione dei dati sismici è stata condotta secondo la seguente configurazione spazio temporale:

- n° geofoni: 24.
- n ° 5 shot point per ogni stendimento.
- tempo di acquisizione: 1 s.
- intervallo di campionamento 0.125 µs.

Gli stendimenti sono stati effettuati a 24 canali con passo intergeofonico di 5 m. Gli shot esterni sono stati effettuati a 2.0 e -2.0 m dal primo e ultimo geofono. Per la strumentazione utilizzata si rimanda al paragrafo 2.3.

Figura 6- Fasi di acquisizione.

4.4. Processing

Il processing dei dataset di sismica a rifrazione è stato condotto mediante il Software RAYFRACT (Intelligent Resources Inc., Canada), studiato per l'elaborazione di dati relativi ad indagini sismiche eseguite in superficie, realizzate sia con onde P che S_H, per scopi geotecnico-ingegneristici, ambientali, nonché per l'esplorazione nel campo delle georisorse. Rayfract consente sia la ricostruzione della geometria dei rifrattori con la sismica a rifrazione tradizionale, che la realizzazione di dettagliati modelli di velocità del sottosuolo con le più evolute tecniche tomografiche, soprattutto nel caso di strutture profonde.

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

In generale, il tempo di percorrenza di un'onda sismica lungo un percorso S attraverso un mezzo bidimensionale (2D) può essere scritto come

$$t = \int_S u[\mathbf{r}(x,y)] \qquad (1)$$

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

$$t_i = \sum_{k=1}^{m} l_{ik} \cdot u_k \qquad (2)$$

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

$$\mathbf{t} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{u} \qquad (3)$$

dove t è il vettore dei dati sperimentali (tempi di primo arrivo letti sui sismogrammi), M è la matrice rettangolare contenente le porzioni dei percorsi nelle varie celle, u è il vettore delle lentezze (incognite del problema).

Il problema inverso da risolvere è pertanto

$$\mathbf{u} = \tilde{\mathbf{M}}^{-1} \cdot \mathbf{t} \qquad (4)$$

dove $\tilde{\mathbf{M}}^{-1}$ è la matrice inversa generalizzata. Poiché i percorsi sismici dipendono dalle lentezze, la matrice M dipende anche dalle lentezze e quindi il problema inverso è un problema non-lineare che deve essere risolto iterativamente partendo da una soluzione iniziale (modello di partenza). L'equazione da considerare è pertanto la seguente

$$\mathbf{J} \cdot \Delta\mathbf{u} = \Delta\mathbf{t} \qquad (5)$$

dove $\Delta\mathbf{t} = \mathbf{t} - \mathbf{t}(\mathbf{u_0})$ è la differenza tra i tempi sperimentali e i tempi calcolati per il modello di lentezze iniziale u_0; $\Delta\mathbf{u}$ è la perturbazione del modello iniziale; e J è la matrice jacobiana contenente le derivate parziali delle dromocrone rispetto alle lentezze nelle celle $\frac{\partial t_i}{\partial u_k}$.

Poiché il problema è parzialmente sovradeterminato (per alcune celle si hanno molti percorsi) e parzialmente sottodeterminato (per alcune celle non è disponibile nessun percorso) esso è stato risolto con la tecnica dei minimi quadrati smorzati, cioè è stata minimizzata con la seguente funzione errore

$$\varphi = \left\|\mathbf{J} \cdot \Delta\mathbf{u} - \Delta\mathbf{t}\right\|^2 + \lambda\left\|\mathbf{L}_2\mathbf{u}\right\|^2 \qquad (6)$$

dove λ è il fattore di smorzamento e la matrice L_2 è una matrice derivata seconda (operatore laplaciano) che forza la soluzione verso la soluzione più regolare possibile (smoothest solution).

L'affinamento della soluzione supportata con il metodo Delta t-v è stato ottenuto attraverso un ulteriore processo finale tomografico.

5. Risultati indagine sismica a rifrazione

Le indagini SRT2 e SRT6 (Allegato B) mostrano una congruenza nei valori di Vp e Vs (Tav. 1; 2; 3; 4). Entrambe mostrano valori costanti di velocità delle onde P e S che aumentano gradualmente con la profondità. In particolare, a circa 5 – 10 m di profondità si riscontra un aumento dei valori delle velocità sia delle onde P che onde S_H ricollegabile al passaggio tra sabbie poco compatte e/o alterate e sabbie e limi più compatti. Inoltre, a circa 15 - 20 m dal p.c., si ha un netto aumento delle Vs marcando il passaggio tra sabbie e limi con argille (Tav. 2 e Tav. 4). Tali risultati sono in accordo con le indagini MASW discusse nel paragrafo 3.

6. Metodo della resistività elettrica (ERT)

6.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo

Il metodo della tomografia elettrica si basa sulla misura tra due elettrodi (detti convenzionalmente MN) della differenza di potenziale "ΔV" connessa alla distribuzione nel sottosuolo di una corrente elettrica "I" immessa in una diversa coppia di elettrodi (detti AB). I valori di resistività elettrica misurati (resistività apparenti ρa) dipendono pertanto da "ΔV" e "I" secondo la seguente relazione generale:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$$

che è funzione, oltre che della posizione reciproca dei quattro elettrodi anzidetti (dipendenza contenuta nel parametro K, detto fattore geometrico), della distribuzione della resistività elettrica dei materiali nel sottosuolo interessato dalla propagazione della corrente "I". Nella configurazione di misura polo-dipolo uno degli elettrodi di corrente è fisso ed è posto ad una distanza tale da essere considerato con buona approssimazione all'infinito.

Per l'esecuzione dei profili si utilizzano opportuni cavi multiconduttori, a 24 prese ciascuno; ogni elettrodo (picchetto metallico) 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 con uso del trapano a roto-percussione. 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 automatica compensazione 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 su 10 coppie di elettrodi contemporaneamente, abbattendo di un ordine di grandezza il tempo necessario per l'acquisizione.

6.2 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

- 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 avente scarsa componente argillosa (sabbie, ghiaie):$\rho_s = \rho_f \, a \, \phi^{-n} S^{-m}$

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* (tipico per sabbia 0.62);
- n è il coefficiente empirico, detto di "*tortuosità*" (tipico per sabbia 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^-, $SO_4^=$, NO_3^-, ecc.) utilizzando la formula:

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

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, 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 mentre nei materiali lapidei è la fatturazione e/o la porosità ad essere il principale fattore di controllo (Tab. 9).

Rocce e minerali metallici	Resistività (Ω m)
Sedimentarie	
Calcare chalk	$50 \div 150$
Argilla (clay)	$1 \div 100$
Ghiaia (gravel)	$100 \div 5000$
Calcare (limestone)	$50 \div 10^7$
Marna (marl)	$1 \div 100$
Quarzite (quartzite)	$10 \div 10^8$
Argilla (shale)	$10 \div 1000$
Sabbia (sand)	$500 \div 5000$
Arenaria (sandstone)	$1 \div 10^8$
Ignee e Metamorfiche	
Basalto	$10 \div 10^7$
Gabbro	$10^3 \div 10^6$
Granito	$10^2 \div 10^6$
Marmo	$10^2 \div 10^8$
Scisto	$10 \div 10^4$
Ardesia	$10^2 \div 10^7$
Minerali e minerali metallici	
Argento	$1{,}6 \cdot 10^{-8}$
Grafite (giacimento massivo)	$10^{-4} \div 10^{-3}$
Galena (Pbs)	$10^{-3} \div 10^2$
Magnetite di giacimento	$1 \div 10^5$
Sfalerite (ZnS)	$10^3 \div 10^6$
Pirite	10^2
Calcopirite	$10^{-5} \div 0{,}3$
Quarzo	$10^{10} \div 2 \cdot 10^{14}$
Salgemma	$10 \div 10^{13}$
Acque ed effetto del contenuto in sale	
Acqua pura	10^6
Acque naturali	$1 \div 10^3$
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 9 - Riepilogo delle resistività dei principali materiali.

Quindi, in linea generale, la distribuzione della resistività elettrica consente di discriminare eventuali variazioni nei geo-materiali dovute alla presenza di litologie differenti o con caratteristiche di maggior o minor cementazione, fratture o discontinuità tettoniche, presenza di sostanze fluidi a comportamento elettrico resistivo o conduttivo all'interno dei pori o fratture dell'ammasso oggetto d'indagine o, nel caso di presenza di argilla, i cationi assorbiti sulla superficie delle particelle di tale sostanza offrono cammini addizionali per la corrente elettrica e quindi aumentano la conducibilità dei sedimenti.

6.3 Strumentazione utilizzata

Lo strumento di acquisizione utilizzato, il georesistivimetro multielettrodo e multicanale *IRIS SYSCAL PRO (Fig. 7)*, 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. Questo 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 7 - Georesistivimetro Syscal Pro (IRIS instruments); elettrodi di acquisizione.

SYSCAL Pro SPECIFICATIONS

TRANSMITTER
- Max voltage: 800V in switch mode
- Max voltage: 1 000V in manual mode
- Max current: 2.5A, typ. accuracy 0.2%
- Max power : 250W with internal DC/DC converter and 12V external battery; 1200W with external AC/DC and Motor Gene.
- Option 25mA max for readings on samples
- Pulse duration: 0.2s, 0.5s, 1s, 2s, 4s, 8s
- Internal 12V, 7Ah battery, plug for ext. batt.

RECEIVER
- Automatic ranging, 10 input channels
- Input impedance: 100 Mohm
- Max voltage channel 1: 15V
- Max voltage sum of channel 2 to 10: 15V
- Protection up to 1 000V
- Typ accuracy: 0.2%, resolution: 1 microV
- Digital rejection better than 120 db at power lines 50 and 60 Hz
- Stacking process, SP linear drift correction
- Reading of current, voltage, standard dev., 20 IP windows (preset or selectable),

Tabella 10 - Specifiche tecniche SYSCAL Pro.

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

6.4 Schema di acquisizione ed elaborazione dei dati ERT

I dati acquisiti sono stati elaborati mediante software *ERTlab 64*™ sviluppato e prodotto da Geostudi Astier srl (Livorno, Italia) e dalla Multi-Phase Technologies LLC (Nevada, U.S.A.).

Gli stendimenti geoelettrici sono stati realizzati nel seguente modo (Fig. 8):

- ERT1: 48 canali d'acquisizione, passo interelettrodico di 1.5 *m;*
- ERT2: 48 canali d'acquisizione, passo interelettrodico di 2 *m;*
- ERT3: 48 canali d'acquisizione, passo interelettrodico di 2 *m;*
- ERT4: 48 canali d'acquisizione, passo interelettrodico di 2 *m.*

L'approccio con cui sono state pianificate le indagini ERT ha determinato l'acquisizione di circa 2586 dati di resistività elettrica (quadripoli) per ogni *array*. Ciò è stato possibile grazie a l'utilizzo di sequenze di misure progettate ad hoc, le quali permettono di impiegare arbitrariamente gli elettrodi di ogni cavo sia come dispositivi di trasmissione che di misura.

Le misure della resistività elettrica sono state eseguite in configurazione elettrodica polo-dipolo. Al termine delle misurazioni è stato compiuto un rilievo planimetrico degli elettrodi utilizzati, al fine di ricostruire la geometria elettrodica dettagliata necessaria per il corretto post-processing dei dati. I dati numerici acquisiti sono stati in primo luogo sottoposti ad un processo noto come "inversione" il quale consente di determinare i valori di resistività elettrica del volume di sottosuolo investigato mediante un processo di modellizzazione basato sul metodo degli elementi finiti. Successivamente, il set di dati di resistività è stato importato su specifico software, per visualizzazione bidimensionale di dati geostatistici (MVS della C-Tech – USA).

Figura 8 - Fasi di acquisizione.

7. Risultati indagine geoelettrica

L'indagine geoelettrica (Allegato C) svolta ha consentito di ricostruire un quadro stratigrafico dell'area discriminando eventuali variazioni nei geo-materiali dovute alla presenza di litologie differenti o con caratteristiche di maggior o minor granulometria e/o compattazione. L'area investigata ricade in una vasta pianura alluvionale. La maggior parte delle ERT mostrano dei valori piuttosto alti di conduttività con sporadiche anomalie fortemente resistive legate probabilmente a materiali grossolani con elevato indice dei vuoti.

ALLEGATI

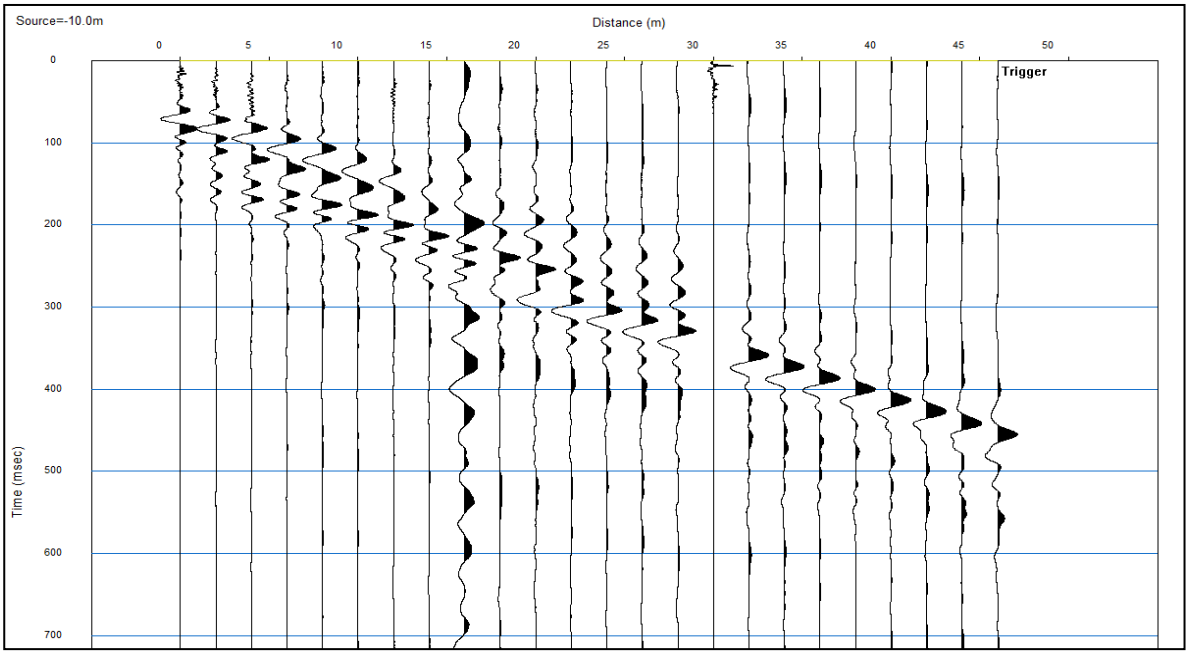
DIMMS CONTROL	***TEST REPORT***	**1/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Pescara			
NOME TEST:	Masw_1			
DATA DI ESECUZIONE	05/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°26'45.13"N	**ALTITUDINE (m):**	1
	X	14°12'57.98"E		

DIMMS CONTROL	***TEST REPORT***	**2/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Pescara			
NOME TEST:	Masw_1			
DATA DI ESECUZIONE	05/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°26'45.13"N	**ALTITUDINE (m):**	1
	X	14°12'57.98"E		

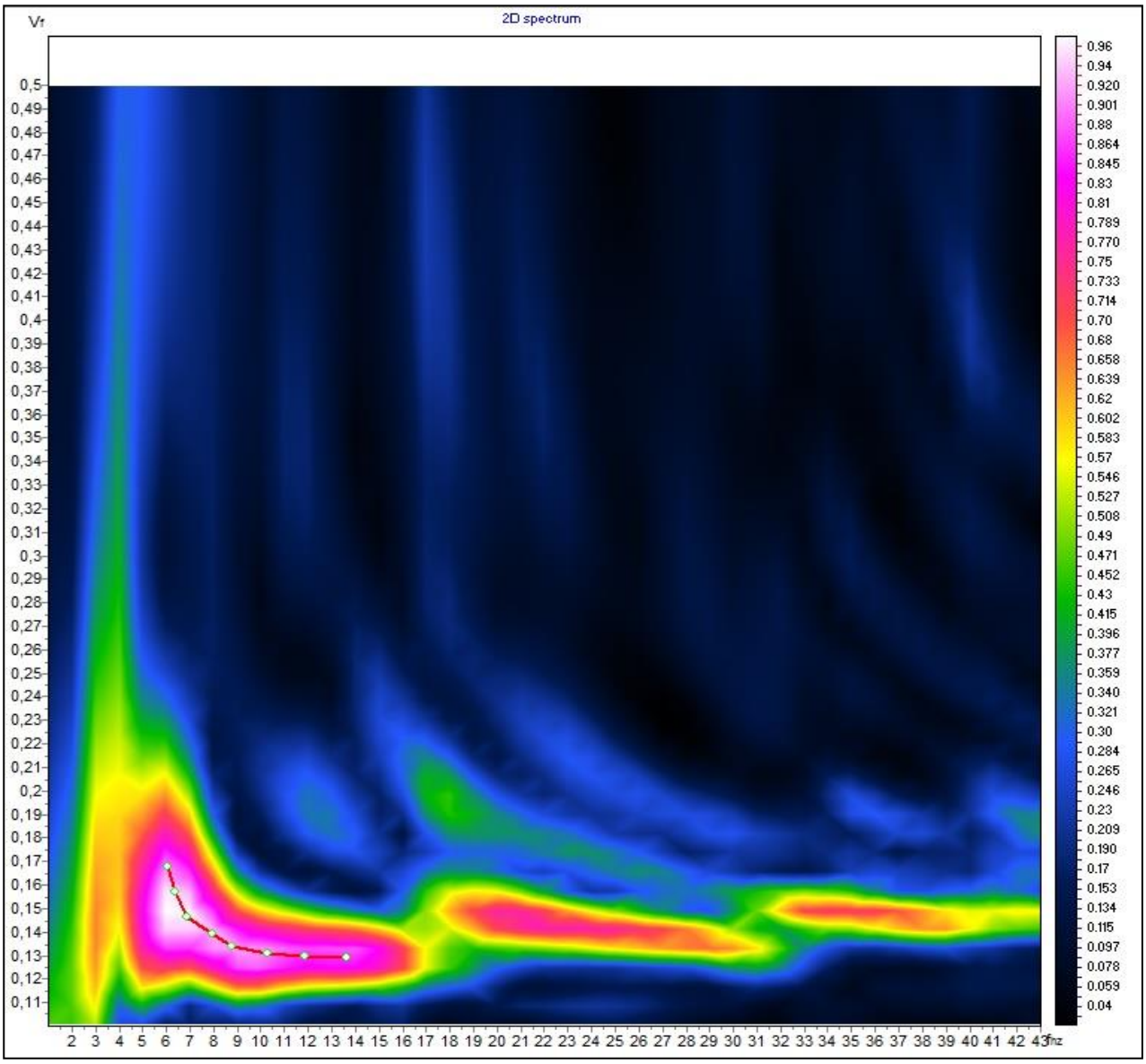
SISMOGRAMMA



DIMMS CONTROL	**TEST REPORT**	**3/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Pescara			
NOME TEST:	Masw_1			
DATA DI ESECUZIONE	05/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°26'45.13"N	**ALTITUDINE (m):**	1
	X	14°12'57.98"E		

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE



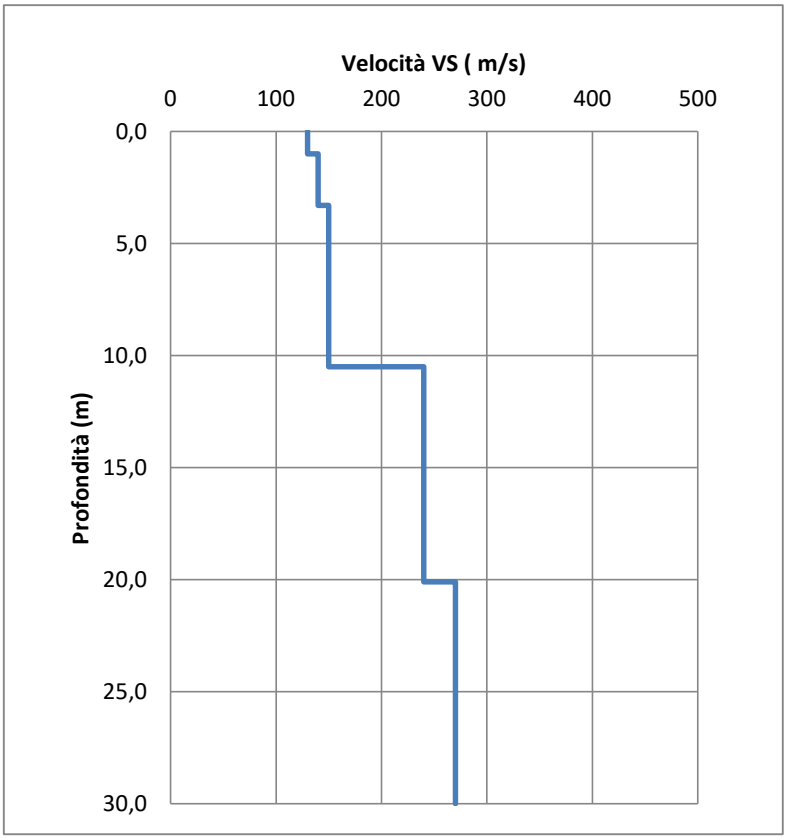
DIMMS CONTROL	**TEST REPORT**	**4/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR				
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti				
UBICAZIONE:	Pescara				
NOME TEST:	Masw_1				
DATA DI ESECUZIONE	05/02/2018				
COORDINATE	**Y**	42°26'45.13"N	**ALTITUDINE (m):**	1	
	X	14°12'57.98"E			

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0,00	1,00	1,00	130,00
2	1,00	3,30	2,30	140,00
3	3,30	10,50	7,20	150,00
4	10,50	20,10	9,60	240,00
5	20,10	inf.	inf.	270,00

V_{Seq}	**202**
Suolo	**C**



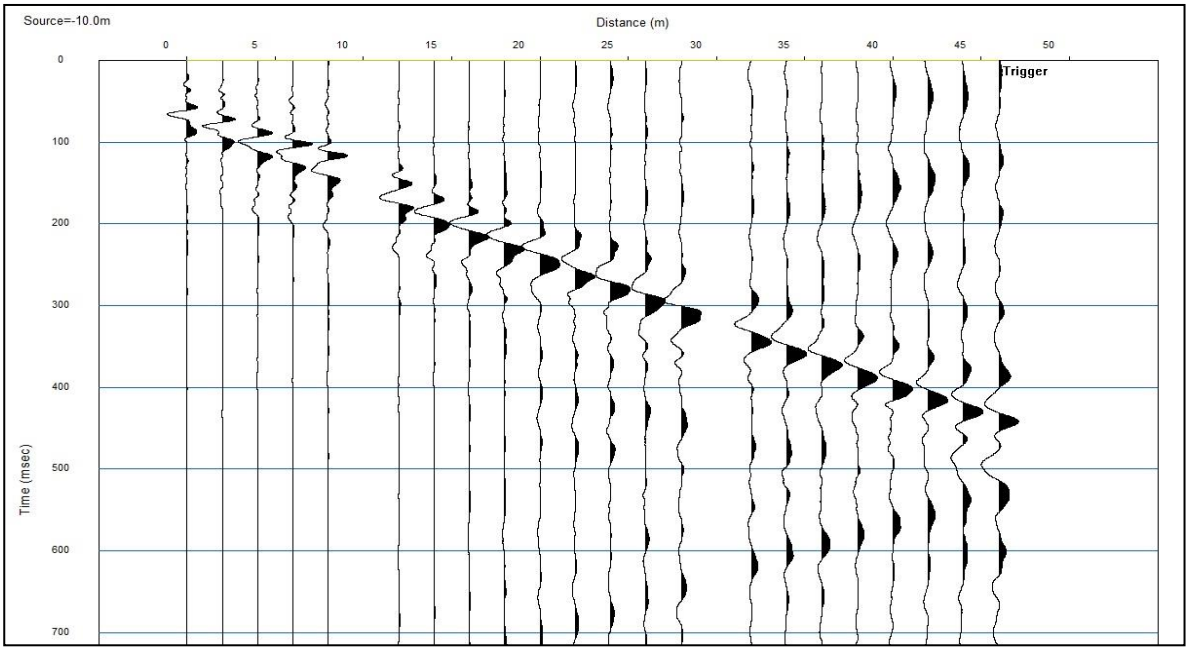
DIMMS CONTROL	***TEST REPORT***	**1/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Pescara			
NOME TEST:	Masw_2			
DATA DI ESECUZIONE	05/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°26'41.43"N	**ALTITUDINE (m):**	1
	X	14°12'40.63"E		

DIMMS CONTROL	**TEST REPORT**	**2/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Pescara			
NOME TEST:	Masw_2			
DATA DI ESECUZIONE	05/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°26'41.43"N	**ALTITUDINE (m):**	1
	X	14°12'40.63"E		

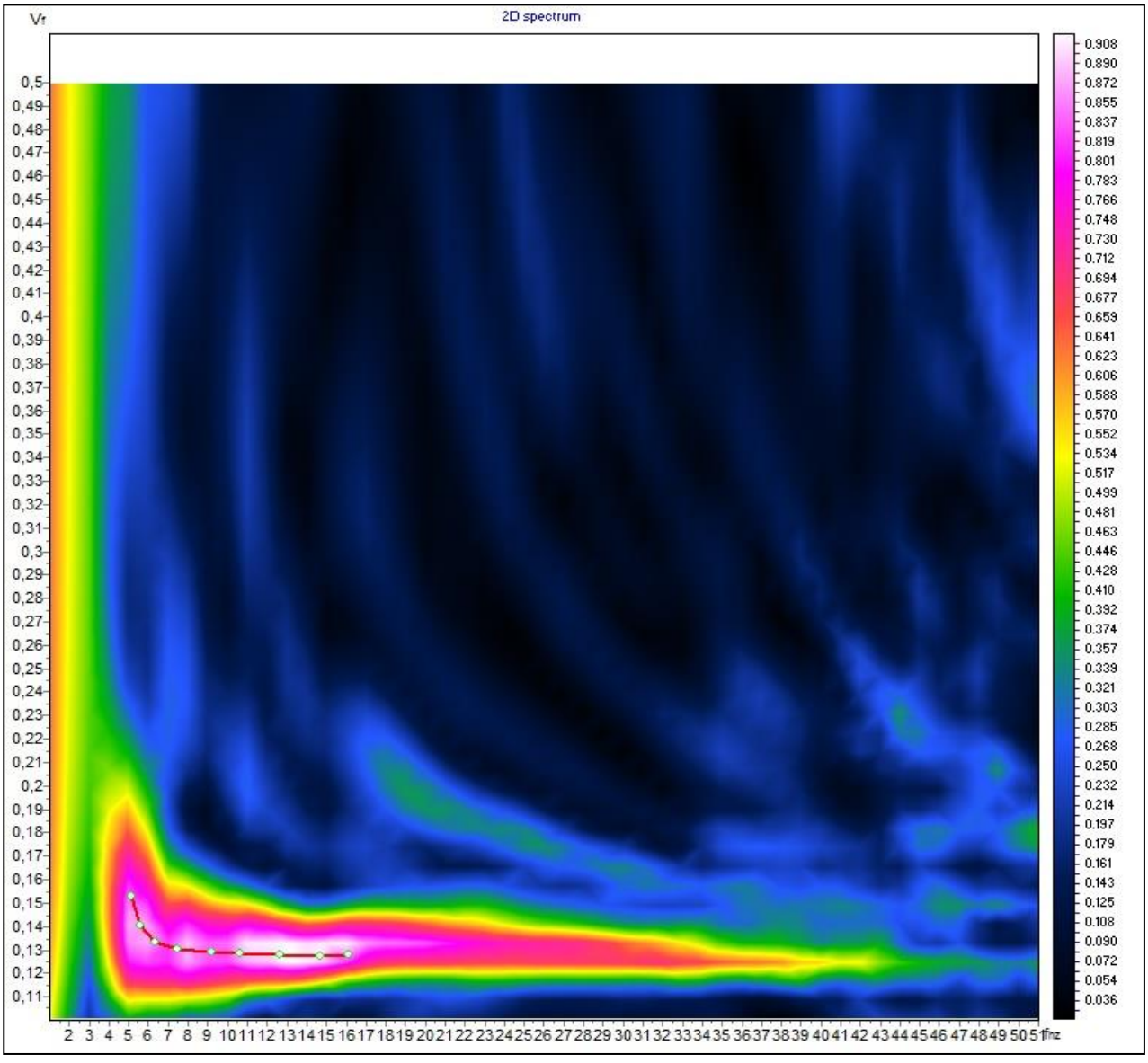
SISMOGRAMMA



DIMMS CONTROL	**TEST REPORT**	**3/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Pescara			
NOME TEST:	Masw_2			
DATA DI ESECUZIONE	05/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°26'41.43"N	**ALTITUDINE (m):**	1
	X	14°12'40.63"E		

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE



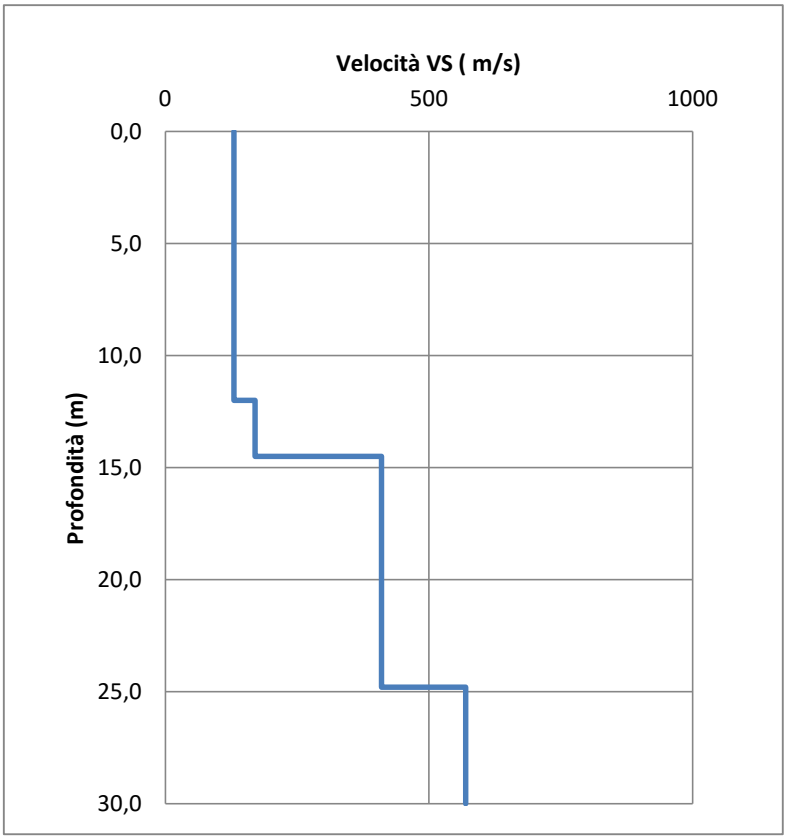
DIMMS CONTROL	**TEST REPORT**	**4/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR				
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti				
UBICAZIONE:	Pescara				
NOME TEST:	Masw_2				
DATA DI ESECUZIONE	05/02/2018				
COORDINATE	**Y**	42°26'41.43"N	**ALTITUDINE (m):**	1	
	X	14°12'40.63"E			

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0,00	12,00	12,00	130,00
2	12,00	14,50	2,50	170,00
3	14,50	24,80	10,30	410,00
4	24,80	inf.	inf.	570,00

V_{Seq}	**212**
Suolo	**C**



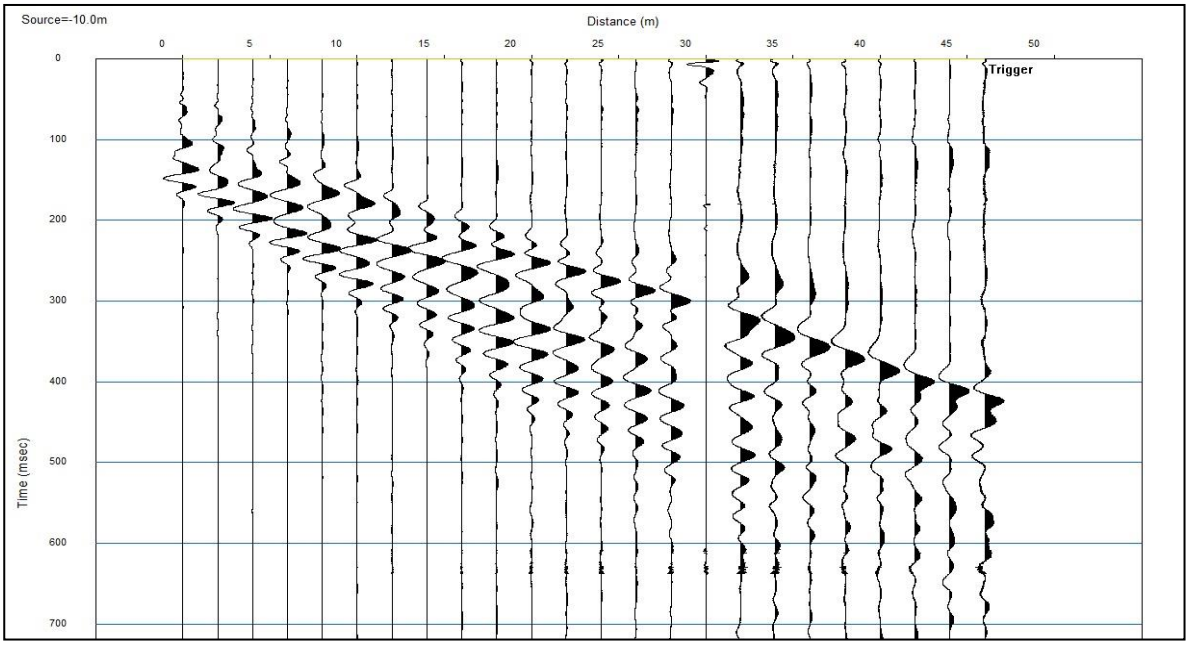
DIMMS CONTROL	TEST REPORT	1/4
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Pescara			
NOME TEST:	Masw_3			
DATA DI ESECUZIONE	05/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°26'40.25"N	**ALTITUDINE (m):**	1
	X	14°12'24.81"E		

DIMMS CONTROL	***TEST REPORT***	**2/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Pescara			
NOME TEST:	Masw_3			
DATA DI ESECUZIONE	05/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°26'40.25"N	**ALTITUDINE (m):**	1
	X	14°12'24.81"E		

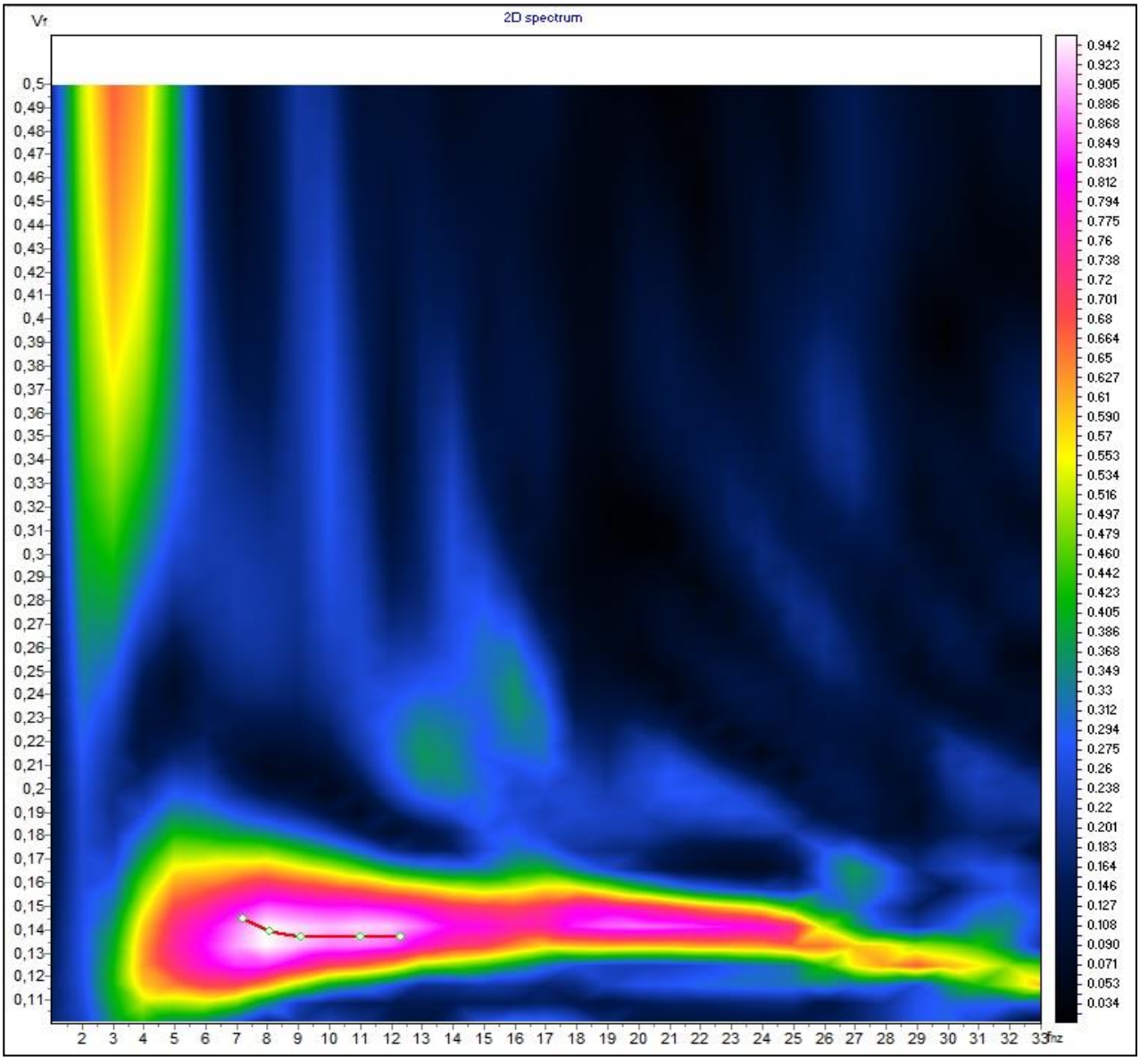
SISMOGRAMMA



DIMMS CONTROL	***TEST REPORT***	**3/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Pescara			
NOME TEST:	Masw_3			
DATA DI ESECUZIONE	05/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°26'40.25"N	**ALTITUDINE (m):**	1
	X	14°12'24.81"E		

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE



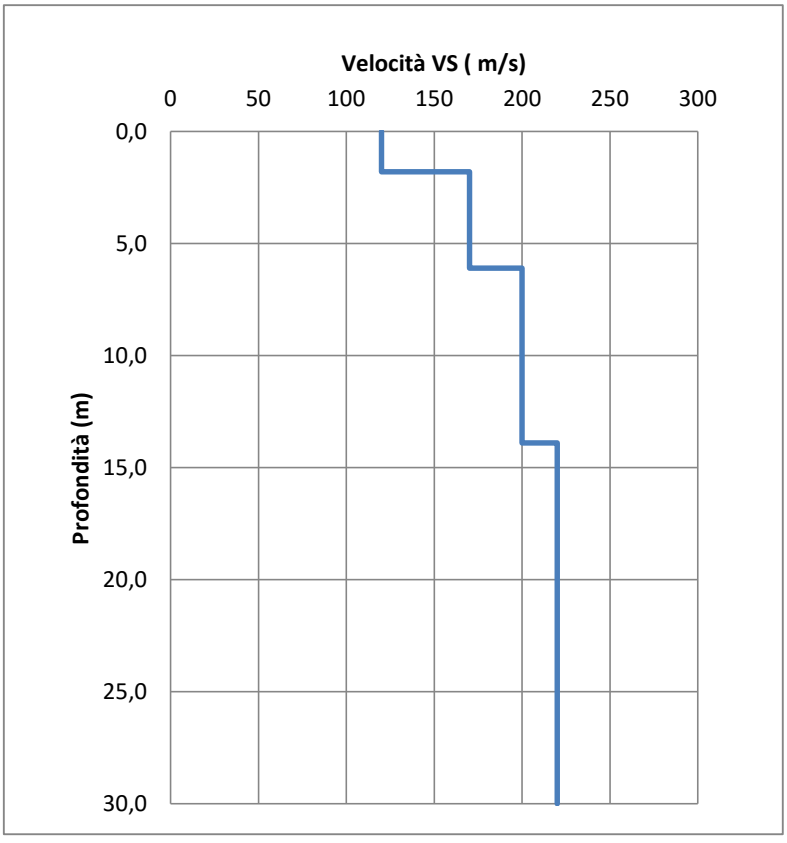
DIMMS CONTROL	**TEST REPORT**	**4/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR				
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti				
UBICAZIONE:	Pescara				
NOME TEST:	Masw_3				
DATA DI ESECUZIONE	05/02/2018				
COORDINATE	**Y**	42°26'40.25"N	**ALTITUDINE (m):**	1	
	X	14°12'24.81"E			

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0,00	1,80	1,80	120,00
2	1,80	6,10	4,30	170,00
3	6,10	13,90	7,80	200,00
4	13,90	inf.	inf.	220,00

V_{Seq}	**197**
Suolo	**C**



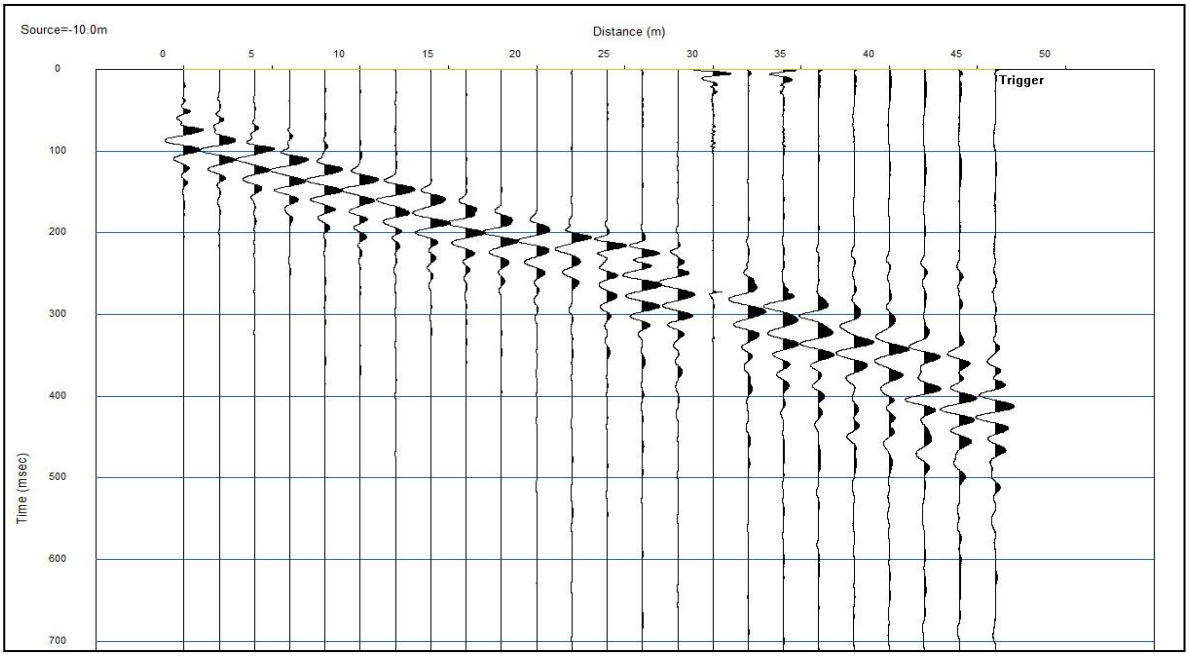
DIMMS CONTROL	TEST REPORT	1/4
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Sambuceto			
NOME TEST:	Masw_4			
DATA DI ESECUZIONE	06/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°26'1.82"N	**ALTITUDINE (m):**	8
	X	14°11'44.08"E		

DIMMS CONTROL	***TEST REPORT***	**2/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Sambuceto			
NOME TEST:	Masw_4			
DATA DI ESECUZIONE	06/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°26'1.82"N	**ALTITUDINE (m):**	8
	X	14°11'44.08"E		

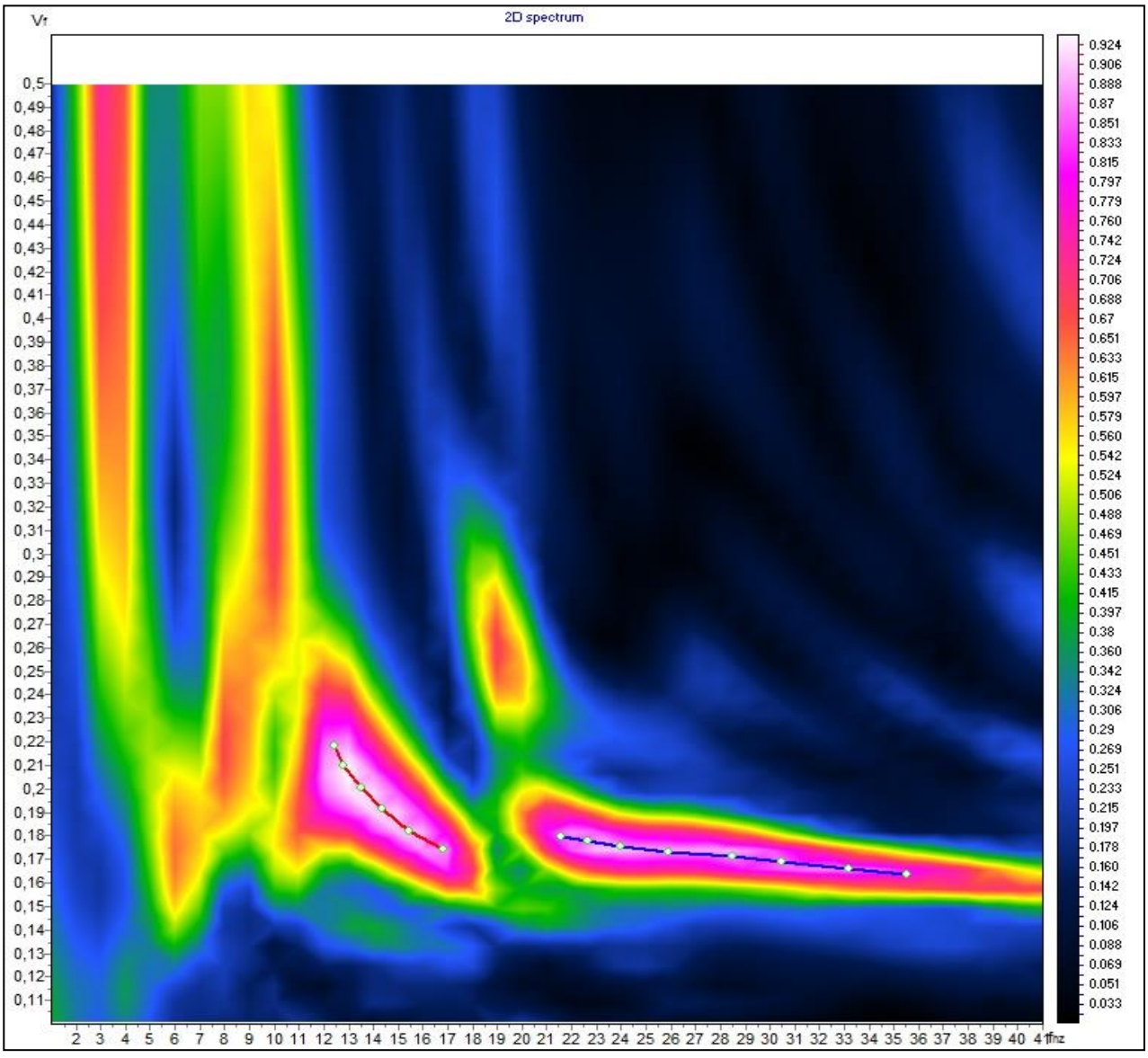
SISMOGRAMMA



DIMMS CONTROL	***TEST REPORT***	**3/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Sambuceto			
NOME TEST:	Masw_4			
DATA DI ESECUZIONE	06/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°26'1.82"N	**ALTITUDINE (m):**	8
	X	14°11'44.08"E		

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE



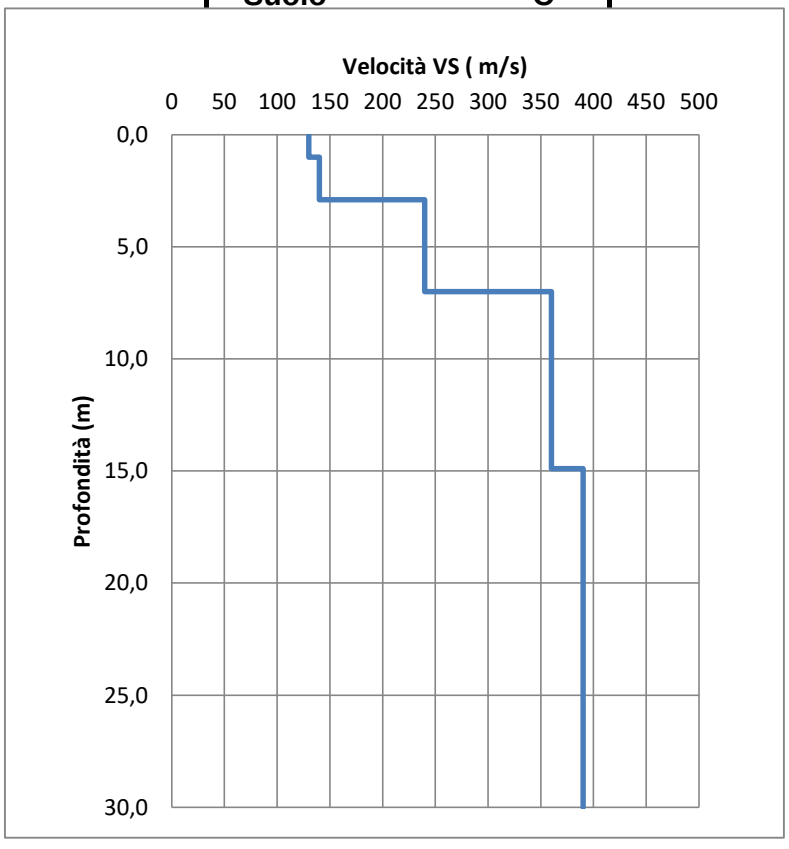
DIMMS CONTROL	**TEST REPORT**	**4/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR				
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti				
UBICAZIONE:	Sambuceto				
NOME TEST:	Masw_4				
DATA DI ESECUZIONE	06/02/2018				
COORDINATE	**Y**	42°26'1.82"N	**ALTITUDINE (m):**	8	
	X	14°11'44.08"E			

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0,00	1,00	1,00	130,00
2	1,00	2,90	1,90	140,00
3	2,90	7,00	4,10	240,00
4	7,00	14,90	7,90	360,00
5	14,90	inf.	inf.	390,00

Vs_{eq}	**303**
Suolo	**C**



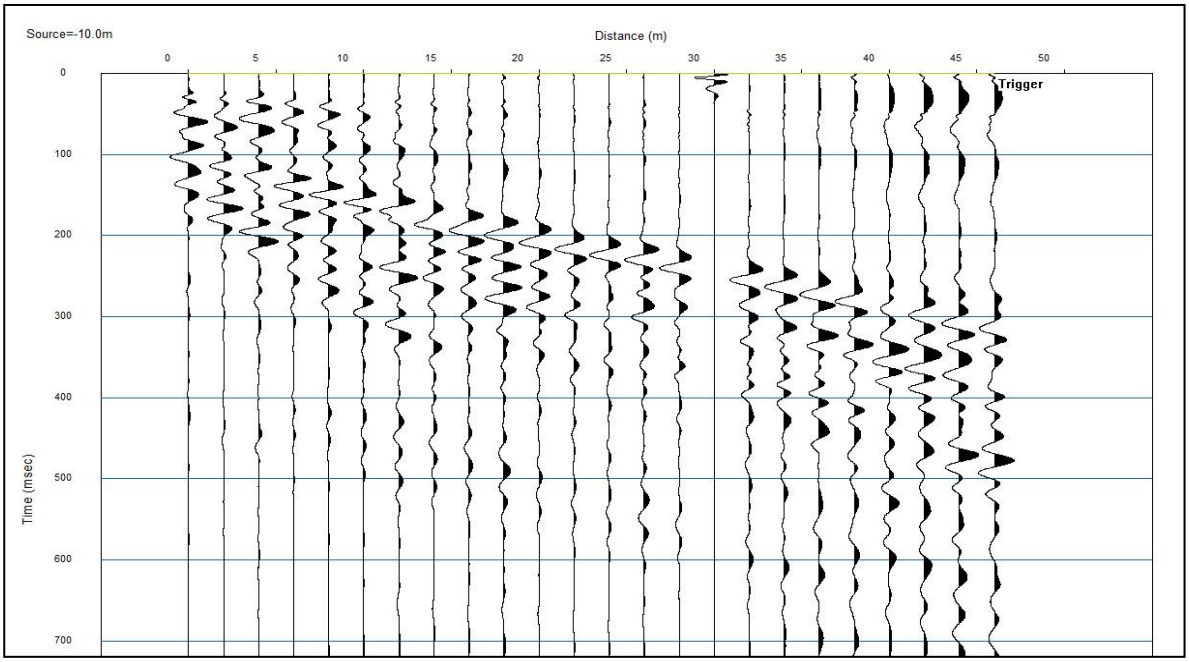
DIMMS CONTROL	***TEST REPORT***	**1/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Sambuceto			
NOME TEST:	Masw_5			
DATA DI ESECUZIONE	06/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°24'53.00"N	**ALTITUDINE (m):**	18
	X	14°10'34.94"E		

DIMMS CONTROL	***TEST REPORT***	**2/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Sambuceto			
NOME TEST:	Masw_5			
DATA DI ESECUZIONE	06/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°24'53.00"N	**ALTITUDINE (m):**	18
	X	14°10'34.94"E		

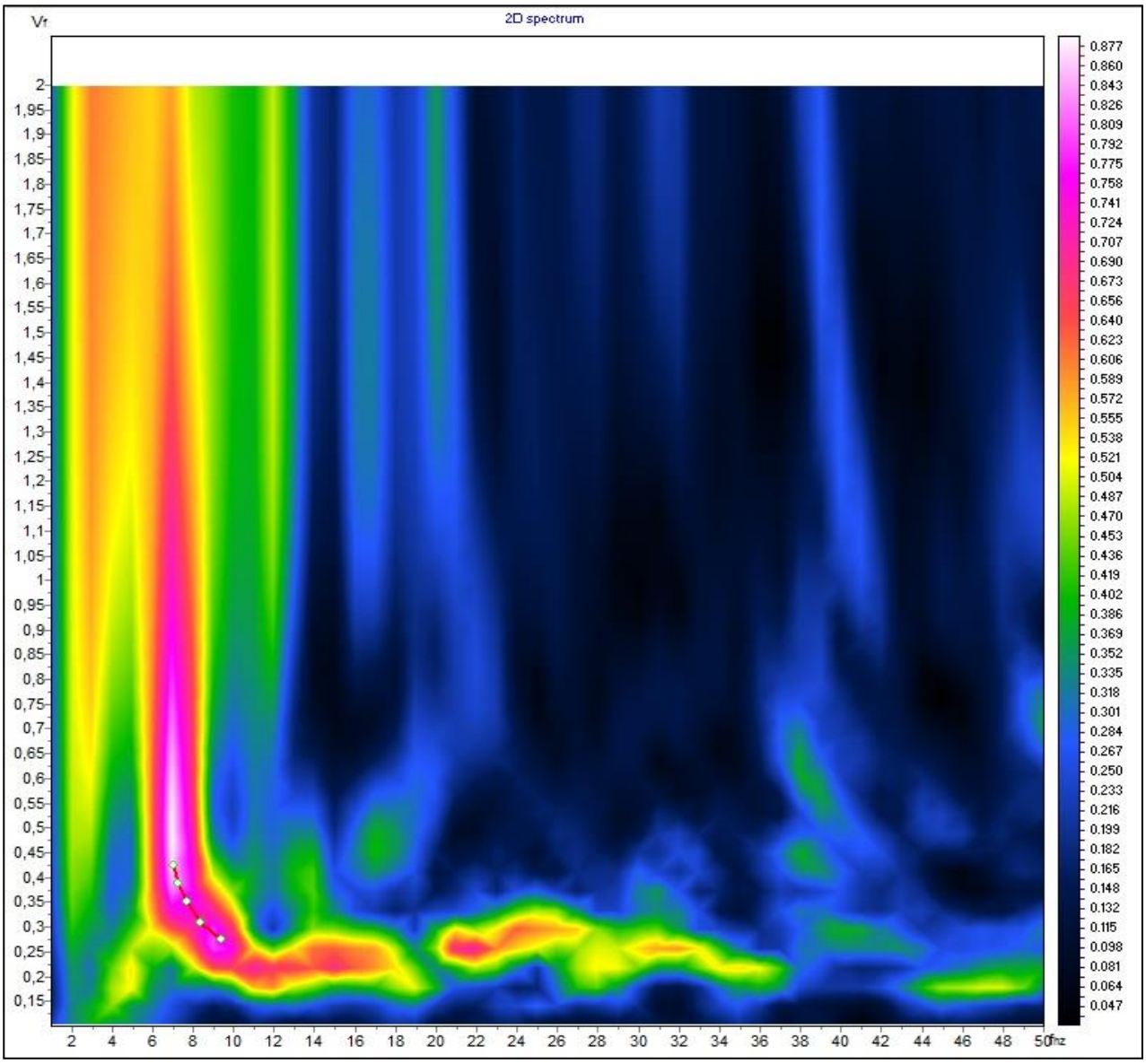
SISMOGRAMMA



DIMMS CONTROL	***TEST REPORT***	**3/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti			
UBICAZIONE:	Sambuceto			
NOME TEST:	Masw_5			
DATA DI ESECUZIONE	06/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°24'53.00"N	**ALTITUDINE (m):**	18
	X	14°10'34.94"E		

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE



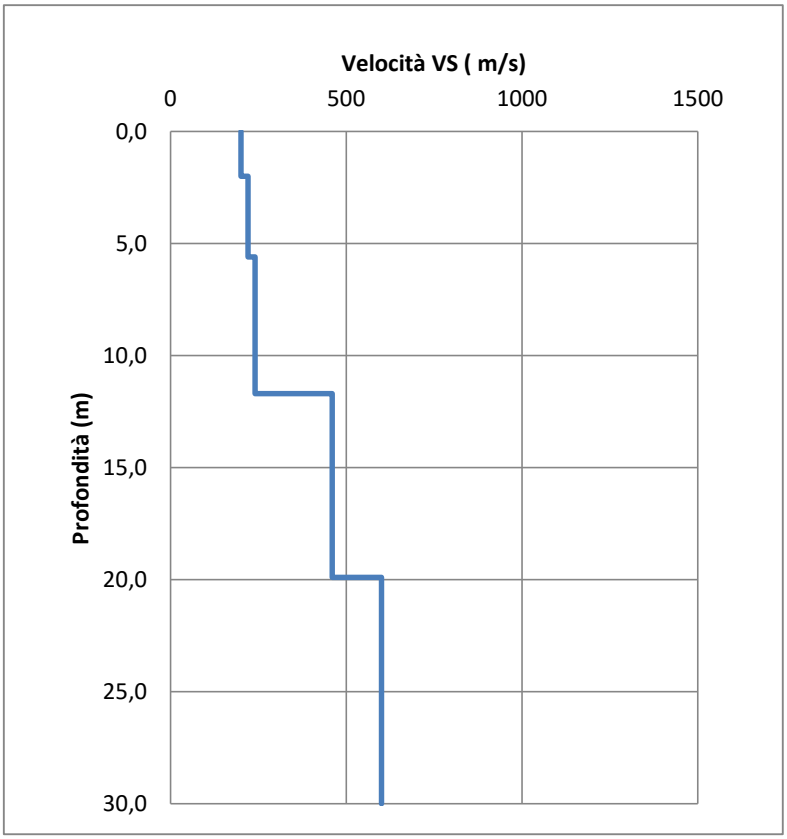
DIMMS CONTROL	**TEST REPORT**	**4/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR				
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti				
UBICAZIONE:	Sambuceto				
NOME TEST:	Masw_5				
DATA DI ESECUZIONE	06/02/2018				
COORDINATE	**Y**	42°24'53.00"N	**ALTITUDINE (m):**	18	
	X	14°10'34.94"E			

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0,00	2,00	2,00	200,00
2	2,00	5,60	3,60	220,00
3	5,60	11,70	6,10	240,00
4	11,70	19,90	8,20	460,00
5	19,90	inf.	inf.	600,00

Vs_{eq}	**347**
Suolo	**C**



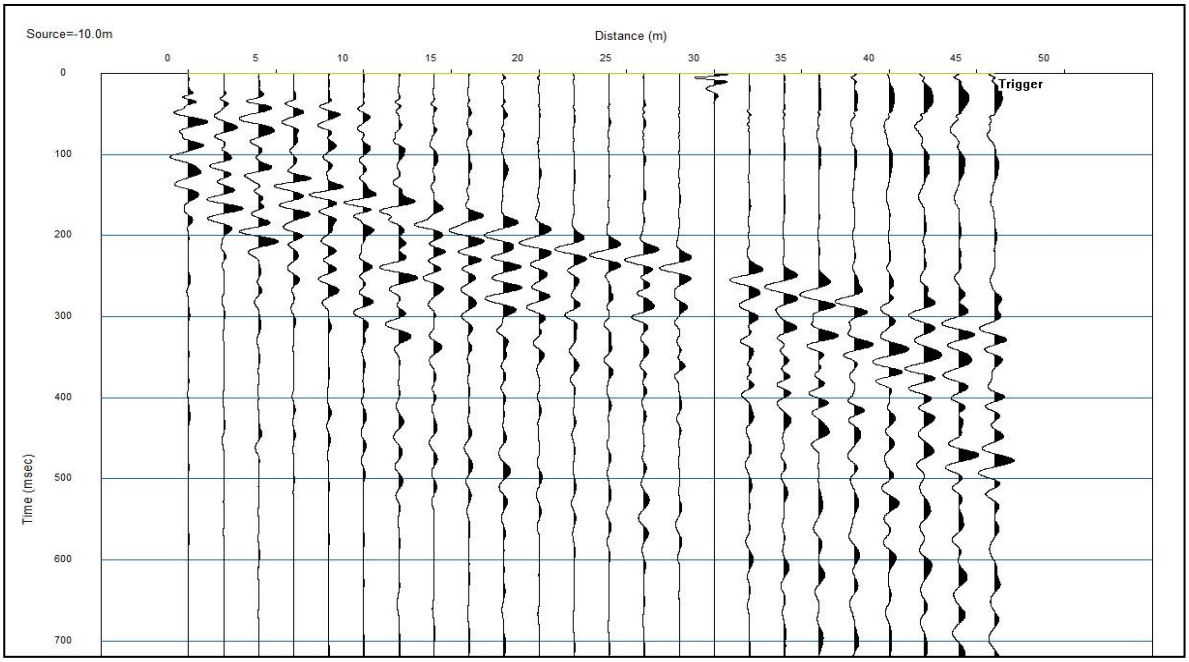
DIMMS CONTROL	***TEST REPORT***	**1/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio Chieti-Pescara			
UBICAZIONE:	Sambuceto			
NOME TEST:	Masw_5 bis			
DATA DI ESECUZIONE	06/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°25'4.16"N	**ALTITUDINE (m):**	18
	X	14°10'49.30"E		

DIMMS CONTROL	***TEST REPORT***	**2/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio Chieti-Pescara			
UBICAZIONE:	Sambuceto			
NOME TEST:	Masw_5 bis			
DATA DI ESECUZIONE	06/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°25'4.16"N	**ALTITUDINE (m):**	18
	X	14°10'49.30"E		

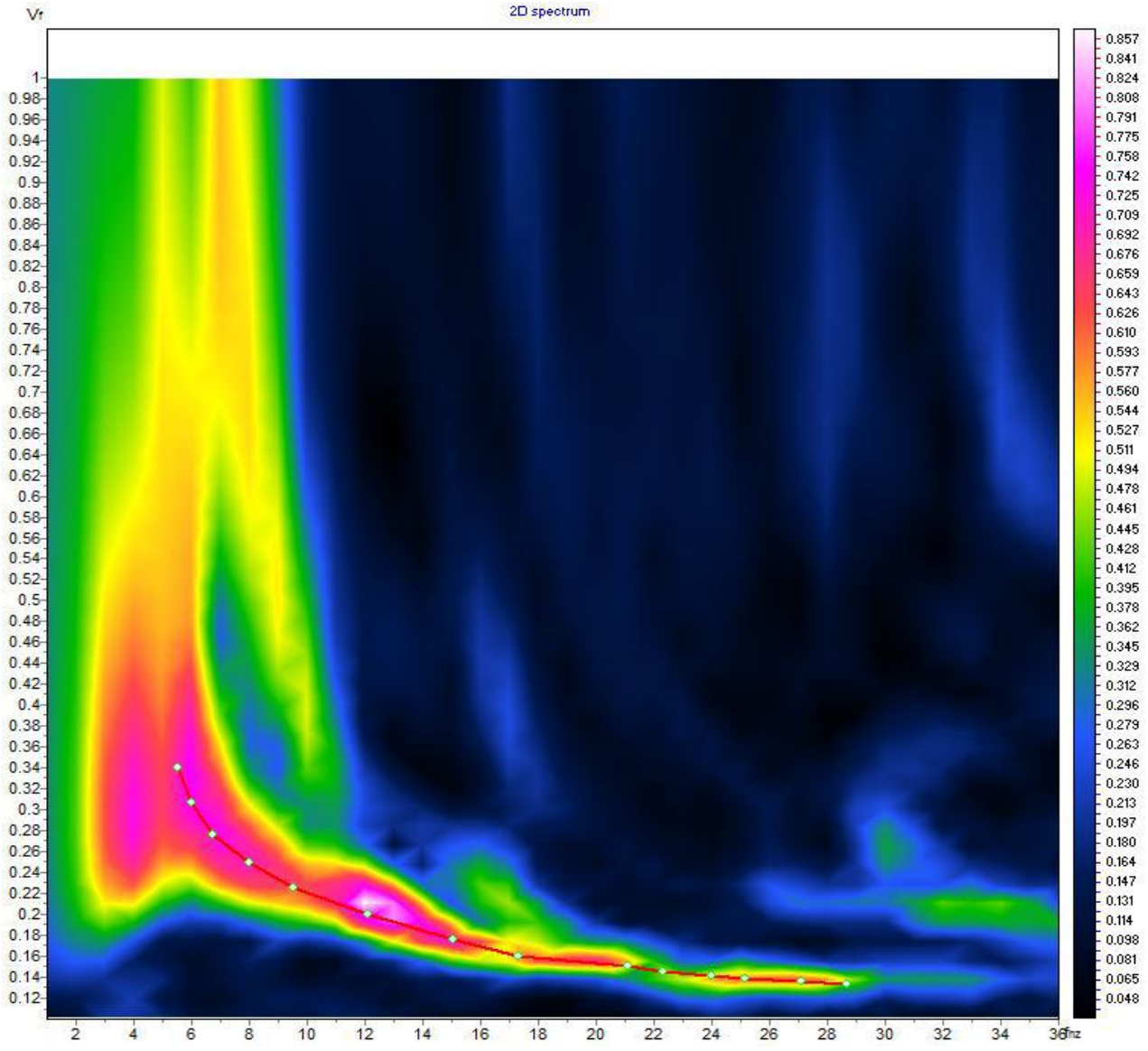
SISMOGRAMMA



DIMMS CONTROL	**TEST REPORT**	**3/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio Chieti-Pescara			
UBICAZIONE:	Sambuceto			
NOME TEST:	Masw_5 bis			
DATA DI ESECUZIONE	06/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°25'4.16"N	**ALTITUDINE (m):**	18
	X	14°10'49.30"E		

SPETTRO OSSERVATO E CURVA DI DISPERSIONE



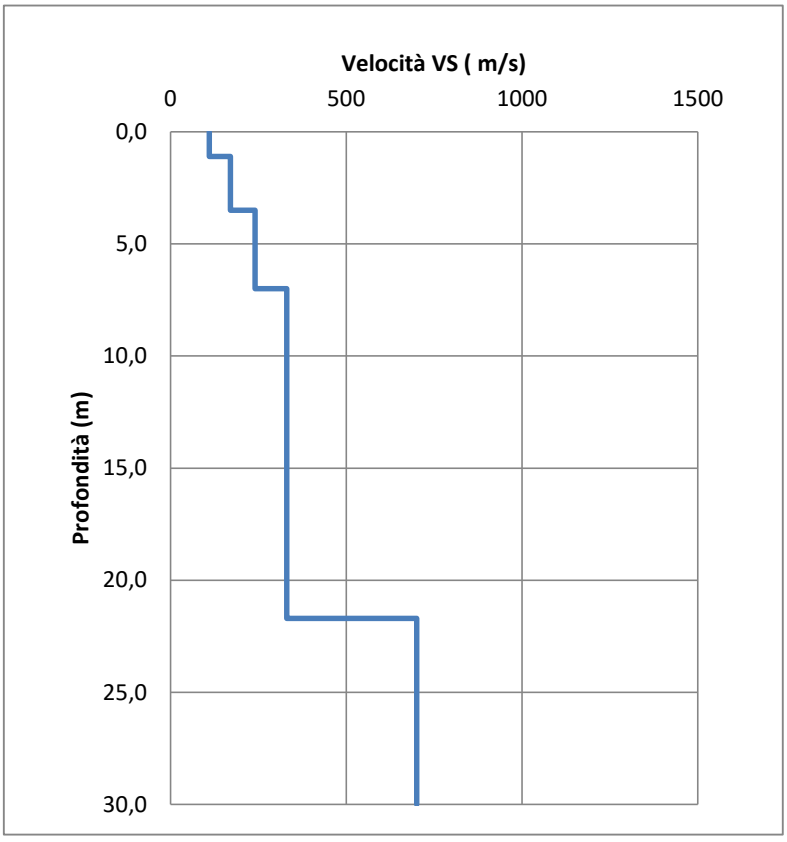
DIMMS CONTROL	**TEST REPORT**	**4/4**
	MASW	

CLIENTE:	ITALFERR			
LAVORO:	Esecuzioni di prospezioni geofisiche (MASW) per la progettazione definitiva del raddoppio Chieti-Pescara			
UBICAZIONE:	Sambuceto			
NOME TEST:	Masw_5 bis			
DATA DI ESECUZIONE	06/02/2018			
COORDINATE	**Y**	42°25'4.16"N	**ALTITUDINE (m):**	18
	X	14°10'49.30"E		

GRAFICO & TABELLA Vs - h

Sismostrato	Profondità		Spessore	Vs (m/s)
1	0,00	1,10	1,10	110,00
2	1,10	3,50	2,40	170,00
3	3,50	7,00	3,50	240,00
4	7,00	21,70	14,70	330,00
5	21,70	inf.	inf.	700,00

VS_{30}	**315**
Suolo	**C**



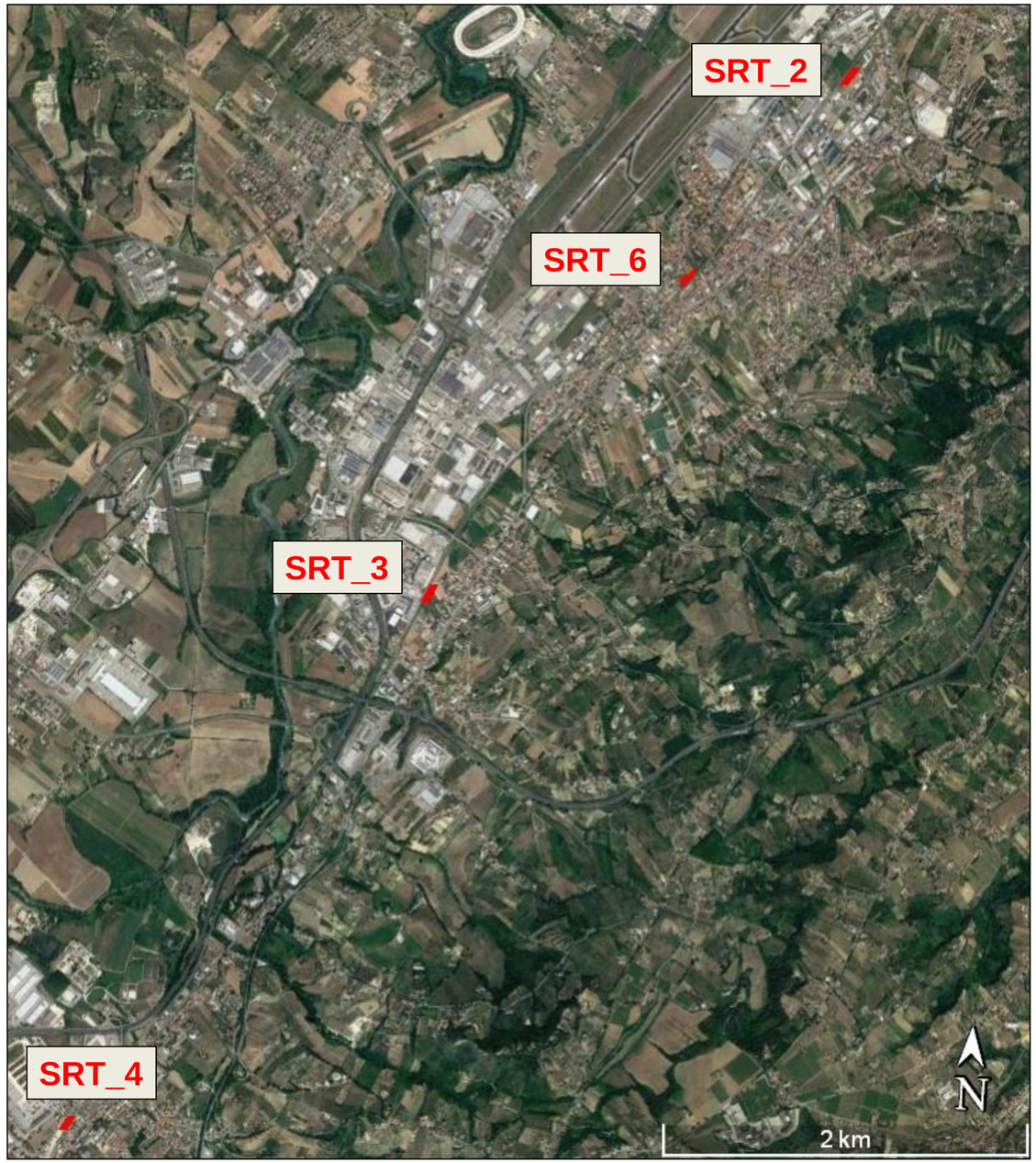
DIMMS
CONTROL

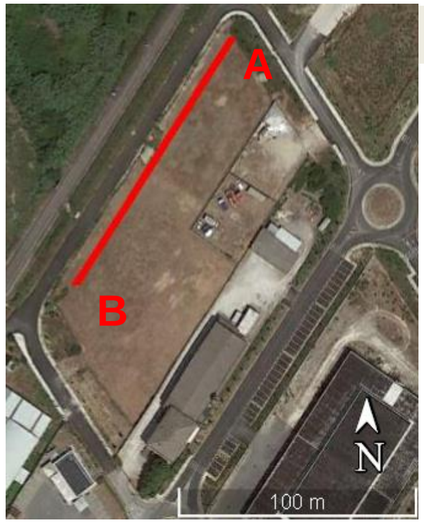
Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova – Chieti
Lotto 1

Indagini sismica a rifrazione

Emissione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato
Rev. 00	26/05/2018	Fabio Pagliara	Donato Fiore	Massimo De Iasi

Lavoro:	Committente	Indagine:	Tavola: 1	Elaborato:
Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti	ITALFERR S.p.A.	Sismica a rifrazione **Data esecuzione:** 31/05-01/06/2018	Ubicazione	Fabio Pagliara **Verificato:** Donato Fiore **Approvato:** Massimo De Iasi





SRT_2

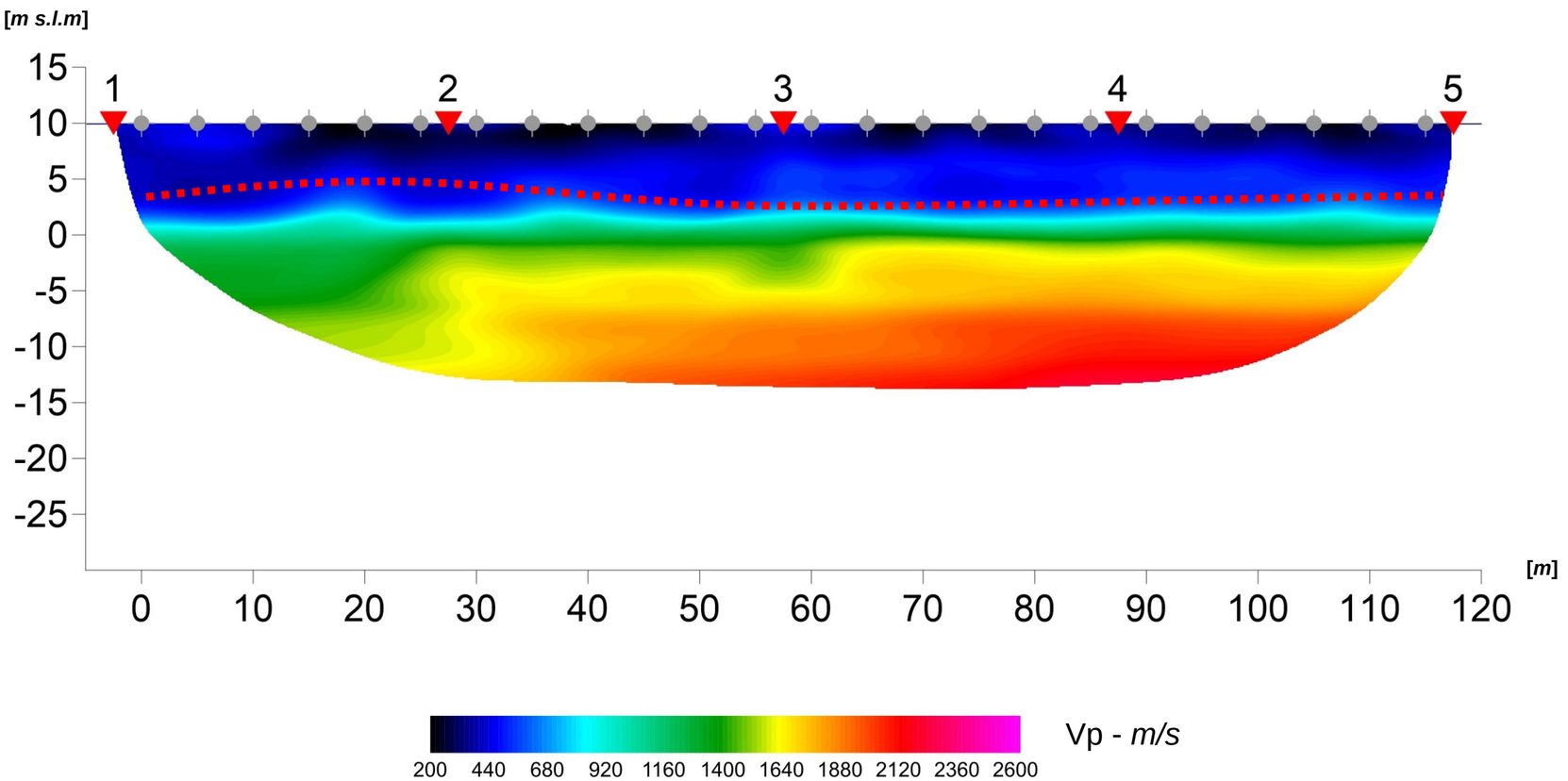
ID Punto	Latitudine	Longitudine
A	42° 25'55.46"N	14° 11'39.10"E
B	42° 25'52.23"N	14° 11'36.22"E

Lavoro: Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti **Committente** ITALFERR S.p.A.	**Indagine:** Sismica a rifrazione **Data esecuzione:** 31/05-01/06/2018	**Tavola: 2** SRT2 Onde P	**Elaborato:** Fabio Pagliara **Verificato:** Donato Fiore **Approvato:** Massimo De Iasi

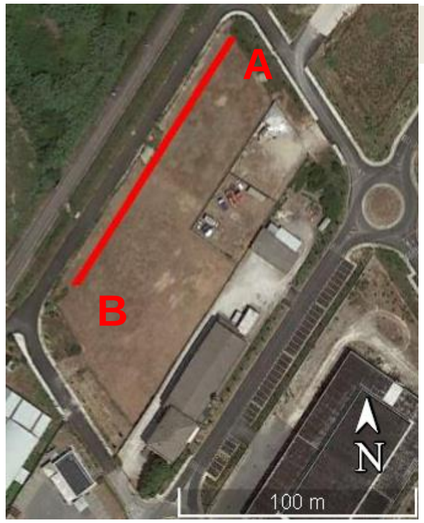
Limite sabbia incoerenti – sabbie e limi

Limite sabbia e limi – argille

A **B**



DIMMS CONTROL



SRT_2

ID Punto	Latitudine	Longitudine
A	42° 25'55.46"N	14° 11'39.10"E
B	42° 25'52.23"N	14° 11'36.22"E

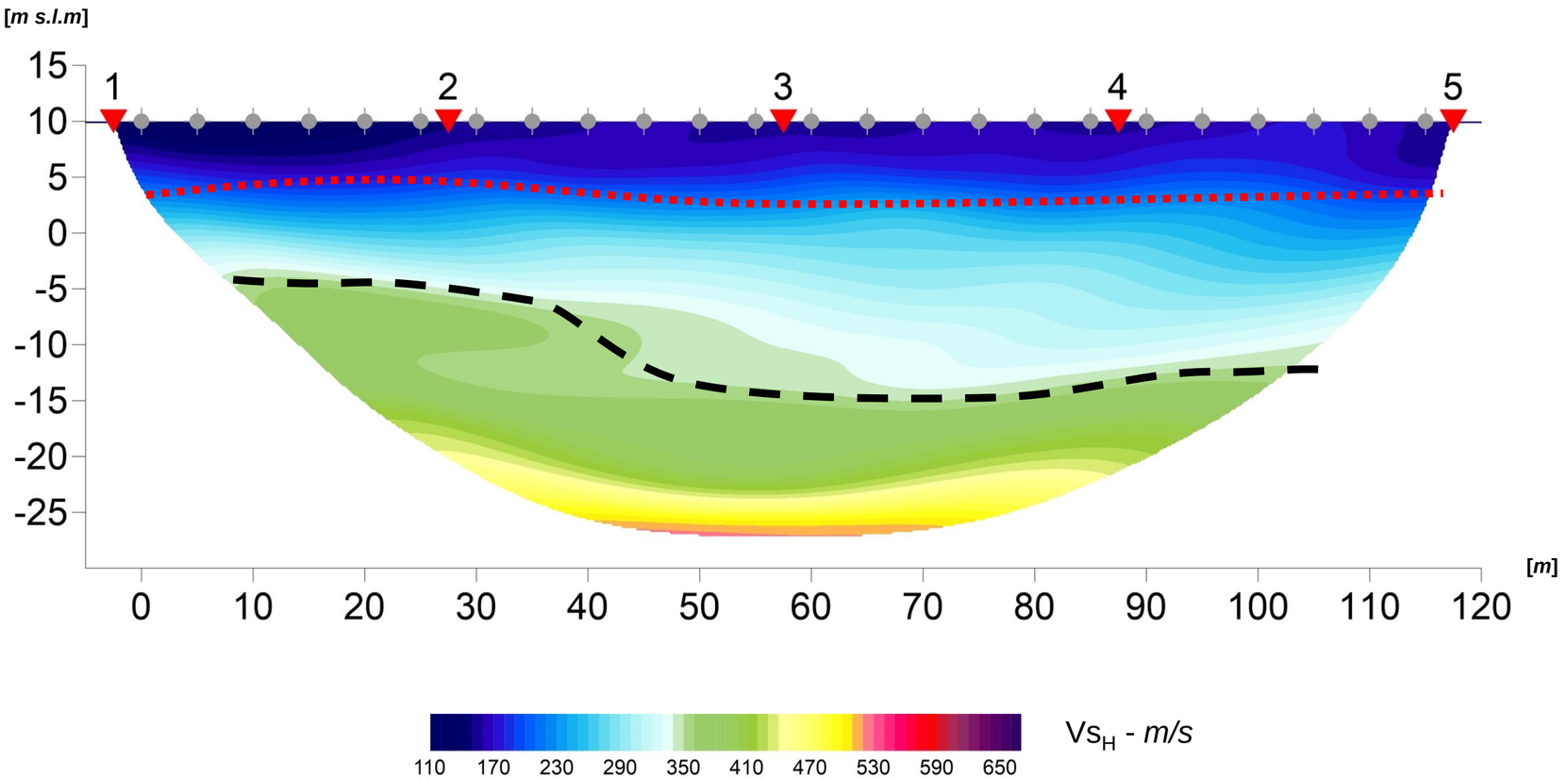
Lavoro: Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti	**Committente** ITALFERR S.p.A.	**Indagine:** Sismica a rifrazione **Data esecuzione:** 31/05-01/06/2018	**Tavola: 3** SRT2 Onde Sh

Elaborato: Fabio Pagliara
Verificato: Donato Fiore
Approvato: Massimo De Iasi

Limite sabbia incoerenti – sabbie e limi

Limite sabbia e limi – argille

A **B**



DIMMS CONTROL

SRT_6

ID Punto	Latitudine	Longitudine
A	42° 25'16.84"N	14° 11'2.42"E
B	42° 25'13.99"N	14° 10'58.82"E

Lavoro:
Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti

Committente
ITALFERR S.p.A.

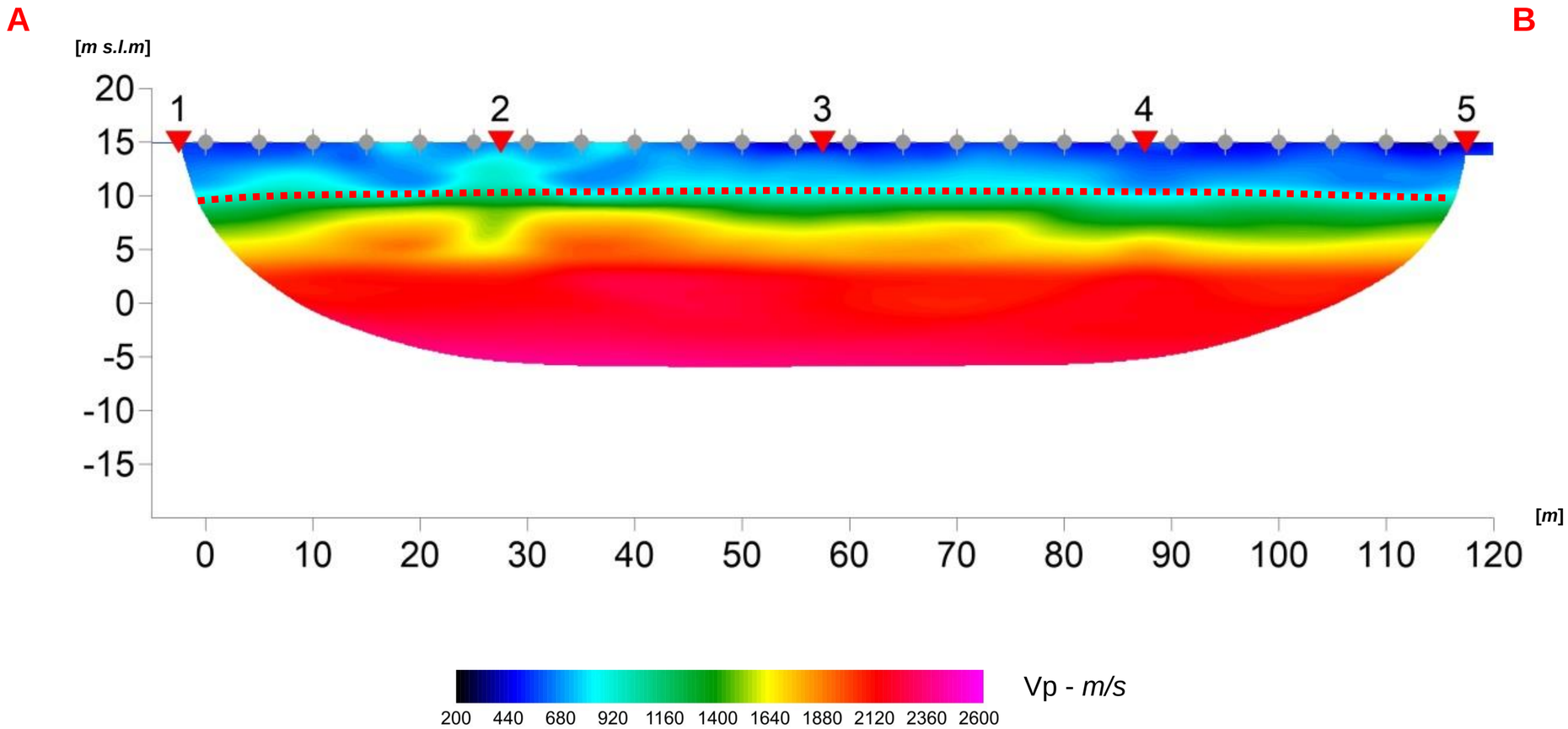
Indagine:
Sismica a rifrazione
Data esecuzione:
31/05-01/06/2018

Tavola: 4
SRT6
Onde P

Elaborato:
Fabio Pagliara
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi

Limite sabbia incoerenti – sabbie e limi

Limite sabbia e limi – argille



SRT_6

ID Punto	Latitudine	Longitudine
A	42° 25'16.84"N	14° 11'2.42"E
B	42° 25'13.99"N	14° 10'58.82"E

Lavoro:
Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti

Committente
ITALFERR S.p.A.

Indagine:
Sismica a rifrazione

Data esecuzione:
31/05-01/06/2018

Tavola: 5
SRT6
Onde Sh

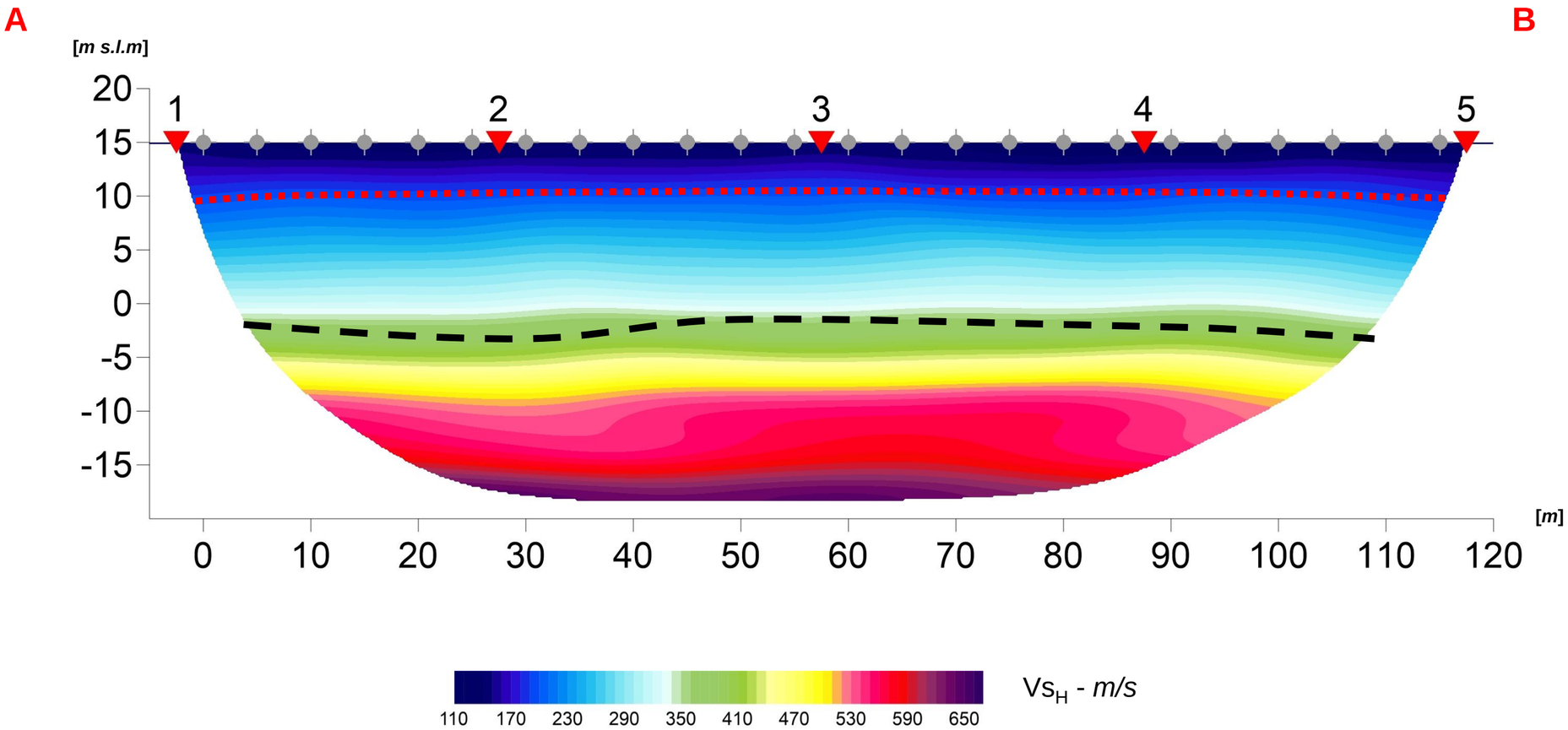
Elaborato:
Fabio Pagliara

Verificato:
Donato Fiore

Approvato:
Massimo De Iasi

Limite sabbia incoerenti – sabbie e limi

Limite sabbia e limi – argille

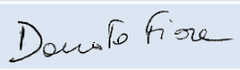


DIMMS CONTROL

DIMMS CONTROL

Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti

TOMOGRAFIA DI RESISTIVITA' ELETTRICA

Emissione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato
Rev. 00	7-8/02; 28-29/05/2018	Claudio De Paola	Donato Fiore	Massimo De Iasi
				

Lavoro:
Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti

Committente
ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

Indagine:
ERT
Data esecuzione:
7-8/02; 28-29/05/2018

Tavola: 1
Ubicazione indagine
ERT_1; ERT_2

Elaborato:
Claudio De Paola
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi

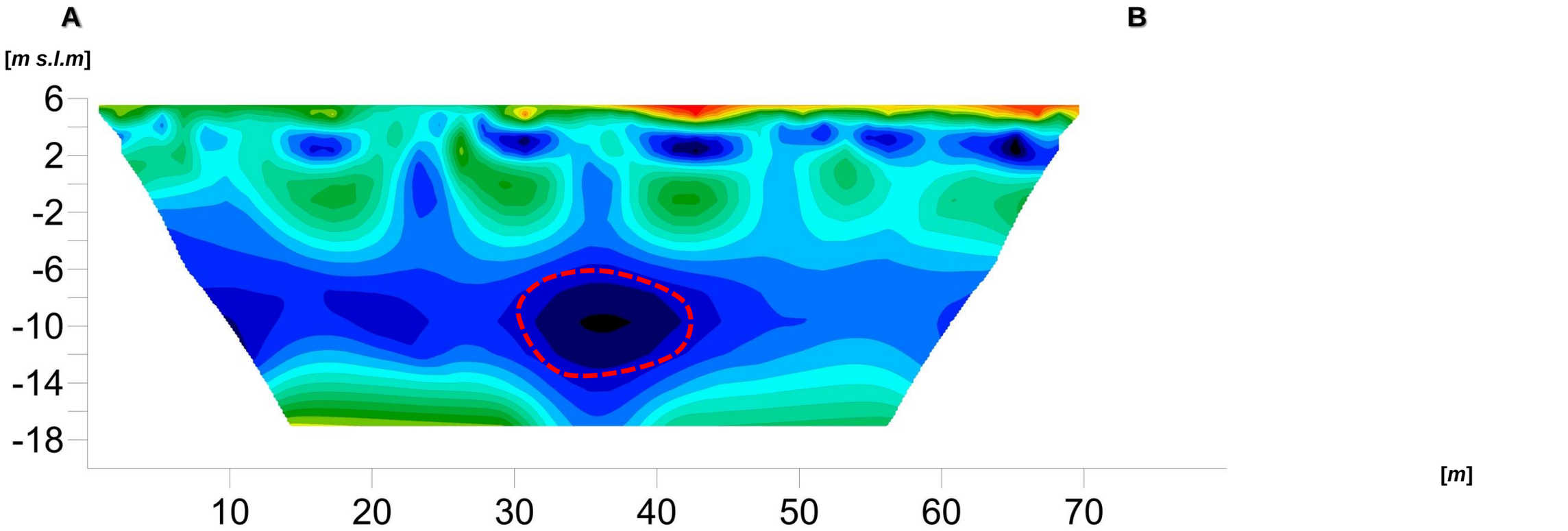
DIMMS CONTROL

ERT_1

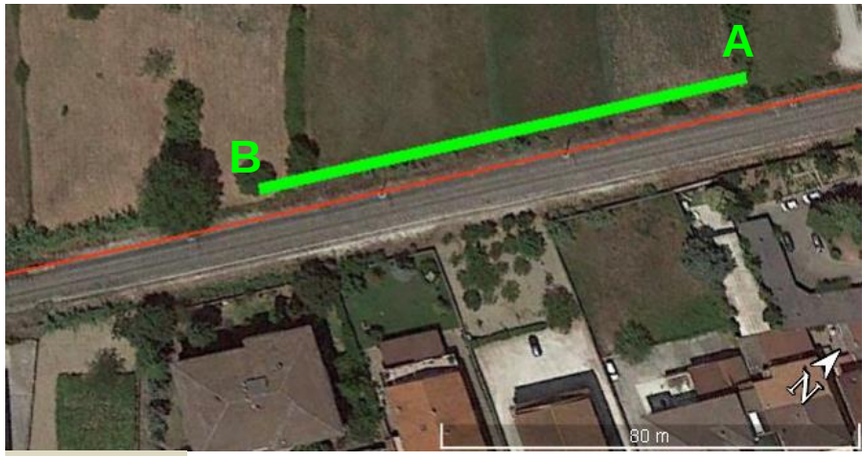
Lavoro:	**Committente**	**Indagine:**	**Tavola: 2**	**Elaborato:**
Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti	ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	ERT **Data esecuzione:** 7-8/02; 28-29/05/2018	Tomografia di resistività elettrica ERT_1	Claudio De Paola **Verificato:** Donato Fiore **Approvato:** Massimo De Iasi

ID Punto	Latitudine	Longitudine
A	42°26'36.10"N	14°12'19.17"E
B	42°26'34.61"N	14°12'16.73"E

Passo elettrodico: 1.5 m



DIMMS CONTROL

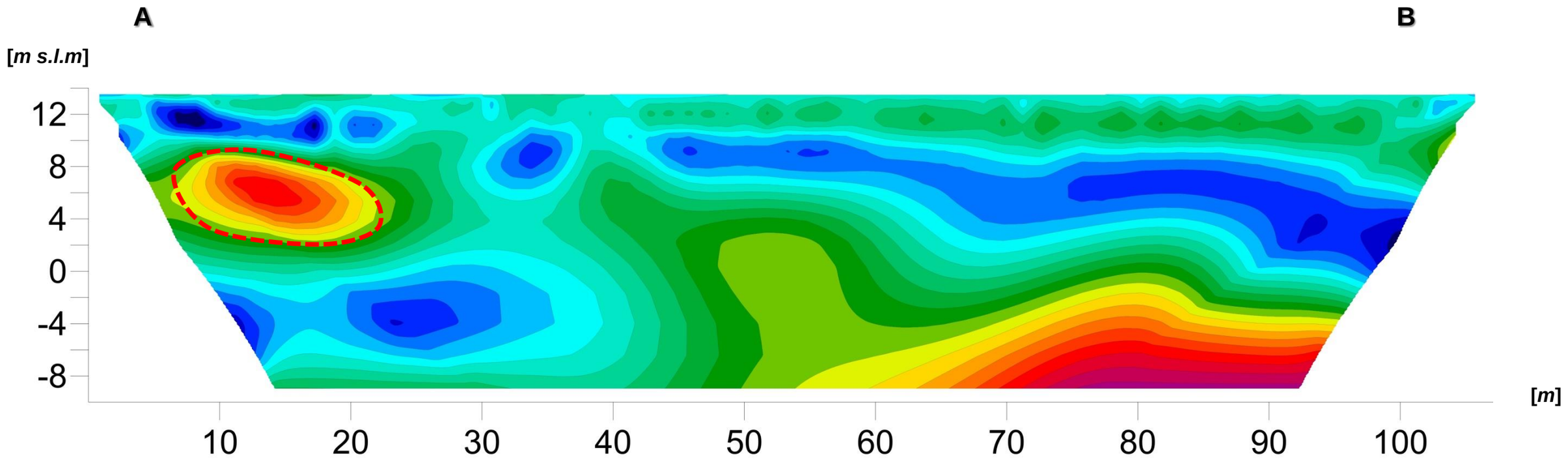


ERT_2

Lavoro:	**Committente**	**Indagine:**	**Tavola: 3**	**Elaborato:**
Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti	ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	ERT **Data esecuzione:** 7-8/02; 28-29/05/2018	Tomografia di resistività elettrica ERT_2	Claudio De Paola **Verificato:** Donato Fiore **Approvato:** Massimo De Iasi

ID Punto	Latitudine	Longitudine
A	42°25'24.00"N	14°11'9.59"E
B	42°25'21.43"N	14°11'7.28"E

Passo elettrodico: 1.5 m



DIMMS CONTROL

Lavoro:
Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti

Committente
ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO

Indagine:
ERT

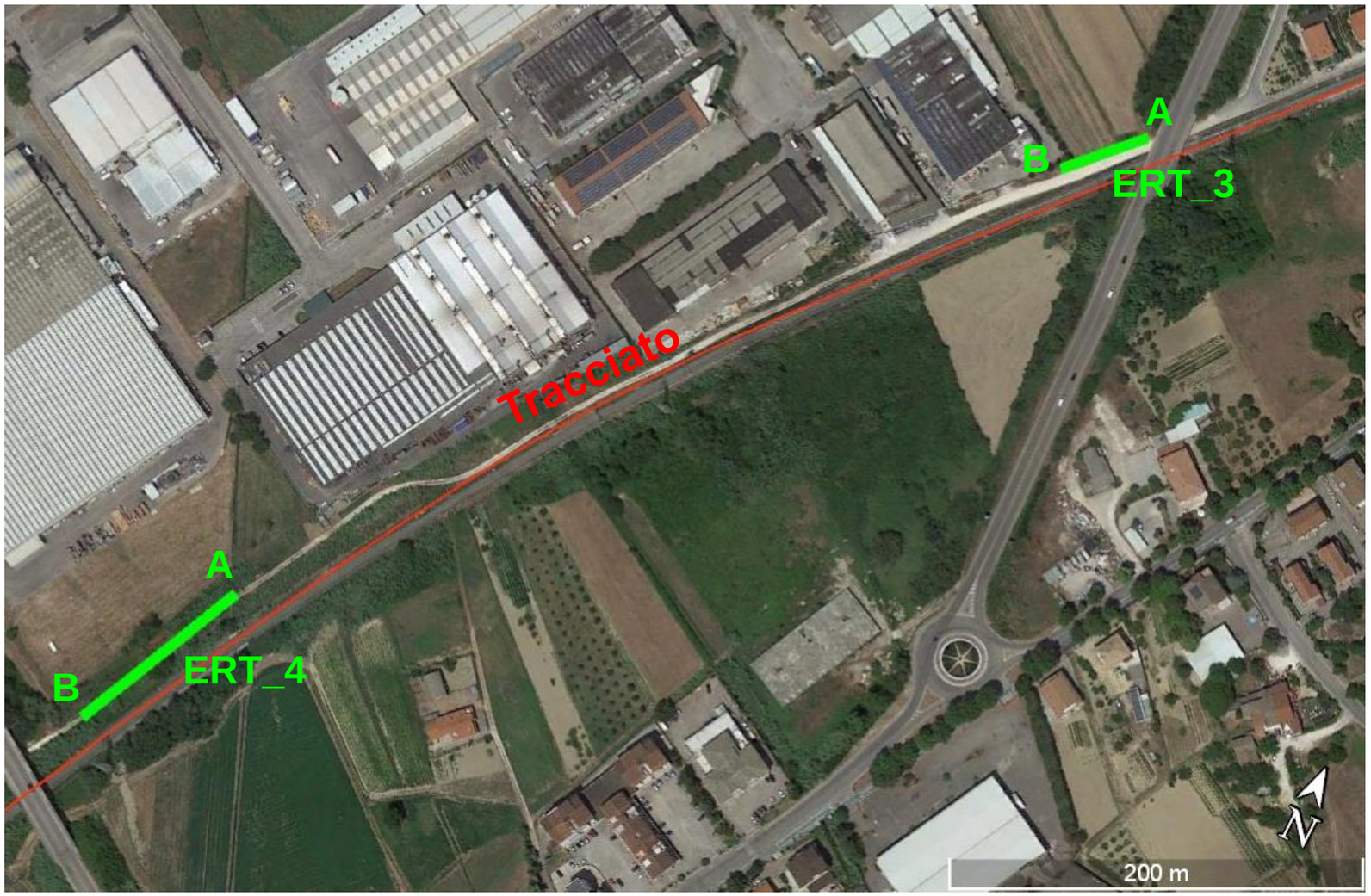
Data esecuzione:
7-8/02; 28-29/05/2018

Tavola: 4
Ubicazione indagine ERT_3; ERT_4

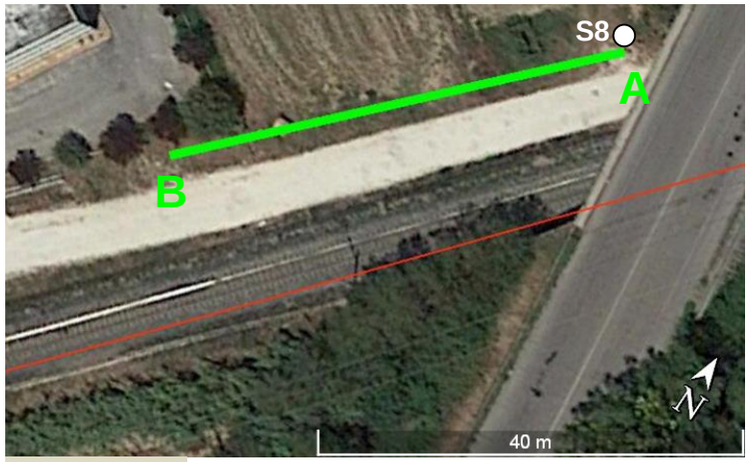
Elaborato:
Claudio De Paola

Verificato:
Donato Fiore

Approvato:
Massimo De Iasi



DIMMS CONTROL

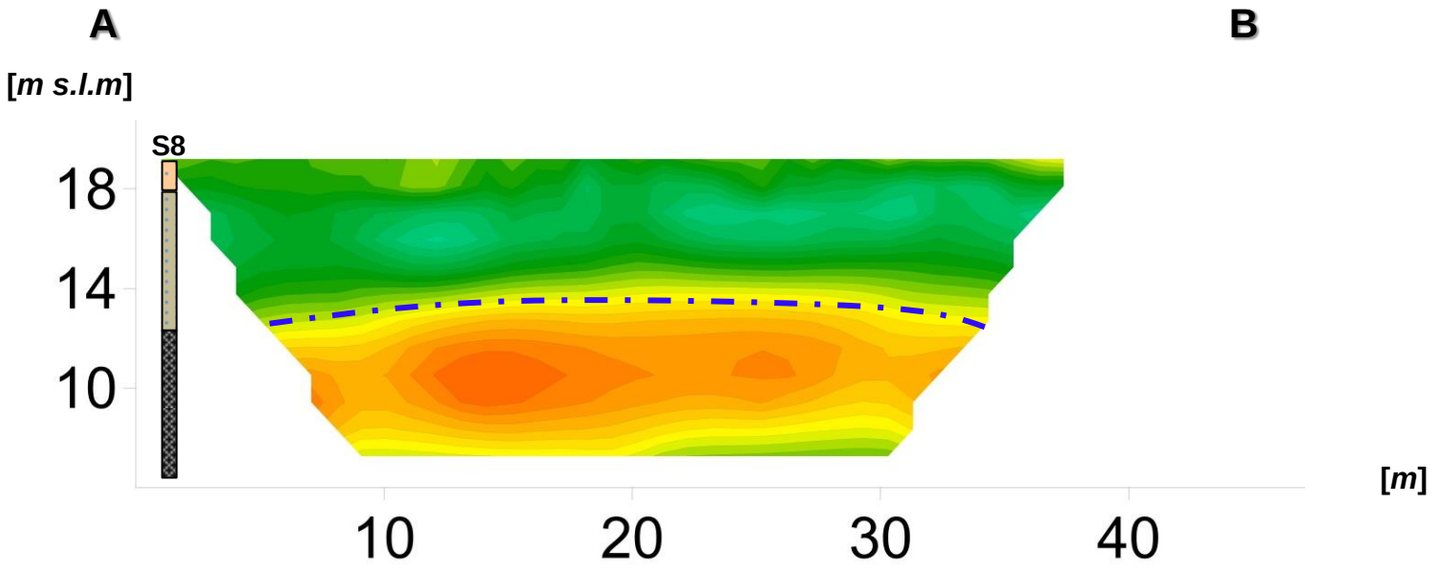


ERT_3

Lavoro:	**Committente**	**Indagine:**	**Tavola: 5**	**Elaborato:**
Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti	ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	ERT **Data esecuzione:** 7-8/02; 28-29/05/2018	Tomografia di resistività elettrica ERT_3	Claudio De Paola **Verificato:** Donato Fiore **Approvato:** Massimo De Iasi

ID Punto	Latitudine	Longitudine
A	42°26'36.10"N	14°12'19.17"E
B	42°26'34.61"N	14°12'16.73"E

Passo elettrodico: 1.5 m



Limite argilla - ghiaie

Principali anomalie

Canale sotterraneo

Limo argilloso

Argilla limosa

Limo sabbioso

Sabbia

Ghiaia

Resistività *Ohm •m*

0 20 50 80 150 300

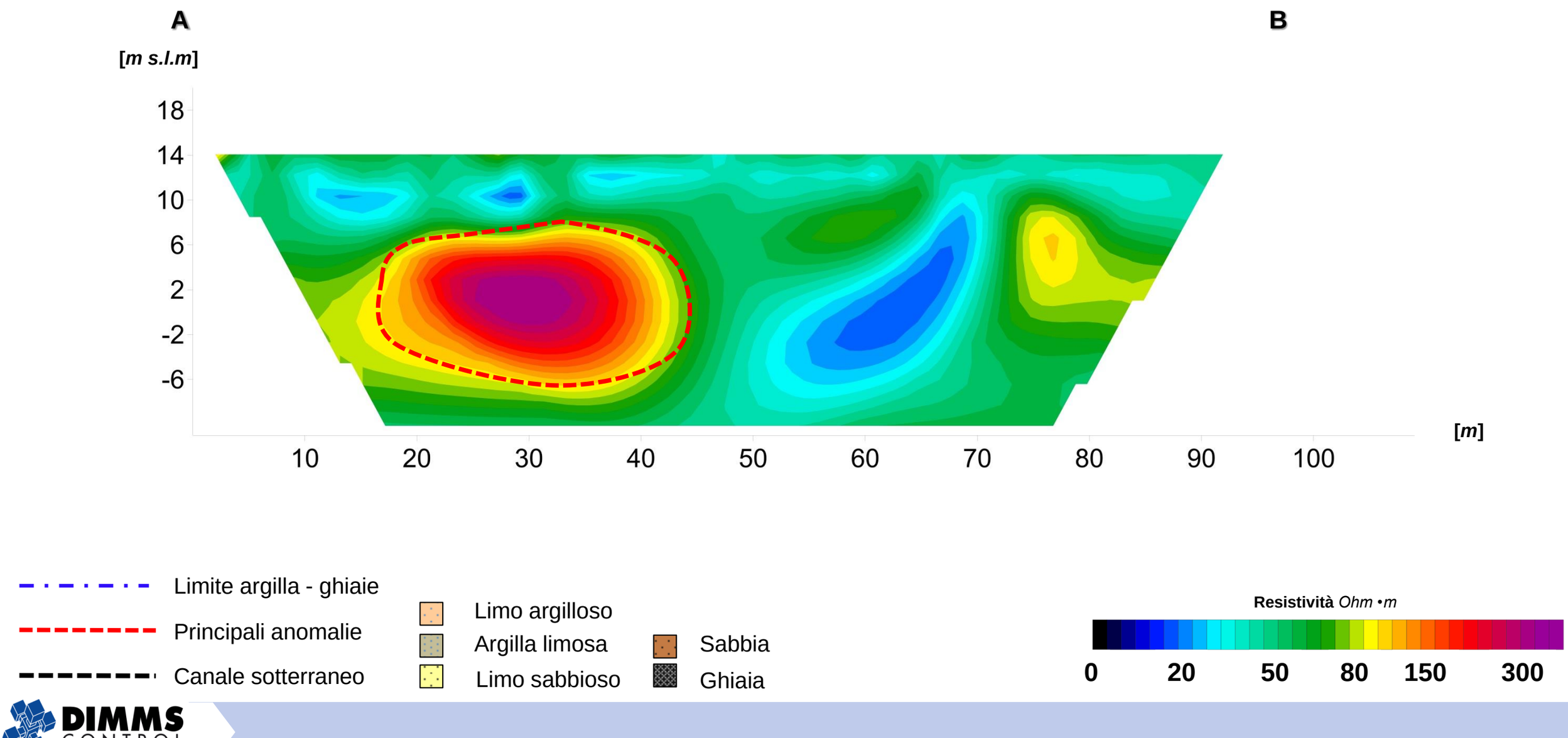
DIMMS CONTROL

ERT_4

Lavoro:	**Committente**	**Indagine:**	**Tavola: 6**	**Elaborato:**
Esecuzioni di prospezioni geofisiche per la progettazione definitiva del raddoppio ferroviario tratta Pescara Porta Nuova - Chieti	ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO	ERT **Data esecuzione:** 7-8/02; 28-29/05/2018	Tomografia di resistività elettrica ERT_4	Claudio De Paola **Verificato:** Donato Fiore **Approvato:** Massimo De Iasi

ID Punto	Latitudine	Longitudine
A	42°24'29.88"N	14°10'9.66"E
B	42°24'27.03"N	14°10'7.87"E

Passo elettrodico: 1.5 m



DIMMS CONTROL