

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE



DIREZIONE TECNICA

U.O. GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE

PROGETTO DEFINITIVO

ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA

INDAGINI GEOFISICHE

Indagini geofisiche eseguite sulla galleria

SCALA:

-

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

IF1W 00 D 69 IG GE0005 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE ESECUTIVA	M. Taddeo	18.05.2018	S. Giugliano	18.05.2018	D. Aprea	18.05.2018	F. Marchese 18.05.2018

ITALFERR S.p.A.
Dot. Geologo Francesco MARCHESE
Resp. UO GEOLOGIA, GESTIONE TERRE E BONIFICHE
Ordine Geologi Lazio n. 179 ES

Indice

1. PREMESSA	3
2. INDAGINI SISMICHE	6
2.1 SISMICA A RIFRAZIONE - PRINCIPI BASE DEL METODO.....	6
2.1.1 FATTORI DI INFLUENZA DELLE VELOCITÀ SISMICHE.....	7
2.1.2 MISURE SISMICHE	8
2.1.3 PROCESSING.....	8
2.2 SISMICA A RIFLESSIONE – CENNI SUL METODO	10
2.2.1 ACQUISIZIONE	12
2.2.2 PROCESSING DEI DATI.....	14
2.3 STRUMENTAZIONE IMPIEGATA.....	17
2.4 SISMICA IBRIDA.....	20
3. METODO ELETTROMAGNETICO (FDEM).....	21
3.1 CENNI SUL METODO ELETTROMAGNETICO	21
3.1.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	23
3.1.2 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI ELETTROMAGNETICI	25
4. RISULTATI	29
4.1 INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE – ALLEGATO A	29
4.2 INDAGINE SISMICA A RIFLESSIONE – ALLEGATO B.....	31
4.3 INDAGINE ELETTROMAGNETICA – ALLEGATO C	31
APPENDICE I – GEOMETRIA D’INDAGINE DELLA SISMICA A RIFLESSIONE.....	33
ALLEGATI.....	41

1. PREMESSA

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche eseguite per il “Progetto Definitivo del Raddoppio Apice-Orsara-Bovino – Tratta Bovino-Orsara”. Nello specifico sono stati realizzati 4 stendimenti di sismica a rifrazione in onde P ed Sh, 1 stendimento di sismica a riflessione e 4 indagini con metodologia elettromagnetica FDEM. Le suddette indagini sono state realizzate nell’arco temporale che va dal mese di dicembre 2017 al mese di aprile 2018.

Si riporta di seguito il riepilogo delle indagini eseguite:

Id stendimento	A		B		Lunghezza stendimento (m)
	Latitudine	Longitudine	Latitudine	Longitudine	
SRT OVEST 1	41°14'48.27"N	15°16'58.98"E	41°14'44.61"N	15°17'07.21"E	220
SRT OVEST 2	41°14'43.64"N	15°22'32.14"E	41°14'39.88"N	15°17'03.41"E	240
SRT EST 1	41°17'25.85"N	15°22'32.14"E	41°17'30.00"N	15°22'43.84"E	300
SRT EST 1	41°17'31.10"N	15°22'37.74"E	41°17'25.54"N	15°22'42.23"E	200

Tabella 1 - Riepilogo indagini SRT

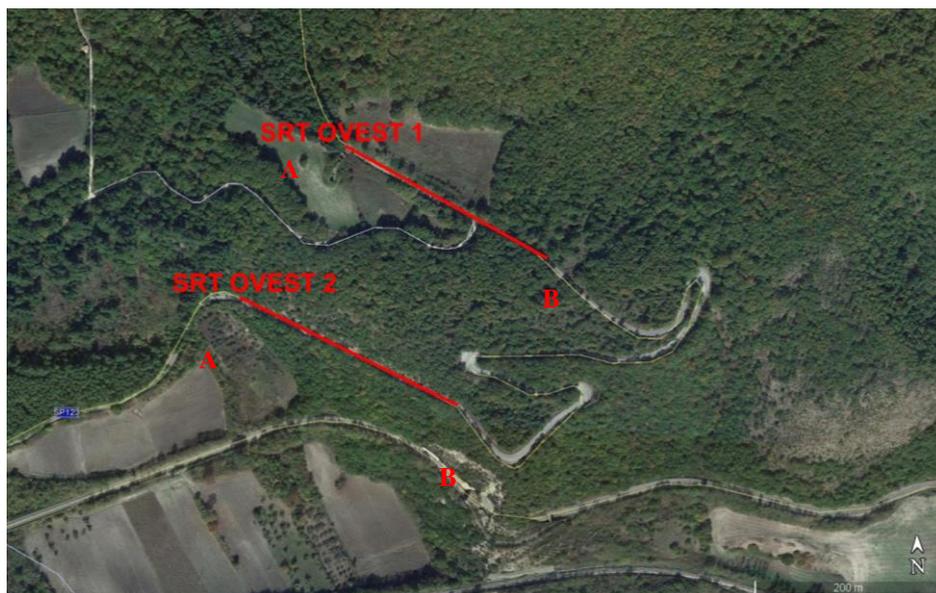


Figura 1 - Ubicazione indagini SRT imbocco Ovest

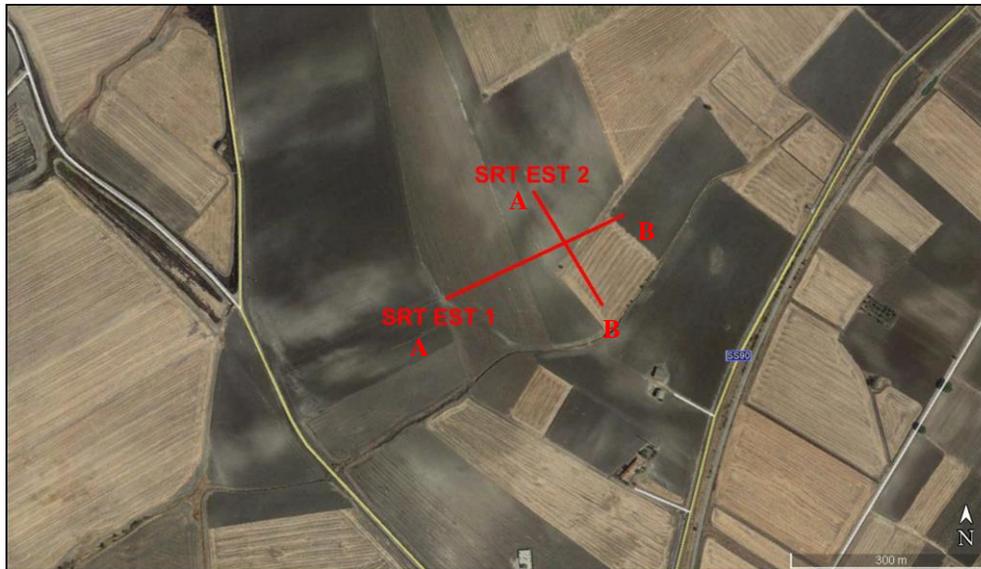


Figura 2 - Ubicazione indagini SRT imbocco Est

	A		B		
Id stendimento	Latitudine	Longitudine	Latitudine	Longitudine	Lunghezza stendimento (m)
Riflessione 1	41°16'40.15"N	15°19'38.17"E	41°16'49.14"N	15°19'56.87"E	530

Tabella 2 - Riepilogo indagine sismica a riflessione



Figura 3 – Tracciato indagine.

Mappe di Conducibilità		
Id sondaggio	Latitudine	Longitudine
BO-PD-S3	41°15'37.82"N	15°18'16.21"E
BO-PD-S4	41°15'55.05"N	15°18'47.27"E
BO-PD-S7	41°17'06.94"N	15°20'53.28"E
BO-PD-S16	41°18'04.21"N	15°23'42.67"E

Tabella 3 - Riepilogo indagine elettromagnetica

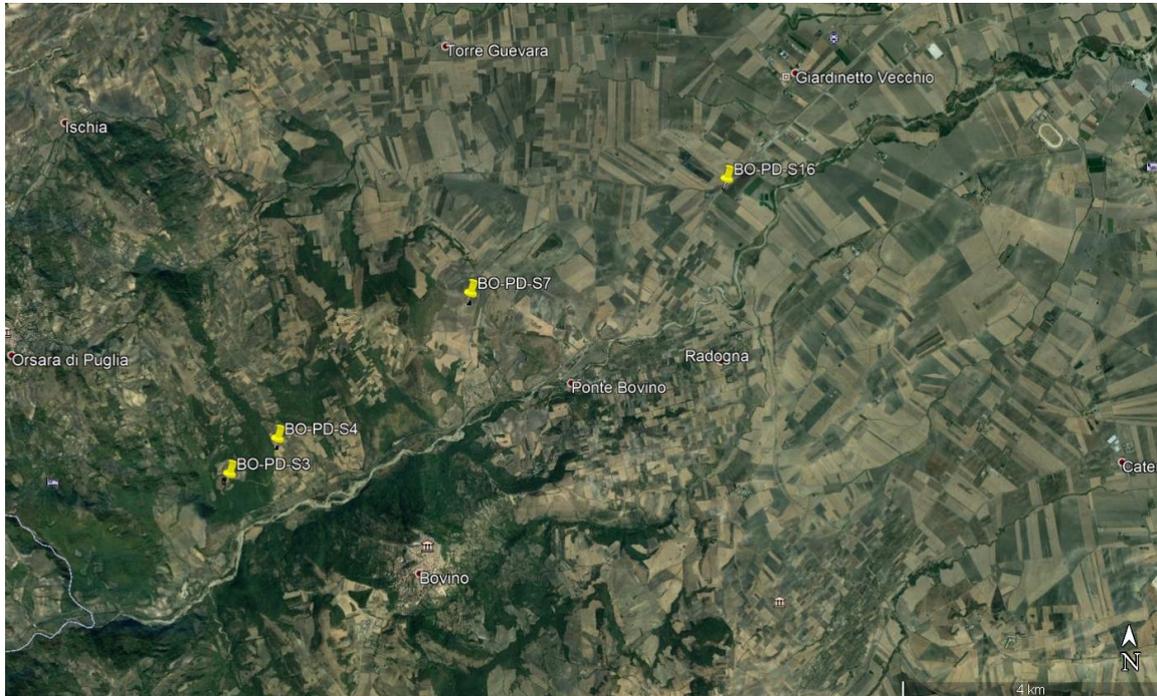


Figura 4 - Ubicazione indagini elettromagnetiche

2. INDAGINI SISMICHE

2.1 Sismica a rifrazione - 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 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 SH). 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 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 rigidità del terreno sono quelle di taglio.

2.1.1 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 rigidità dello scheletro solido nella stessa maniera delle onde SH. Infatti la velocità delle onde S non risulta influenzata da tale parametro (l'acqua non può sostenere sforzi di taglio).

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA GALLERIA</p>	<p>COMMESSA IF1W</p>	<p>LOTTO 00 D 69</p>	<p>CODIFICA IG</p>	<p>DOCUMENTO GE0005 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 8 di 67</p>

2.1.2 Misure sismiche

Gli stendimenti sismici sono stati realizzati con lunghezza e numero di geofoni variabile, riportata nella Tab.1. L'acquisizione dei dati sismici è stata condotta secondo la seguente configurazione spazio temporale:

- n° 10/15 shot per ogni punto di energizzazione da sottoporre al processo di stacking in fase di processing per ottimizzare il rapporto *signal/noise*;
- n° 9/13 shot point per ogni stendimento;
- tempo di acquisizione: 1 s;
- intervallo di campionamento 0.125 μ s;

Per i dettagli dei punti di energizzazione si rimanda agli allegati delle indagini.

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

Lo schema di interpretazione utilizzato nel presente lavoro è basato sulla creazione di un modello iniziale ottenuto mediante interpretazione con una tecnica sofisticata di processo dei tempi di primo arrivo basata sui metodi dei "Fronti d'onda" (Brückl 1987; Jones and Jovanovich 1985) e del Plus-minus (Hagedoorn 1959), fondata su una regressione del campo dei tempi di primo arrivo (Brückl 1987). Tale metodo può essere considerato un'ottimizzazione dell'algoritmo del GRM, capace di risolvere l'immagine dei rifrattori con andamenti topografici molto accidentati. A partire dal modello sopraccitato è stato quindi utilizzato il codice di calcolo per la modellazione tomografica che utilizza, nell'algoritmo d'inversione, un "raytracing" con raggi curvilinei e metodi di calcolo ai minimi quadrati attraverso il

metodo Delta t-v (Gebrande and Miller 1985), al fine di migliorare il riconoscimento e la localizzazione di strutture di forma anomala, stabilizzando la soluzione dell'algoritmo d'iterazione.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 \mathbf{u}_0 ; $\Delta \mathbf{u}$ è la perturbazione del modello iniziale; e \mathbf{J} è la matrice jacobiana contenente le derivate parziali delle dromocrone rispetto alle lentezze nelle celle $\frac{\partial t_i}{\partial u_k}$.

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

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

dove λ è il fattore di smorzamento e la matrice \mathbf{L}_2 è una matrice derivata seconda (operatore laplaciano) che forza la soluzione verso la soluzione più regolare possibile (smoothest solution). L'affinamento della soluzione supportata con il metodo Delta t-v è stato ottenuto attraverso un ulteriore processo finale tomografico.

2.2 Sismica a riflessione – Cenni sul metodo

Lo scopo dell'indagine di sismica a riflessione è quello di offrire un contributo all'implementazione di un modello geologico-geotecnico dell'area di indagine.

Il metodo sismico a riflessione, usato da oltre 60 anni nell'esplorazione sismica profonda per la ricerca petrolifera, è stato adattato alle applicazioni più generali all'inizio degli anni '80, quando i progressi tecnologici hanno permesso la costruzione di sismografi che consentono un'efficace acquisizione ed elaborazione dei dati a relativamente basso costo. Negli ultimi 50 con lo sviluppo di nuove tecniche e con l'avvento della registrazione digitale le metodologie sismiche hanno avuto un notevole sviluppo. Recentemente, i metodi sismici hanno trovato una larga applicazione al campo della meccanica delle rocce, ad esempio per la progettazione di grandi opere di ingegneria civile (dighe, strade, ferrovie etc.), per lo studio di frane ed in particolare per la valutazione e la mitigazione del rischio sismico. Le indagini di sismica a rifrazione e/o riflessione consentono di definire, lungo un profilo o un'area (sismica 3D), le

unità litologiche presenti, la loro geometria (spessori e superfici di contatto) ed inoltre consentono di stimare i valori dei moduli elastici dei terreni investigati.

La sismica a riflessione consente la ricostruzione delle strutture geologiche fornendo informazioni sulle loro geometrie e rapporti stratigrafici, contribuendo alla costruzione di un modello geologico che è già molto simile ad una classica sezione geologica ricca di dettagli sedimentologici, geodinamici geologico-strutturali.

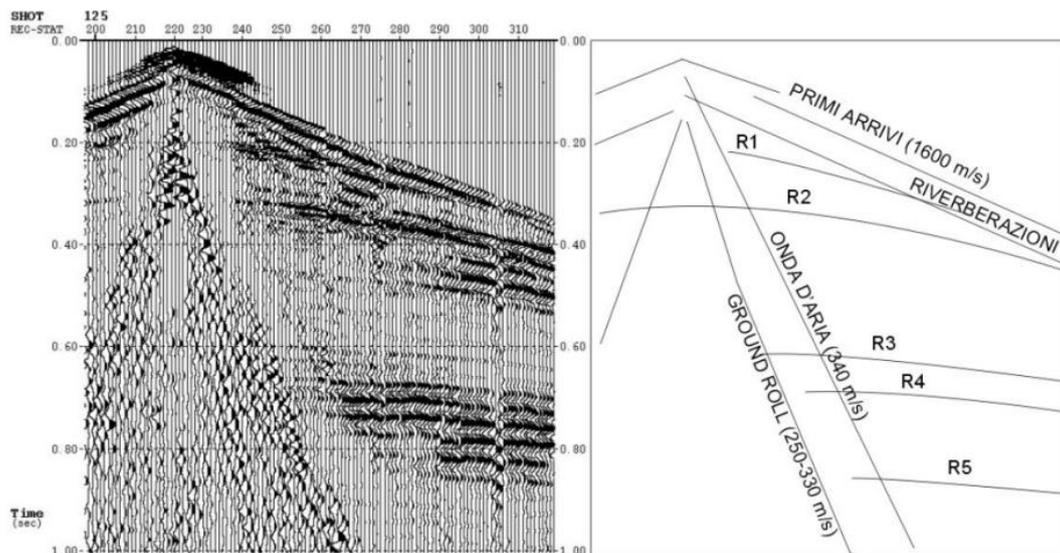


Figura 5 – A sinistra un esempio di dato sismica a riflessione. A destra sono tracciati gli eventi identificabili. R1-R5 arrivi riflessi.

La sismica a riflessione ad alta risoluzione si differenzia dalla sismica d'esplorazione petrolifera per le minori profondità d'investigazione (di regola non superiori ai 1000 m) e l'elevata risoluzione laterale e verticale del dato (da qualche decimetro a qualche metro). Tale tecnica è caratterizzata da minori costi d'esecuzione e da un apparato logistico d'acquisizione più gestibile rispetto alla sismica d'esplorazione. La sismica d'esplorazione impiega sorgenti molto energetiche, caratterizzate da basse frequenze, un passo di campionamento di diversi millisecondi ed una spaziatura tra i ricevitori d'alcune decine di metri. Mentre, la sismica ad alta risoluzione opera in un intervallo di frequenze tra i 10 ed i 500 Hz campionando il segnale ogni millisecondo e con una spaziatura tra i canali che varia da decine di centimetri a pochi metri. Tale metodologia consente di estendere in superficie le informazioni profonde

derivanti da profili commerciali a riflessione; mirando alla ricostruzione di strutture profonde, la qualità della porzione più superficiale del dato commerciale (0-1 s Tempo Doppio o TWT), mostra un basso potere risolutivo e risulta, quindi, inadeguato per ottenere informazioni superficiali dettagliate. La sismica a riflessione ad alta risoluzione ad esempio è stato applicato con successo negli anni passati per indagare la geometria superficiale di importanti faglie attive negli Stati Uniti occidentali.

Il principio fondamentale della sismica a riflessione è il modello convoluzionale che approssima la Terra ad un sistema lineare e di cui si tratterà di seguito. Secondo tale modello la traccia sismica è una serie temporale che rappresenta la registrazione della risposta del sottosuolo (riflettività terrestre) alla perturbazione indotta dalla sorgente sismica. Lo scopo dell'elaborazione di dati di sismica a riflessione è il tentativo di ricostruire dalle tracce registrate la riflettività terrestre estrapolandola sulla base del modello convoluzionale. Ciò avviene attraverso alcuni passaggi fondamentali:

- Ricostruzione della funzione della sorgente e sua rimozione dal dato (Deconvoluzione);
- Rimozione del rumore;
- Determinazione del modello di velocità del sottosuolo (Analisi di velocità, tomografia sismica).

2.2.1 Acquisizione

Per la presente campagna di indagine è stata richiesta una risoluzione 2400% che , seguendo la formula generale per la copertura sismica (ossia il numero di tracce per ogni CDP):

$$Copertura = (N/2)Gi/Si$$

Dove:

C = copertura sismica

N = numero di ricevitori

Gi= distanza tra i ricevitori

Si = distanza tra le sorgenti

Nelle figure seguenti (Fig. 6, 7, 8) si nota come, in funzione delle configurazioni di acquisizione adottate, la copertura sismica varia lungo la linea e il valore minimo richiesto lo si ha solo agli estremi mentre avvicinandosi al centro dello stendimento la risoluzione aumenta notevolmente fino ad oltre il 6000%.

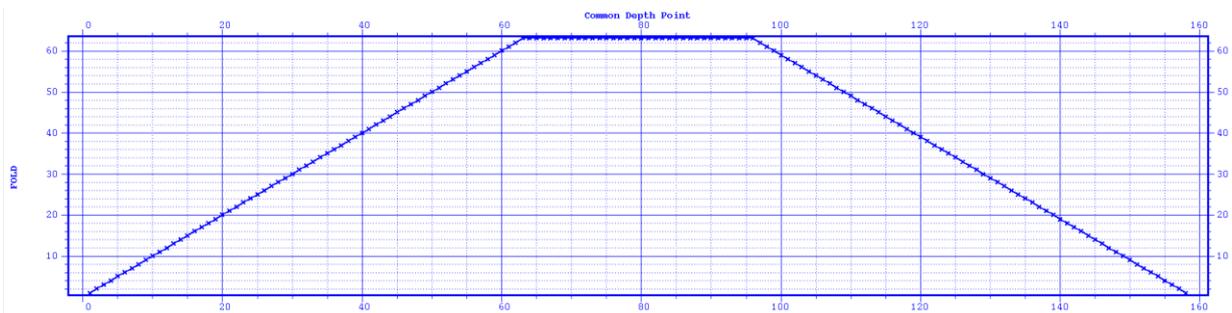


Figura 6 – Variazione della copertura dei CDP lungo la linea sismica.



Figura 7 – Fasi di acquisizione dati sismici.



Figura 8 – Fasi di acquisizione dati topografici.

2.2.2 Processing dei dati

I flussi d'elaborazione si adattano, attraverso l'applicazione di processi specifici, alle problematiche presentate dal dato. Gli obiettivi generali dell'elaborazione sismica sono l'incremento del rapporto segnale rumore ed il miglioramento della risoluzione sia verticale che orizzontale. L'elaborazione in linea generale è articolata in tre fasi: pre-processing, analisi di velocità ed elaborazione post-stack. Le operazioni fondamentali dei dati sismici sono, in ordine di applicazione:

1. Deconvoluzione;
2. Analisi di velocità e Stacking;
3. Migrazione.

La deconvoluzione è un processo di compressione del segnale registrato che agisce lungo l'asse temporale. Esso punta a rimuovere gli effetti dell'assorbimento selettivo in frequenza operato dal terreno sull'ondina sismica (wavelet) che provoca una distorsione della wavelet nel tempo con perdita di alte frequenze, e quindi di risoluzione verticale. L'ondina corrisponde alla forma d'onda della sorgente modificata dai vari effetti del terreno e dal sistema di registrazione. La registrazione sismica è quindi il risultato della convoluzione della funzione sorgente con i filtri relativi al mezzo di propagazione. L'analisi di velocità consente, attraverso la correzione di normal moveout (NMO) che elimina l'effetto l'incremento di tempo di percorso conseguente all'aumento della distanza sorgente-ricevitore, di mettere in fase tutti gli eventi riflessi, al fine di sommare le tracce lungo l'asse dell'offset (stacking).

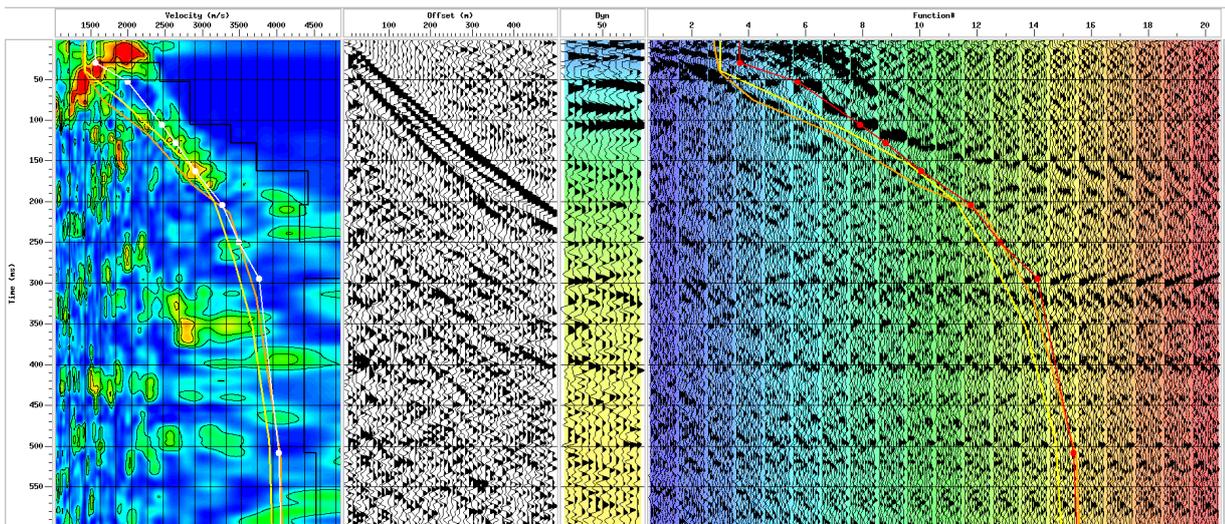


Figura 9 – Analisi di velocità Le funzioni di velocità sono state selezionate ogni 25 CDP.

Lo stacking, è un procedimento molto efficace ai fini del miglioramento del rapporto S/N. La sezione a zero-offset prodotta dalla sommatoria delle tracce corrette per NMO è detta sezione "stack".

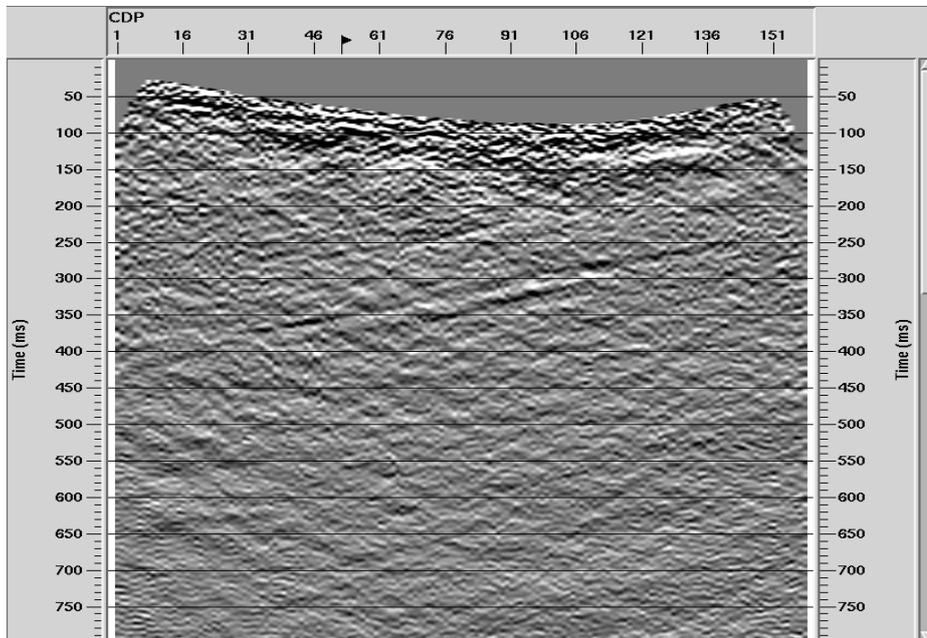


Figura 10 – Sezione brute stack LSi1

Infine, il processo centrale nell'elaborazione post-stack è la migrazione. Essa mira alla restituzione della corretta posizione spaziale degli eventi riflessi e alla rimozione delle diffrazioni. La migrazione può essere pensata come un processo di deconvoluzione spaziale poiché permette di migliorare la risoluzione spaziale. La Migrazione è quel processo d'elaborazione che consente di collassare le diffrazioni presenti sulla sezione stack e di riposizionare i riflettori alla loro posizione reale e di aumentare la risoluzione spaziale, creando un'immagine fedele delle strutture del sottosuolo. In principio, la migrazione era considerata uno strumento per l'imaging delle strutture. In seguito, si è evoluta in un potente strumento per la stima dettagliata del campo di velocità, arrivando a ricoprire un ruolo centrale nell'elaborazione e nell'interpretazione di dati di sismica a riflessione.

Inoltre, l'applicazione di processi d'elaborazione avanzati, mutuati dall'elaborazione di dati commerciali (migrazione pre-stack), unitamente a processi come le correzioni statiche sulla base di valori di tomografici (tomostatiche), possibili grazie alla particolare geometria d'acquisizione, forniscono risultati interessanti su dati ad alta risoluzione importanti per la una comprensione geologica estremamente dettagliata.

2.3 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.
- sistema energizzante: per la sismica a rifrazione, tale sistema (sia per la generazione delle onde P, Sh) 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 ed Sh è stata utilizzata una massa battente da 8kg. Per la sismica a riflessione, la sorgente è costituita da un fucile sismico calibro 8" alloggiato opportunamente al suolo, per la generazione prevalente di onde P ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali. E' stata inoltre utilizzata anche una mazza battente da 8 kg a seconda del sito e delle distanze da raggiungere.



 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
	INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA GALLERIA	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A

Figura 11 - Indagine di sismica a rifrazione, fasi di acquisizione

- sistema di ricezione: per l'indagine di sismica a rifrazione 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. Per l'indagine di sismica a riflessione sono stati utilizzati 96 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile (oscillazione verticale), con frequenza caratteristica di 4.5 Hz.



Figura 12 - Geofono P e geofono Sh

- 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 caso si è usato quello 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*) 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

senso 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 13- 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 4 - Specifiche tecniche Sismografo GEODE

2.4 Sismica ibrida

Il metodo di sismica ibrida è una combinazione di sismica a riflessione ad alta risoluzione con la tecnica di sismica a rifrazione tomografica. La sismica a riflessione nonché la rifrazione tomografica, se applicato come unico metodo di prospezione, hanno i loro meriti indiscussi ma purtroppo anche alcune carenze, a seconda degli obiettivi di ogni singolo rilievo. Pertanto, è opportuno unire le loro procedure di acquisizione e interpretazione dei dati. Grazie ai recenti progressi tecnici realizzati nella moderna strumentazione di registrazione sismica, l'acquisizione dati per entrambi i metodi possono ora essere combinati in un'unica operazione che permette di sfruttare appieno le potenzialità delle informazioni contenute nei dati da una procedura di elaborazione appropriata dei dati congiunti. Sebbene i risultati della riflessione e della rifrazione tomografica sono basati sullo stesso insieme di dati, sono completamente indipendenti l'una dall'altra, il che migliora la bontà di una interpretazione comune. Inoltre poiché la determinazione del campo di velocità del sottosuolo, come detto in precedenza, è un'operazione fondamentale per l'elaborazione di dati sismici a riflessione creare un modello di velocità tomografica che possa validare e migliorare i modelli ottenuti dalle analisi di velocità (NMO) è un ulteriore miglioramento possibile della tecnica. L'acquisizione dei dati sismici di questo progetto è di tipo dense wide-aperture, impiegata per l'esplorazione di strutture complesse in campo petrolifero (Bruno et al., 2010). Tale tecnica prevede un'acquisizione con energizzazioni densamente distribuite lungo una stesa di ricevitori. Tale schema d'acquisizione consente di registrare sia eventi riflessi con alta copertura in un ampio intervallo di offset (riflessioni quasi verticali a piccoli offset e ad offset maggiori le

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA GALLERIA	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 21 di 67

riflessioni post-critiche), sia eventi rifratti in profondità, adatti per la tomografia dei primi arrivi. La tomografia non solo fornisce informazioni sulle strutture superficiali, ma consente di avere un buon controllo del campo di velocità incrementando l'affidabilità delle correzioni statiche (Improta and Bruno, 2007; Bruno and Castiello, 2009). Questa geometria d'acquisizione, impiegando uno stendimento di geofoni regolarmente distanziati (5 m), consentirebbe di ottenere una ridotta interdistanza tra i CDP e quindi un'elevata ridondanza dei dati, così da poter ricostruire in maniera dettagliata il campo di velocità e di consentire un campionamento spaziale sufficiente a ricostruire le strutture indagate. In funzione di quanto detto prima, la lunghezza totale degli stendimenti e il numero di canali impiegati di volta in volta saranno tarati in base agli scopi investigativi.

3. METODO ELETTROMAGNETICO (FDEM)

3.1 Cenni sul metodo elettromagnetico

Le esplorazioni elettromagnetiche sono finalizzate all'individuazione di zone caratterizzate da valori anomali di conducibilità elettrica. Esiste una notevole varietà di metodi elettromagnetici ed esistono numerose classificazioni per poterli suddividere; ognuno di questi metodi si basa sulle misurazioni di una o più componenti del campo elettromagnetico indotto nel terreno da un campo primario. Il campo primario, generato da una sorgente naturale o da una corrente alternata artificiale, si propaga nel terreno sottostante inducendo delle correnti nel semispazio conduttore. A loro volta, le correnti così prodotte generano un campo secondario che distorce il campo primario e che, differendo in intensità, fase e direzione da quest'ultimo, indica la presenza di conduttori nel sottosuolo. Il campo primario può essere continuo o transiente; nel secondo caso il campo secondario indotto nel terreno decadrà gradualmente all'interruzione del campo primario. Il decadimento sarà tanto più lento quanto più i corpi presentano elevata conduttività. Valutando il corso del decadimento del campo secondario è possibile localizzare corpi con conducibilità anomala (Sharma, 1997).

Il metodo elettromagnetico FDEM consiste nell'inviare nel sottosuolo attraverso una bobina trasmittente (Tx) un campo elettromagnetico primario, che induce una circolazione di corrente. Tale

circolazione di corrente genera nel semispazio investigato un campo elettromagnetico, detto “secondario”, la cui intensità è proporzionale alla conducibilità elettrica del mezzo attraversato. La bobina trasmittente (Tx) immette nel terreno un campo EM detto primario; dal campo totale misurato alla bobina ricevente (Rx) otterremo il campo secondario dovuto alla variazione di corrente indotta.

A parità di campo elettromagnetico primario indotto nel sottosuolo, l'intensità del campo secondario sarà tanto più elevata quanto più alta sarà la conducibilità del mezzo attraversato.

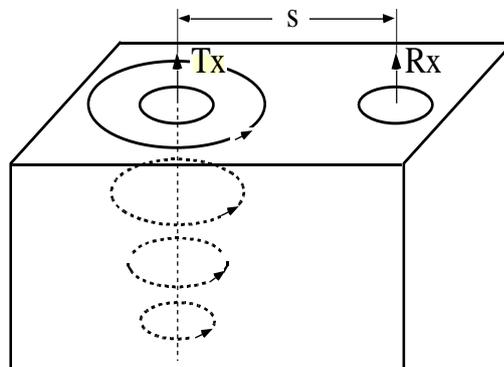


Figura 14 - Corrente indotta in un semispazio omogeneo

Del campo secondario sono considerate le componenti in quadratura e in fase rispetto al campo elettromagnetico trasmesso: la componente in quadratura (mS/m) è proporzionale allo sfasamento tra il campo primario e quello secondario e pertanto proporzionale alla conducibilità elettrica del sottosuolo; la componente in fase rispetto al campo primario, misurata in parti per migliaia (ppt), è generalmente indice della presenza di strutture metalliche (conduttive e suscettive) che amplificano notevolmente la risposta del sottosuolo. Le misure EM consentono di ottenere una risposta evidente sia dai metalli ferromagnetici che da quelli non-ferromagnetici (alluminio, ottone, piombo) ampliando le limitate capacità del semplice metodo magnetometrico MAG. Si possono così identificare oggetti metallici che abbiano perso le caratteristiche ferromagnetiche a causa di una lunga permanenza nel sottosuolo (come nel caso di ordigni inesplosi interrati da decine di anni).

Nel caso di bassi valori del numero di induzione, il rapporto tra la componente in quadratura del campo magnetico secondario e il campo magnetico primario può considerarsi direttamente proporzionale alla conducibilità elettrica apparente:

$$\left| \frac{H_s}{H_p} \right| \cong \frac{i\omega\mu_0\sigma s^2}{4} \quad (7)$$

La conducibilità apparente coinciderebbe con quella reale nel caso di un sottosuolo omogeneo e isotropo. Come detto sopra, la relazione (7) si considera valida per bassi valori del numero di induzione, ossia $\theta \ll 1$, dove il numero di induzione è definito come il rapporto tra la distanza che separa le due bobine dello strumento (r) e la skin depth (δ), ossia la distanza alla quale l'intensità del campo si è ridotta di $1/e$:

$$\theta = \frac{r}{\delta} = r \sqrt{\frac{\mu\omega\sigma}{2}} \quad (8)$$

3.1.1 Strumentazione utilizzata

Le indagini elettromagnetiche sono state realizzate con Profiler EMP 400, operante nel dominio della frequenza (FDEM), prodotto dalla casa costruttrice GSSI (figura 8); le misure sono state eseguite con orientazione verticale dei dipoli. Si tratta di uno strumento a induzione elettromagnetica multifrequenza di dimensioni e peso contenuto: rispettivamente 146 cm e 4.5 kg. E' dotato di un palmare wireless collegato tramite Bluetooth allo strumento stesso. Inoltre, un piccolo WASS GPS è integrato nel palmare, consentendo di ottenere rilievi georeferenziati di buona precisione. Lo strumento opera con frequenze che vanno da 1.000 Hz a 16.000 Hz, programmabili dall'operatore e le misure possono essere eseguite impiegando fino a tre frequenze simultanee. La configurazione dei dipoli può essere scelta tra la modalità orizzontale e verticale, per meglio rilevare anomalie nel sottosuolo presenti a differenti profondità. I dati acquisiti vengono rappresentati come componente in fase e in quadratura del campo magnetico secondario (in ppt), quest'ultima anche in unità proprie della conducibilità (mS/m).



Figura 15- Elettromagnetometro Profiler EMP 400.

Coil Spacing	1.21 m (4 ft)
Operational Bandwidth	1 kHz to 16 kHz
Memory	248.5 MB 180,000 continuous data points 360,000 discrete data points
Power	Re-chargeable Lithium Ion battery or 8 (eight) AA batteries
Data Transfer	Via Microsoft® Active Sync
Display	5.58 x 7.36 cm (2.2 x 2.9 in) color screen
Records 1 to 3 frequencies	Measurement values: In-phase: PPM Quadrature: PPM Conductivity: mS/m
Dimensions	1.46 m (L) x 24 cm (W) x 12.4 cm (H) 57.5" x 9.5" x 4.9"
Weight	4.535 kg, (9.9 lbs)
Environmental	Water Resistant

Tabella 5 - Specifiche tecniche Elettromagnetometro Profiler EMP 400.

 <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p>INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA GALLERIA</p>	<p>COMMESSA IF1W</p>	<p>LOTTO 00 D 69</p>	<p>CODIFICA IG</p>	<p>DOCUMENTO GE0005 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 25 di 67</p>

3.1.2 Acquisizione ed elaborazione dei dati elettromagnetici

L'attività di campo ha riguardato l'impiego della tecnica geofisica precedentemente descritta lungo profili di acquisizione definiti sulla base dei "target" da individuare, sulle condizioni logistiche del sito e sulle caratteristiche strumentali dell'apparecchiatura utilizzata. L'area esplorata è stata propriamente suddivisa in maglie di dimensioni variabili dipendenti dalle aree da ricoprire con le attività di misura per verificare la risposta strumentale in situazioni logistiche e di disturbo differenti. Le aree investigate sono state suddivise in maglie e spazzate con profili paralleli come riportato in figura 9.

**INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA
GALLERIA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 69	IG	GE0005 001	A	26 di 67

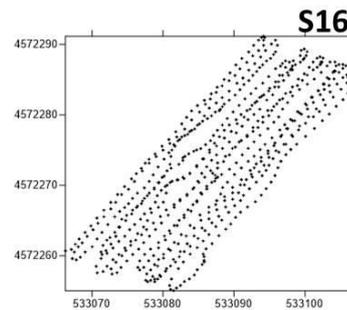
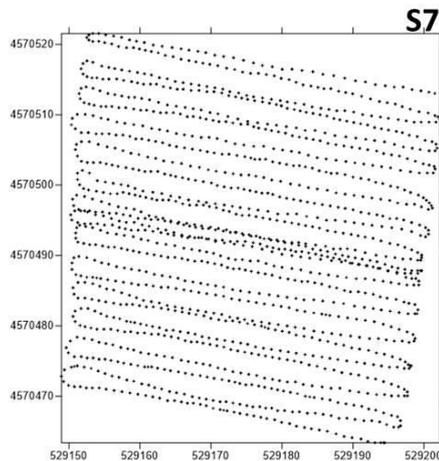
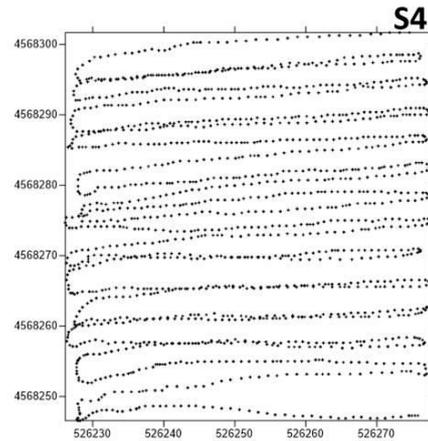
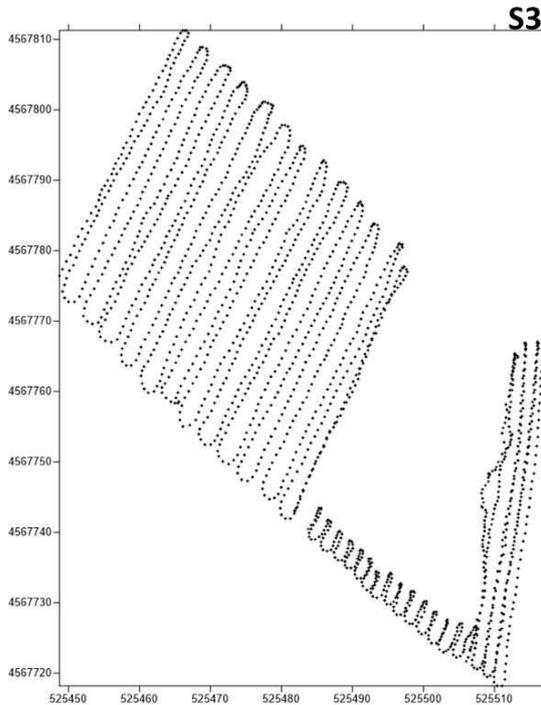


Figura 16 - Profili realizzati nelle maglie durante le attività di campo relative alla prospezione elettromagnetica.

La realizzazione delle misure è avvenuta seguendo un metodo diffuso per l'acquisizione speditiva di dati in assetto continuo, grazie ad un operatore che ha trasportato la strumentazione a spalla o con un'apposita impugnatura.

L'elettromagnetometro Profiler EMP 400 è stato configurato per acquisire dati con un intervallo di campionamento pari a 0.5 secondi; la configurazione dei dipoli scelta è di tipo verticale e ciò ha garantito per ogni frequenza selezionata la massima profondità di investigazione strumentale dichiarata dalla casa costruttrice. Le frequenze scelte sono state di: 1000 Hz e 10000 Hz. Le indagini geofisiche sono state georiferite acquisendo i dati con GPS incorporato e ubicando in coordinate metriche (UTM WGS84) i vertici dell'area investigata. Ciò ha determinato il posizionamento con precisione centimetrica degli estremi di ogni singolo profilo magnetico ed elettromagnetico osservato. Le attività sono state svolte senza alterare lo stato dei luoghi, conservando la morfologia delle aree investigate. In particolare, le aree di accumulo di materiale sversato sono state caratterizzate fisicamente in maniera indiretta e non invasiva. Nella figura 17 sono riportati momenti delle fasi di acquisizione dati di tipo elettromagnetico.

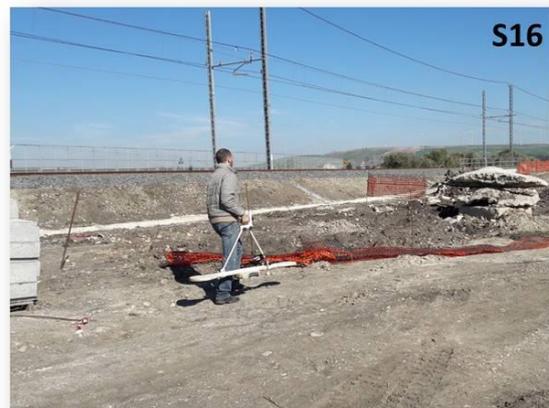


Figura 17 - Fasi di acquisizione dei dati elettromagnetici.

Nell'allegato grafico per ogni settore di territorio investigato sono riportate le mappe della componente in fase espresse in parti per migliaia (ppt) e della componente in quadratura, espressa in mS/m, per la frequenza di 10.000 Hz e 1000 Hz. Tali frequenze di operatività sono state considerate ottimali dato l'obiettivo del lavoro che ha riguardato la caratterizzazione fisica di una porzione di sottosuolo fino ad un massimo di circa 5 metri di profondità dal piano campagna.

Le mappe sono state leggermente elaborate e filtrate per migliorarne la visualizzazione e la forma, apparentemente distorta dal cosiddetto "effetto linea", ovvero un disturbo che si genera lungo i profili

	ITINERARIO NAPOLI – BARI RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA PROGETTO DEFINITIVO					
INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA GALLERIA	COMMESSA IF1W	LOTTO 00 D 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 001	REV. A	FOGLIO 29 di 67

di acquisizione durante la fase di misura. Per ogni sito esplorato le due mappe, mettono in evidenza anomalie tra esse molto spesso confrontabili.

Si precisa che per bassi valori del numero di induzione e in regime resistivo la componente in fase è proporzionale alla suscettività magnetica e risulta, pertanto, particolarmente sensibile alla presenza di corpi ferromagnetici; lo studio della componente in quadratura di fase, invece, è utile per identificare le aree a maggiore o minore resistività o conducibilità elettrica apparente; ciò consente di identificare la presenza di corpi conduttivi e/o resistivi, quali materiali metallici e/o scarti edilizi.

4. RISULTATI

4.1 Indagine sismica a rifrazione – ALLEGATO A

L'indagine sismica svolta ha consentito di ricostruire il quadro sismostratigrafico delle aree di interesse.

Imbocco Ovest: Le velocità riscontrate sono in linea con le litologie presenti nel sondaggio “BO-S3” ubicato tra le sue linee SRT 1 e SRT 2 (all'altezza del punto “B”), nel quale si rinvennero alternanze di calcareniti e marne fino ad una profondità di circa 20 m, oltre la quale si rinvennero calcareniti marnose molto consistenti. Si è scelto di discriminare questa interfaccia, associandola alle isolinee con velocità $V_P=3100$ m/s e $V_{SH}=1300$ m/s. Nella rappresentazione tridimensionale (tavole 6 e 7 dell'allegato), si riporta una isosuperficie a velocità costante ($V_P=3100$ m/s e $V_{SH}=1300$ m/s), che permette di visualizzare il passaggio ai terreni più consistenti.

**INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA
GALLERIA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 69	IG	GE0005 001	A	30 di 67

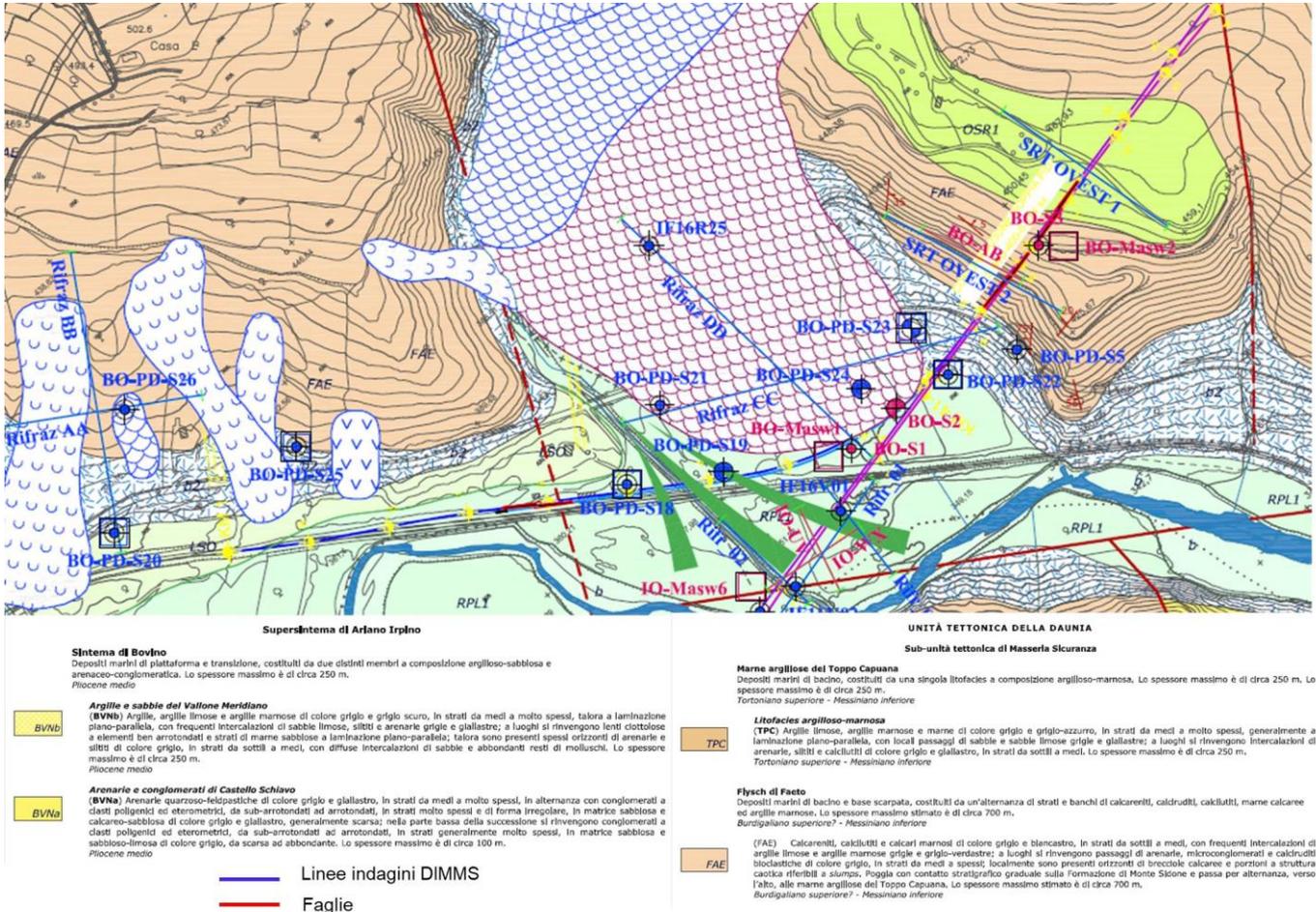


Figura 19 - Stralcio carta geologica imbocco Ovest 1:10000

Imbocco Est: Le velocità riscontrate sono in linea con le litologie presenti nei vicini sondaggi “BO-S7” e “BO-S8”. Nella SRT EST 1 si riscontra un livello a velocità sensibilmente maggiore rispetto al contesto dell’area Est, ad una profondità superiore ai 70 m (tavola 9 dell’allegato). Da bibliografia la “Litofacies argilloso-limosa (ASP)” in quest’area risulta avere uno spessore ben oltre i 70 m; tale livello ad alta velocità, associabile comunque ad una litofacies litoide, potrebbe quindi coincidere con la presenza di un orizzonte conglomeratico, così come descritto nella carta geologica (ASP) in figura 12.

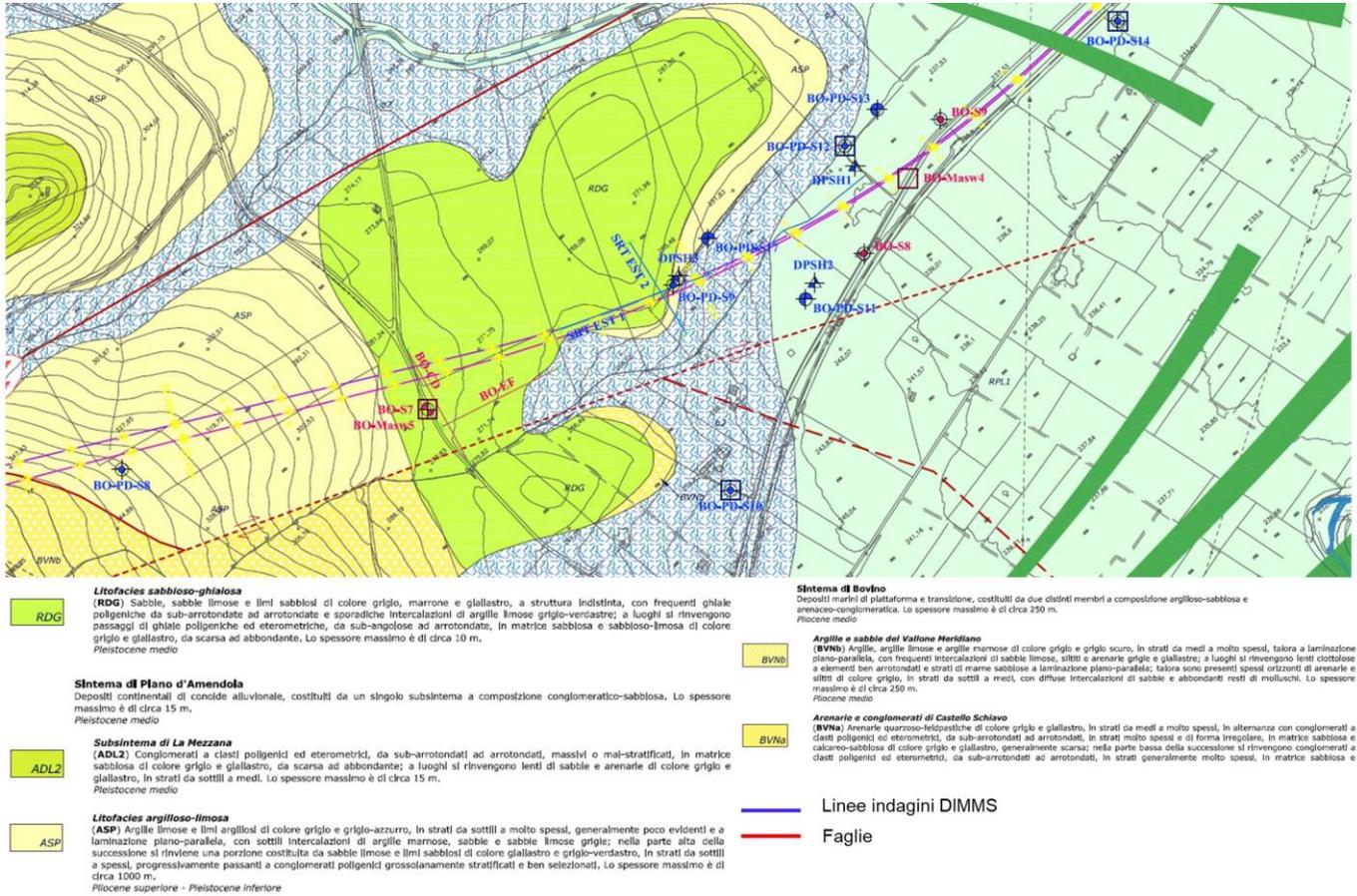


Figura 20 - Stralcio carta geologica imbocco Est 1:10000

4.2 Indagine Sismica a riflessione – ALLEGATO B

Le indagini eseguite hanno consentito di ottenere un quadro dettagliato degli assetti geologico strutturali della zona in esame. Tutte le indagini hanno avuto opportuna calibrazione mediante il confronto con le stratigrafie delle indagini geognostiche. Con riferimento alla tavola 3, l'indagine rivela la presenza di una struttura inclinata immergente da est a ovest. Sono state inoltre riscontrate delle modeste coperture caratterizzate da una bassa riflettività con spessori variabili tra 6 m sui fianchi della vallata e circa 10 m a valle.

4.3 Indagine elettromagnetica – ALLEGATO C

Nell'allegato grafico sono riportate, per ogni sito di indagine, quattro mappe relative a:

- misure della componente in quadratura del campo EM, espressa in termini di conducibilità elettrica (in mS/m), per le frequenze operative di 10 KHz e 1 KHz;
- misure della componente in fase (in ppt) del campo EM per le frequenze operative di 10 KHz e 1 KHz.

Nel seguito sono descritti in dettaglio i risultati ottenuti per ogni porzione di territorio investigato.

- Area di indagine relativa al sondaggio BO-PD-S3 (tavola 1): le mappe della componente in quadratura mostrano delle aree con valori negativi di conducibilità elettrica, ascrivibili alla presenza diffusa di materiale con elevata percentuale di componente ferrosa; le stesse aree nelle due mappe di componente in fase sono caratterizzate da elevati contrasti nei valori della suddetta componente. Tali aree, come mostrato nell'allegato grafico, non sono localizzate in prossimità del sondaggio BO-PD-S3;
- Area di indagine relativa al sondaggio BO-PD-S4 e BO-PD-S7 (tavole 2 e 3): le mappe elettromagnetiche sia della componente in quadratura che della componente in fase non presentano anomalie di conducibilità riconducibili a presenza di materiale metallico nel sottosuolo.
- Area di indagine relativa al sondaggio BO-PD-S16 (tavola 4): le mappe elettromagnetiche per entrambe le frequenze operative mostrano delle aree, evidenziate nell'allegato grafico, per le quali i valori negativi di conducibilità elettrica e gli elevati contrasti nei valori della componente in fase suggeriscono la probabile presenza di materiale metallico. In questo caso, tali aree sono localizzate in prossimità del sondaggio S16 per il quale si consiglia un diverso posizionamento.

APPENDICE I – Geometria d'indagine della sismica a riflessione

			UTM WGS84		
Metri	Geofoni	Shot file Stack seg 2	Est	Nord	Quote (m)
-72.5		-7	527370.9	4569633	629.63
-62.5		-6	527379.5	4569636	632.034
-52.5		-5	527388.1	4569641	634.6
-42.5		-4	527396.5	4569646	636.516
-32.5		-3	527404.4	4569651	636.129
-22.5		-2	527412.7	4569657	633.118
-12.5		-1	527420.8	4569661	629.736
-2.5		0	527427.8	4569664	622.948
0	1		527430.1	4569666	622.477
2.5					
5	2		527434.3	4569668	621.299
7.5		2	527436.3	4569669	620.728
10	3		527438.5	4569671	620.088
12.5					
15	4		527442.3	4569673	618.621
17.5		4	527444.3	4569674	617.855
20	5		527446.5	4569676	617.029
22.5					
25	6		527450.5	4569678	615.605
27.5		6	527452.5	4569680	614.71
30	7		527454.6	4569680	613.924
32.5					
35	8		527458.6	4569683	612.218

**INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA
GALLERIA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 69	IG	GE0005 001	A	34 di 67

37.5		8	527460.4	4569685	611.396
40	9		527462.6	4569685	610.681
42.5					
45	10		527466.6	4569688	609.137
47.5		10	527468.9	4569689	608.431
50	11		527471	4569691	607.888
52.5					
55	12		527475.3	4569693	606.862
57.5		12	527477.4	4569694	606.545
60	13		527479.3	4569696	605.562
62.5					
65	14		527482.7	4569698	602.198
67.5		14	527484.6	4569699	600.873
70	15		527486.3	4569700	600.041
72.5					
75	16		527489.9	4569703	598.445
77.5		16	527491.7	4569704	598.16
80	17		527494	4569705	597.547
82.5					
85	18		527498.2	4569708	596.441
87.5		18	527500.1	4569709	595.878
90	19		527502.3	4569711	595.255
92.5					
95	20		527506.4	4569713	594.114
97.5		20	527508.4	4569714	593.579
100	21		527510.5	4569716	592.963
102.5					
105	22		527514.7	4569718	591.853
107.5		22	527516.8	4569720	591.434

**INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA
GALLERIA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 69	IG	GE0005 001	A	35 di 67

110	23		527518.9	4569721	590.874
112.5					
115	24		527522.8	4569724	589.699
117.5		24	527525	4569725	589.257
120	25		527526.9	4569726	588.624
122.5					
125	26		527531	4569729	587.549
127.5		26	527532.9	4569730	587.059
130	27		527535.1	4569732	586.402
132.5					
135	28		527539.2	4569734	585.413
137.5		28	527541.2	4569736	584.956
140	29		527543.4	4569737	584.458
142.5					
145	30		527547.5	4569740	583.525
147.5		30	527549	4569740	583.267
150	31		527550.9	4569742	582.616
152.5					
155	32		527555	4569745	581.557
157.5		32	527556.8	4569746	580.945
160	33		527558.9	4569747	580.448
162.5					
165	34		527563	4569750	579.236
167.5		34	527565.2	4569751	578.783
170	35		527567.2	4569753	578.154
172.5					
175	36		527571.2	4569756	576.981
177.5		36	527573.1	4569757	576.492
180	37		527575	4569758	575.877

**INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA
GALLERIA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 69	IG	GE0005 001	A	36 di 67

182.5					
185	38		527579.1	4569761	574.611
187.5		38	527581.1	4569762	573.981
190	39		527583	4569764	573.434
192.5					
195	40		527587	4569767	572.204
197.5		40	527589.2	4569768	571.541
200	41		527590.9	4569769	571.02
202.5					
205	42		527595	4569772	569.83
207.5		42	527596.9	4569774	569.23
210	43		527598.9	4569775	568.715
212.5					
215	44		527602.7	4569778	567.641
217.5		44	527604.8	4569780	567.188
220	45		527606.8	4569781	566.914
222.5					
225	46		527610.6	4569784	566.215
227.5		46	527612.4	4569786	565.678
230	47		527614.7	4569787	565.552
232.5					
235	48		527618.7	4569789	563.466
237.5		48	527620.9	4569791	562.177
240	49		527623.2	4569792	561.839
242.5					
245	50		527627.5	4569793	561.465
247.5		50	527629.4	4569794	559.634
250	51		527631.6	4569796	559.123
252.5					

**INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA
GALLERIA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 69	IG	GE0005 001	A	37 di 67

255	52		527635.4	4569798	558.141
257.5		52	527637.5	4569800	557.999
260	53		527639.5	4569801	557.887
262.5					
265	54		527643.7	4569804	557.737
267.5		54	527645.7	4569806	557.838
270	55		527647.6	4569807	557.695
272.5					
275	56		527651.8	4569810	557.574
277.5		56	527653.8	4569811	557.641
280	57		527656	4569813	557.414
282.5					
285	58		527660.1	4569815	557.153
287.5		58	527662	4569817	557.181
290	59		527664.1	4569819	557.058
292.5					
295	60		527668.5	4569821	556.459
297.5		60	527670.7	4569822	556.207
300	61		527672.8	4569823	556.027
302.5					
305	62		527677.2	4569826	555.68
307.5		62	527678.8	4569828	556.168
310	63		527681.4	4569829	556.189
312.5					
315	64		527685.8	4569831	556.018
317.5		64	527687.4	4569833	556.114
320	65		527689.9	4569833	556.098
322.5					
325	66		527694.5	4569836	556.019

**INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA
GALLERIA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 69	IG	GE0005 001	A	38 di 67

327.5		66	527696.8	4569836	556.303
330	67		527698.6	4569838	556.537
332.5					
335	68		527703	4569841	557.609
337.5		68	527705.2	4569842	558.227
340	69		527707	4569843	558.621
342.5					
345	70		527711.4	4569846	559.304
347.5		70	527713.8	4569847	559.57
350	71		527715.5	4569849	559.685
352.5					
355	72		527719.7	4569851	560.351
357.5		72	527721.9	4569852	560.845
360	73		527723.9	4569854	561.374
362.5					
365	74		527727.9	4569856	562.473
367.5		74	527730	4569858	563.203
370	75		527732.1	4569859	563.855
372.5					
375	76		527736.3	4569862	565.013
377.5		76	527738.3	4569863	565.629
380	77		527740.5	4569864	566.232
382.5					
385	78		527744.4	4569867	567.38
387.5		78	527746.5	4569868	568.193
390	79		527748.5	4569869	568.704
392.5					
395	80		527752.4	4569872	570.258
397.5		80	527754.4	4569873	571.191

**INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA
GALLERIA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 69	IG	GE0005 001	A	39 di 67

400	81		527756	4569875	571.901
402.5					
405	82		527760.3	4569877	573.439
407.5		82	527762.3	4569878	574.169
410	83		527764.3	4569880	574.84
412.5					
415	84		527768.3	4569882	576.601
417.5		84	527770.1	4569883	577.762
420	85		527772.2	4569885	578.535
422.5					
425	86		527776	4569887	580.529
427.5		86	527777.9	4569888	581.486
430	87		527780	4569890	582.265
432.5					
435	88		527783.9	4569892	583.936
437.5		88	527785.9	4569894	584.73
440	89		527787.9	4569895	585.481
442.5					
445	90		527791.9	4569897	586.968
447.5		90	527793.9	4569899	587.682
450	91		527795.7	4569900	588.318
452.5					
455	92		527799.6	4569903	589.401
457.5		92	527801.6	4569904	590.499
460	93		527803.7	4569905	591.254
462.5					
465	94		527807.7	4569908	592.625
467.5		94	527809.8	4569909	593.29
470	95		527811.7	4569911	593.926

**INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA
GALLERIA**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 69	IG	GE0005 001	A	40 di 67

472.5					
475	96		527815.8	4569914	595.266
477.5		96	527818.3	4569915	595.908
487.5		97	527825.9	4569920	597.967
497.5		98	527834	4569926	600.047
507.5		99	527842.3	4569931	601.736
517.5		100	527850.3	4569937	603.439
527.5		101	527858.4	4569943	605.212
537.5		102	527866.5	4569948	607.002
547.5		103	527874.6	4569953	608.916

Tabella I – Geometria di indagine.

ALLEGATI

ALLEGATI SISMICA A RIFRAZIONE (SRT)



Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.

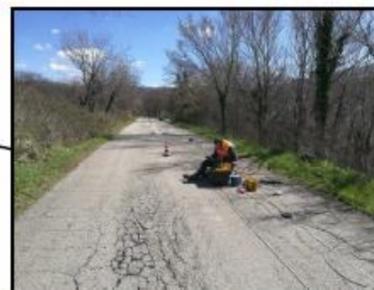
Committente

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Indagine:
SRT

Tavola: 1
Ubicazione linee
indagine SRT
Imbocco Ovest

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi





Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.



Indagine:
SRT
Data esecuzione:
13-14/03/2018

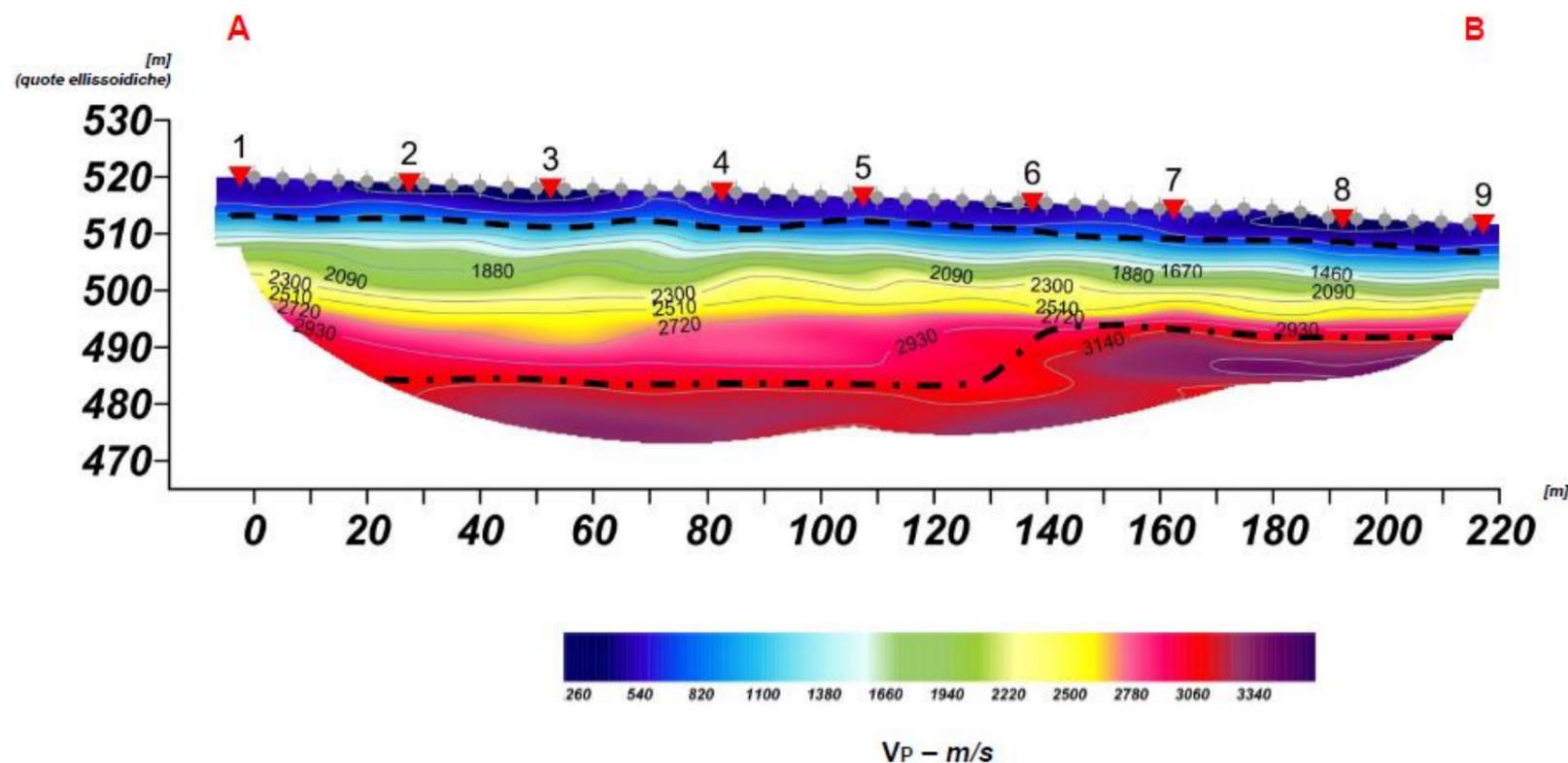
Tavola: 2
SRT OVEST 1
ONDA P

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi

COORDINATE SRT OVEST 1

	LATITUDINE	LONGITUDINE
SRT OVEST 1 – A	41°14'48.27"N	15°16'58.98"E
SRT OVEST 1 – B	41°14'44.61"N	15°17'07.21"E

--- Limite tra terreni ghiaioso - sabbioso e alternanza di calcareniti e marna
- · - Limite tra alternanza di calcareniti e marna e calcareniti marnose molto consistenti





Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.

Committente


Indagine:
SRT
Data esecuzione:
13-14/03/2018

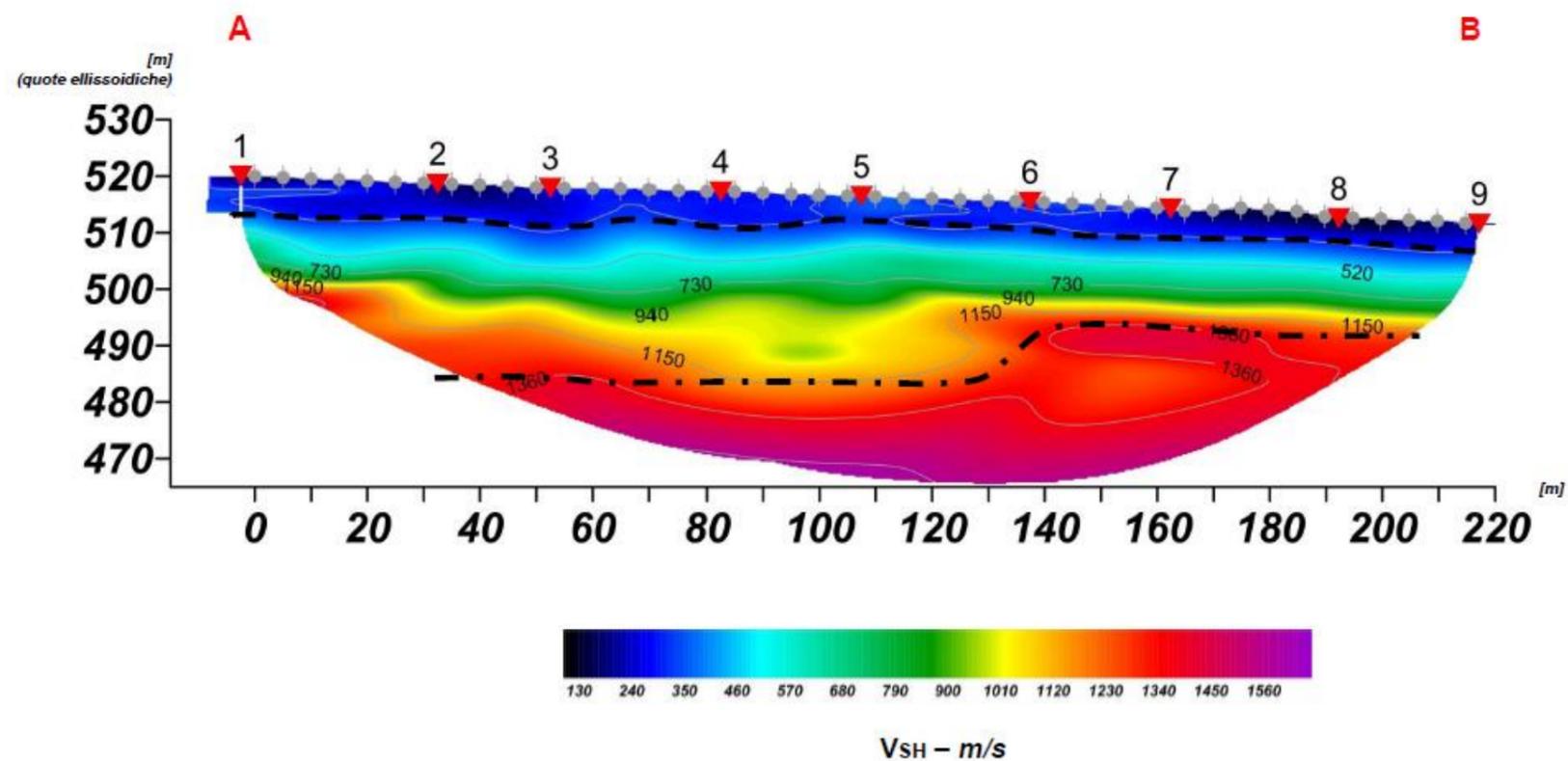
Tavola: 3
SRT OVEST 1
ONDA SH

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi

COORDINATE SRT OVEST 1

	LATITUDINE	LONGITUDINE
SRT OVEST 1 – A	41°14'48.27"N	15°16'58.98"E
SRT OVEST 1 – B	41°14'44.61"N	15°17'07.21"E

--- Limite tra terreni ghiaioso - sabbioso e alternanza di calcareniti e mame
- - - Limite tra alternanza di calcareniti e mame e calcareniti marnose molto consistenti





Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.

Committente

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Indagine:
SRT
Data esecuzione:
13-14/03/2018

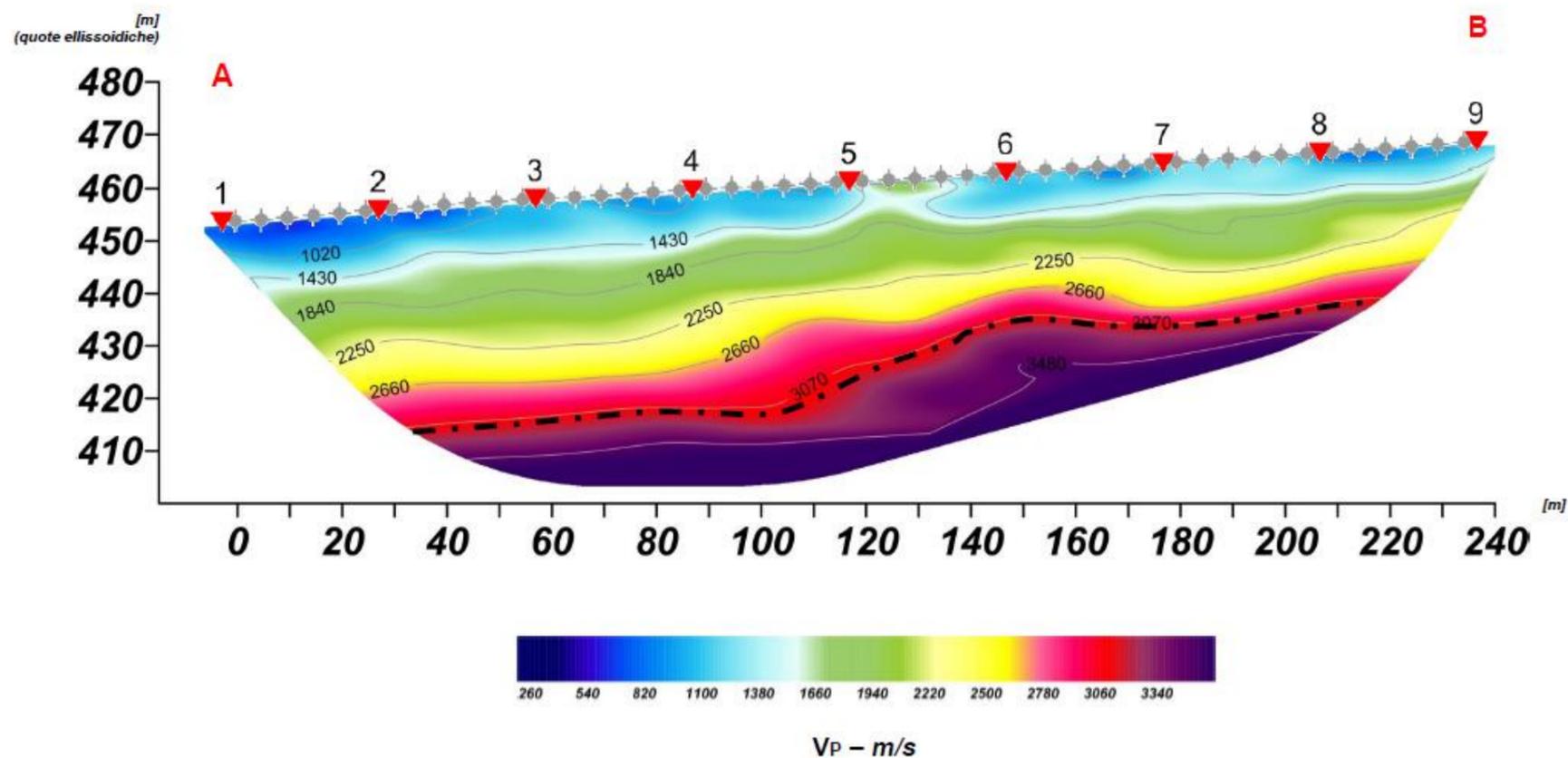
Tavola: 4
SRT OVEST 2
ONDA P

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi

COORDINATE SRT OVEST 2

	LATITUDINE	LONGITUDINE
SRT OVEST 2 – A	41°14'43.64"N	15°22'32.14"E
SRT OVEST 2 – B	41°14'39.88"N	15°17'03.41"E

--- Limite tra terreni ghiaioso - sabbioso e alternanza di calcareniti e marne
- · - Limite tra alternanza di calcareniti e marne e calcareniti marnose molto consistenti





Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.

Committente


Indagine:
SRT

Data esecuzione:
13-14/03/2018

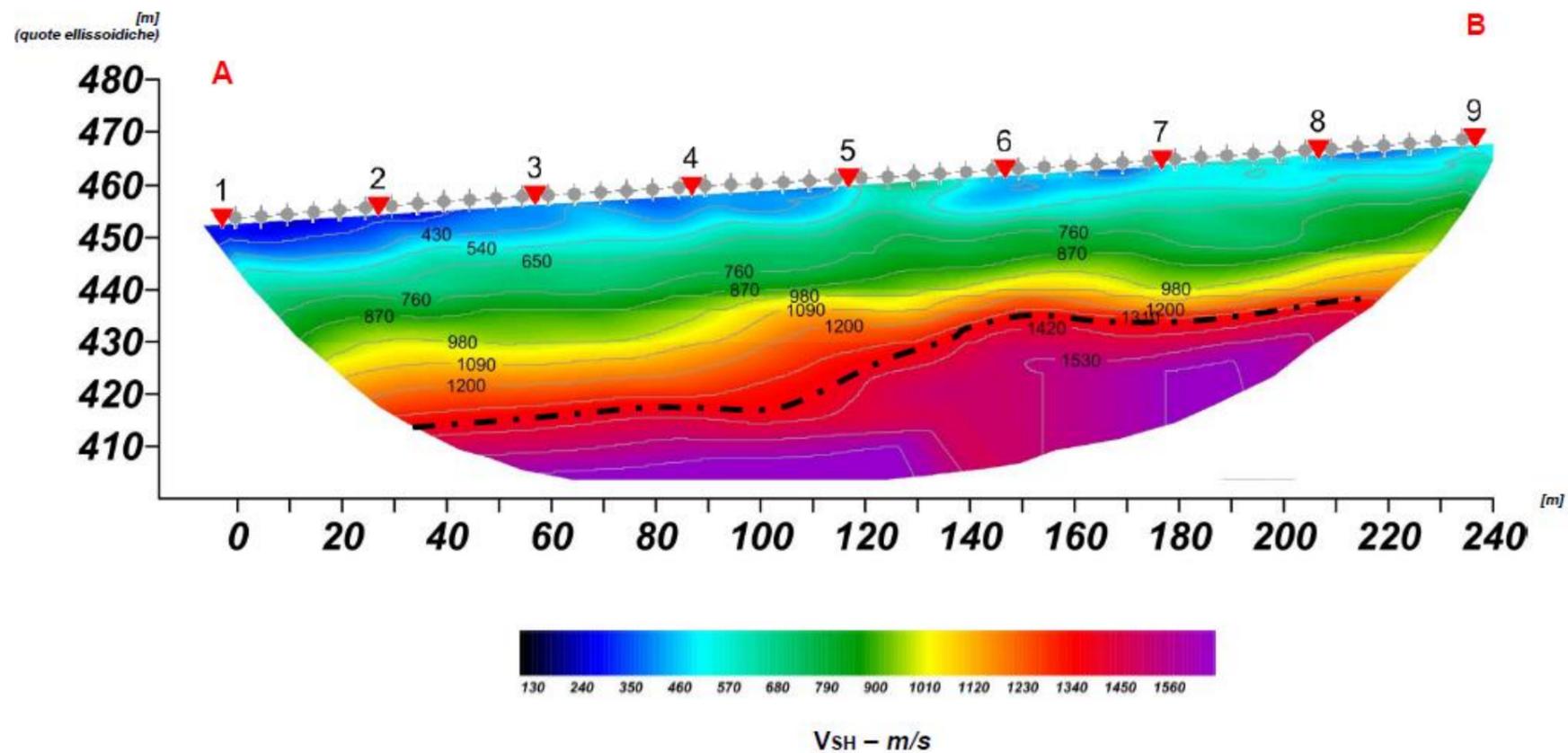
Tavola: 5
SRT OVEST 2
ONDA SH

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi

COORDINATE SRT OVEST 2

	LATITUDINE	LONGITUDINE
SRT OVEST 2 – A	41°14'43.64"N	15°22'32.14"E
SRT OVEST 2 – B	41°14'39.88"N	15°17'03.41"E

--- Limite tra terreni ghiaioso - sabbioso e alternanza di calcareniti e mame
- - - Limite tra alternanza di calcareniti e mame e calcareniti marnose molto consistenti





Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.

Committente

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

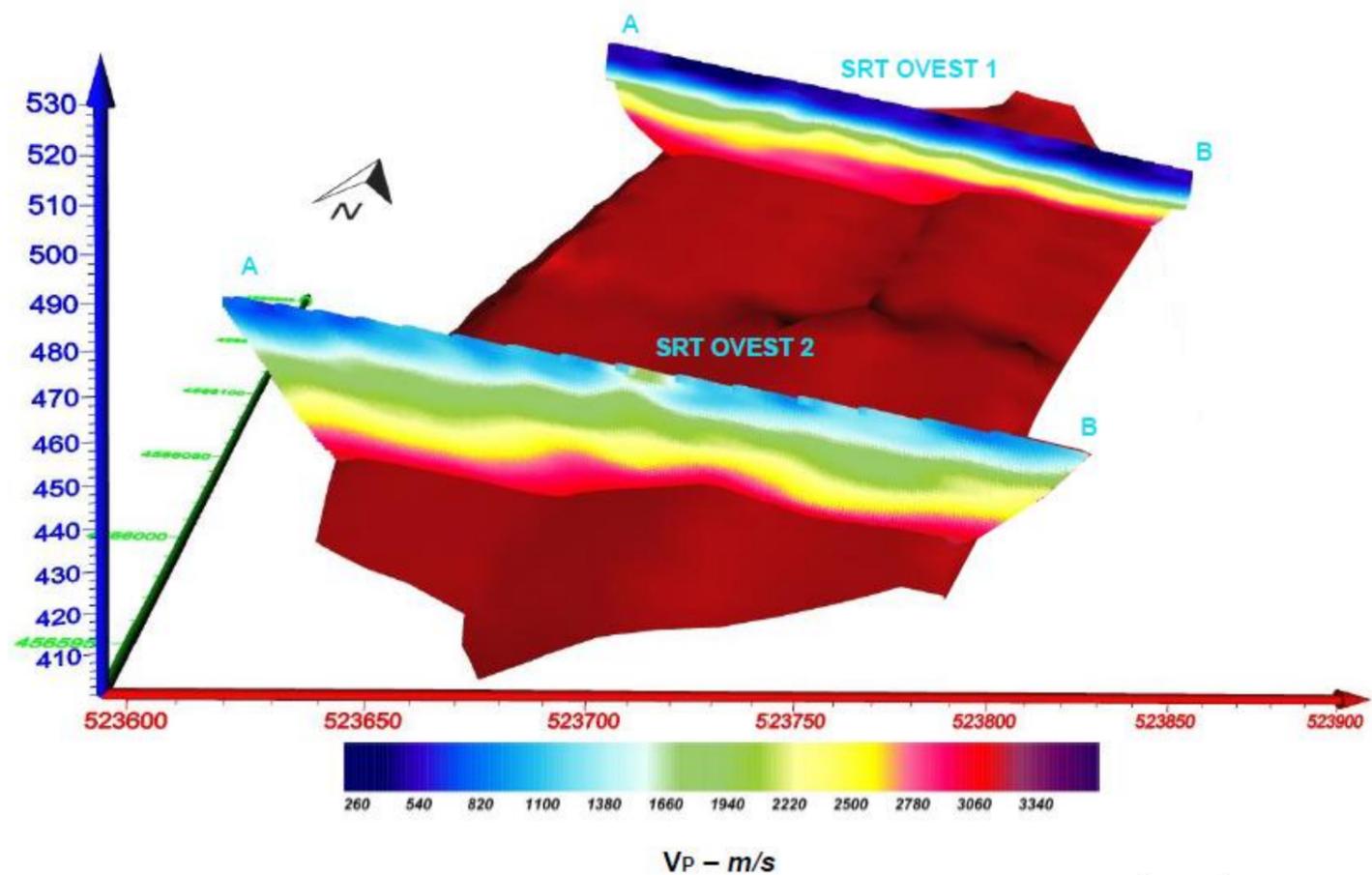
Indagine:
SRT

Data esecuzione:
13-14/03/2018

Tavola: 6
Indagine SRT
Imbocco Ovest
Onda P
Rappresentazione 3D

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi

 Isosuperficie $V_p=3100$ m/s;
Limite tra alternanza di calcareniti e marni e calcareniti marnose molto consistenti





Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.

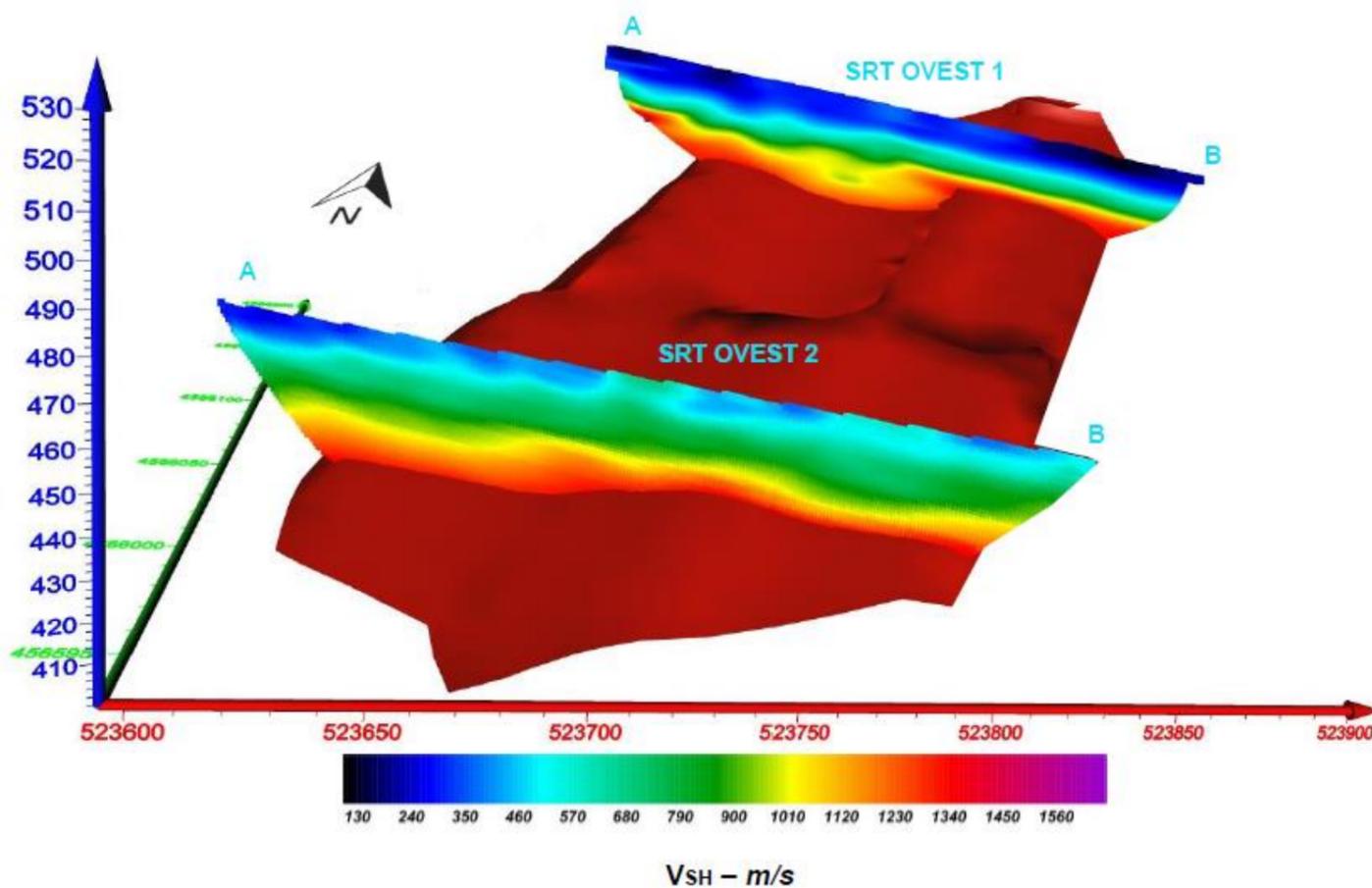
Committente
 ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Indagine:
SRT
Data esecuzione:
13-14/03/2018

Tavola: 7
Indagine SRT
Imbocco Ovest
Onda SH
Rappresentazione 3D

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi

 Isosuperficie $V=3100$ m/s;
Limite tra alternanza di calcareniti e marne e calcareniti marnose molto consistenti





Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.

Committente

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Indagine:
SRT

Tavola: 8
Ubicazione linee
indagine SRT
Imbocco Est

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi





Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.



Indagine:
SRT

Data esecuzione:
4-6/12/2017

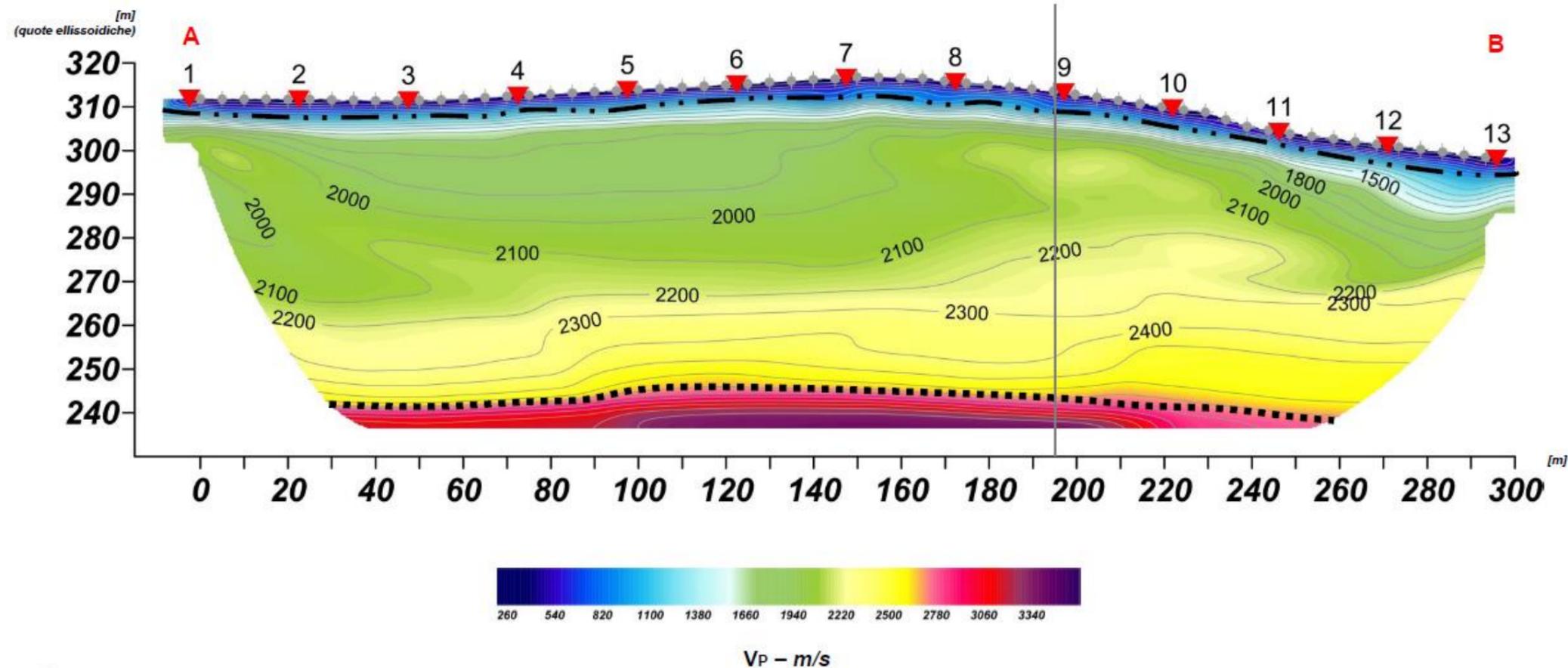
Tavola: 9
SRT EST 1
ONDA P

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi

COORDINATE SRT EST 1

	LATITUDINE	LONGITUDINE
SRT EST 1 - A	41°17'25.85"N	15°22'32.14"E
SRT EST 1 - B	41°17'30.00"N	15°22'43.84"E

- · · · Limite tra limi argillosi debolmente sabbiosi - argille limose
- · · · · · Limite tra argille limose e litofacies litoide
- Incrocio tra SRT EST 1 e SRT EST 2





Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.

Committente
ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Indagine:
SRT

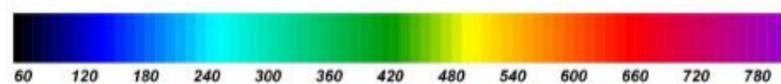
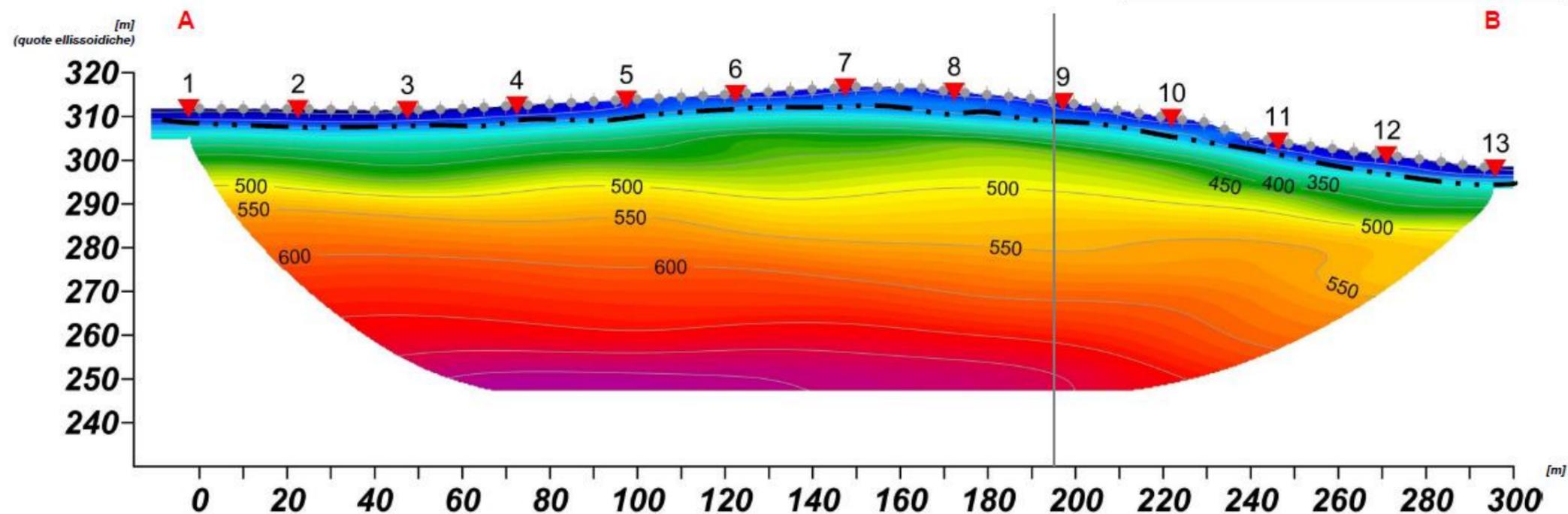
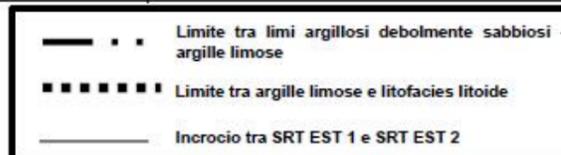
Data esecuzione:
4-6/12/2017

Tavola: 10
SRT EST 1
ONDA SH

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi

COORDINATE SRT EST 1

	LATITUDINE	LONGITUDINE
SRT EST 1 – A	41°17'25.85"N	15°22'32.14"E
SRT EST 1 – B	41°17'30.00"N	15°22'43.84"E



VSH – m/s



Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.

Committente

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Indagine:
SRT

Data esecuzione:
15/03/2018

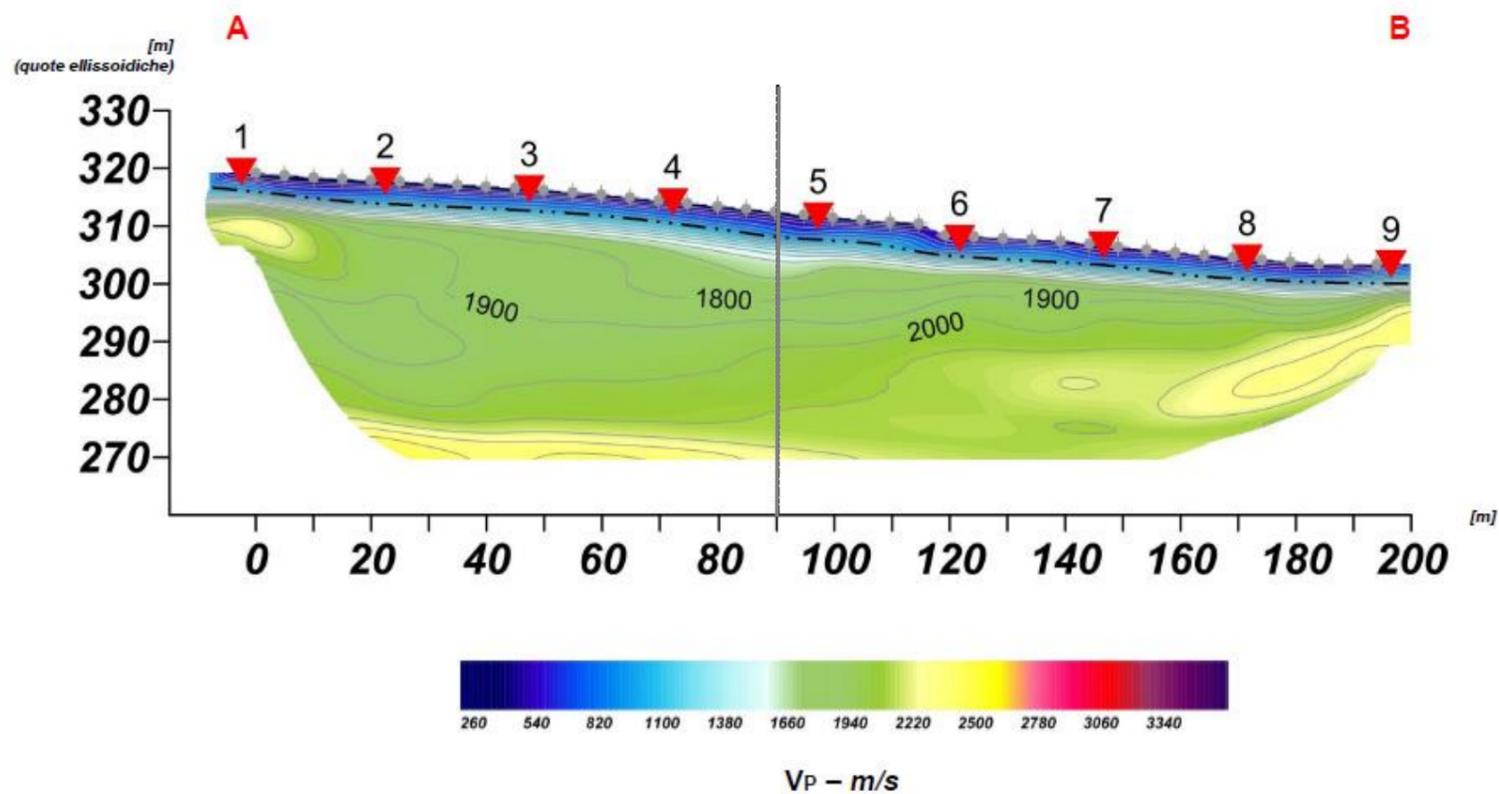
Tavola: 11
SRT EST 2
ONDA P

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi

COORDINATE SRT EST 2

	LATITUDINE	LONGITUDINE
SRT EST 2 – A	41°17'31.10"N	15°22'37.74"E
SRT EST 2 – B	41°17'25.54"N	15°22'42.23"E

	Limite tra limi argillosi debolmente sabbiosi - argille limose
	Limite tra argille limose e litofacies litoide
	Incrocio tra SRT EST 1 e SRT EST 2





Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.

Committente

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Indagine:
SRT

Data esecuzione:
15/03/2018

Tavola: 12
SRT EST 2
ONDA SH

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi

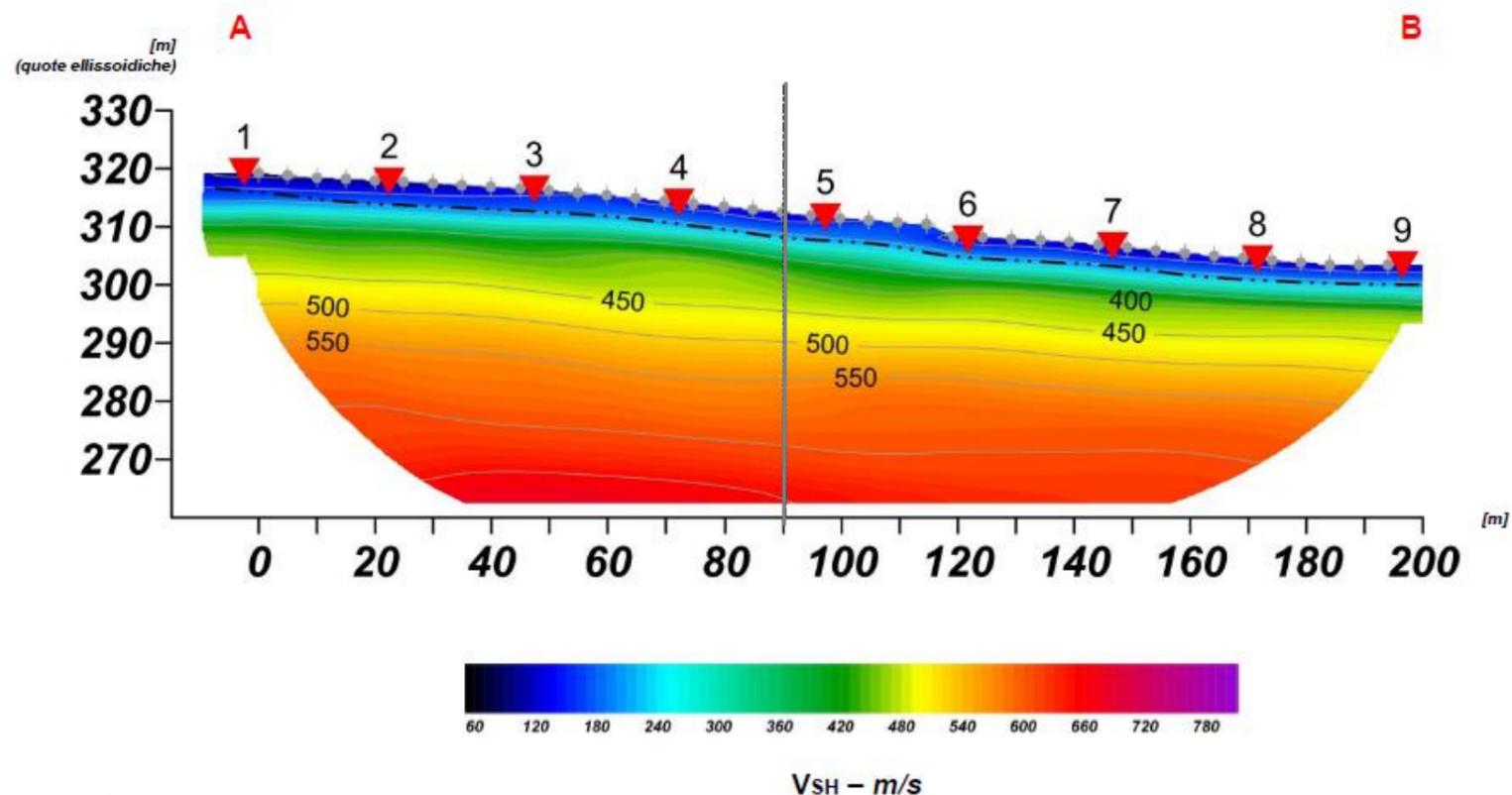
COORDINATE SRT EST 2

	LATITUDINE	LONGITUDINE
SRT EST 2 – A	41°17'31.10"N	15°22'37.74"E
SRT EST 2 – B	41°17'25.54"N	15°22'42.23"E


 Limite tra limi argillosi debolmente sabbiosi - argille limose

 Limite tra argille limose e litofacies litoide

 Incrocio tra SRT EST 1 e SRT EST 2





Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite
sulla galleria.

Committente

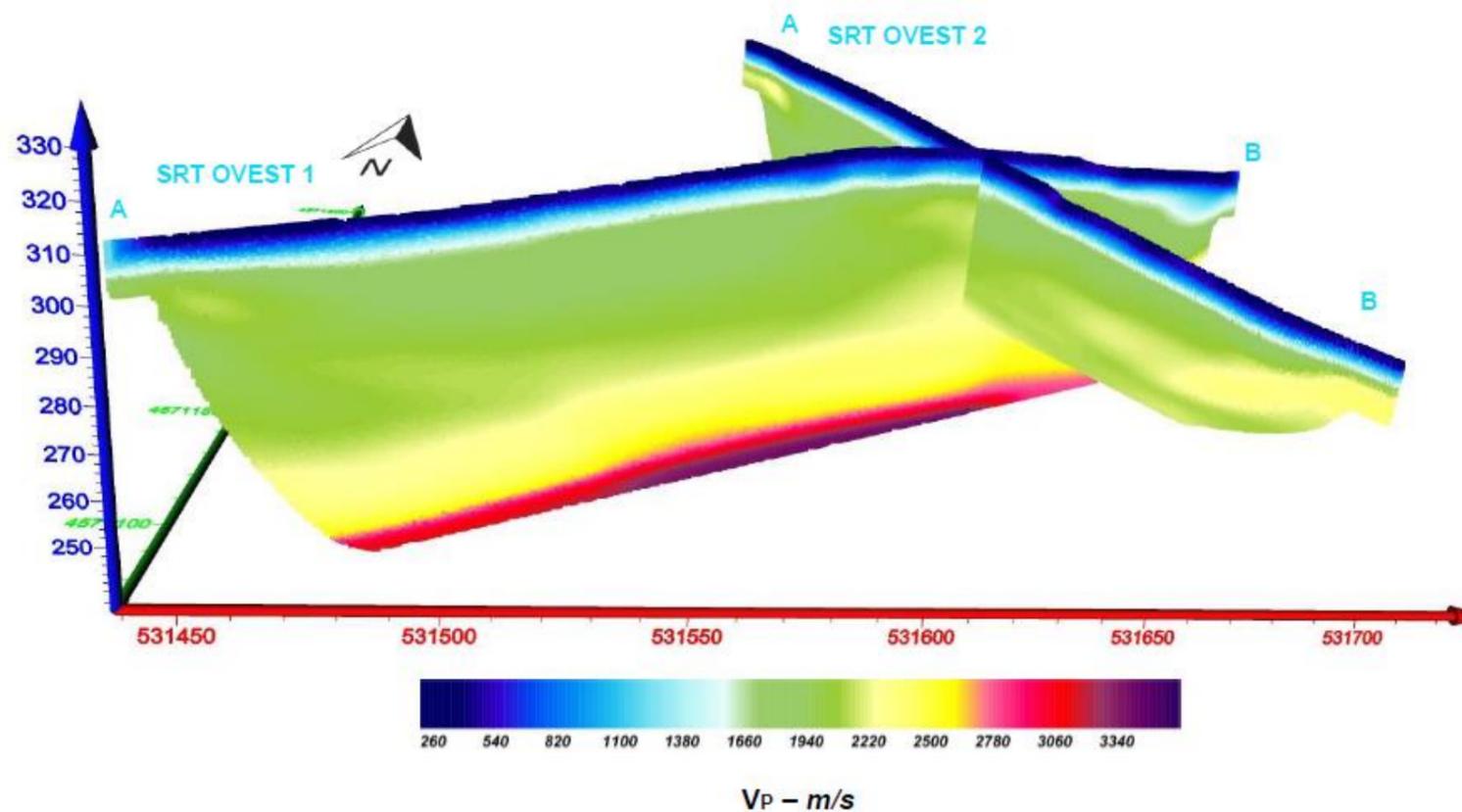
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Indagine:
SRT

**Data
esecuzione:**
15/03/2018

Tavola: 13
Indagine SRT
Imbocco Est
Onda P
Rappresentazione 3D

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi





Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite sulla galleria.

Committente

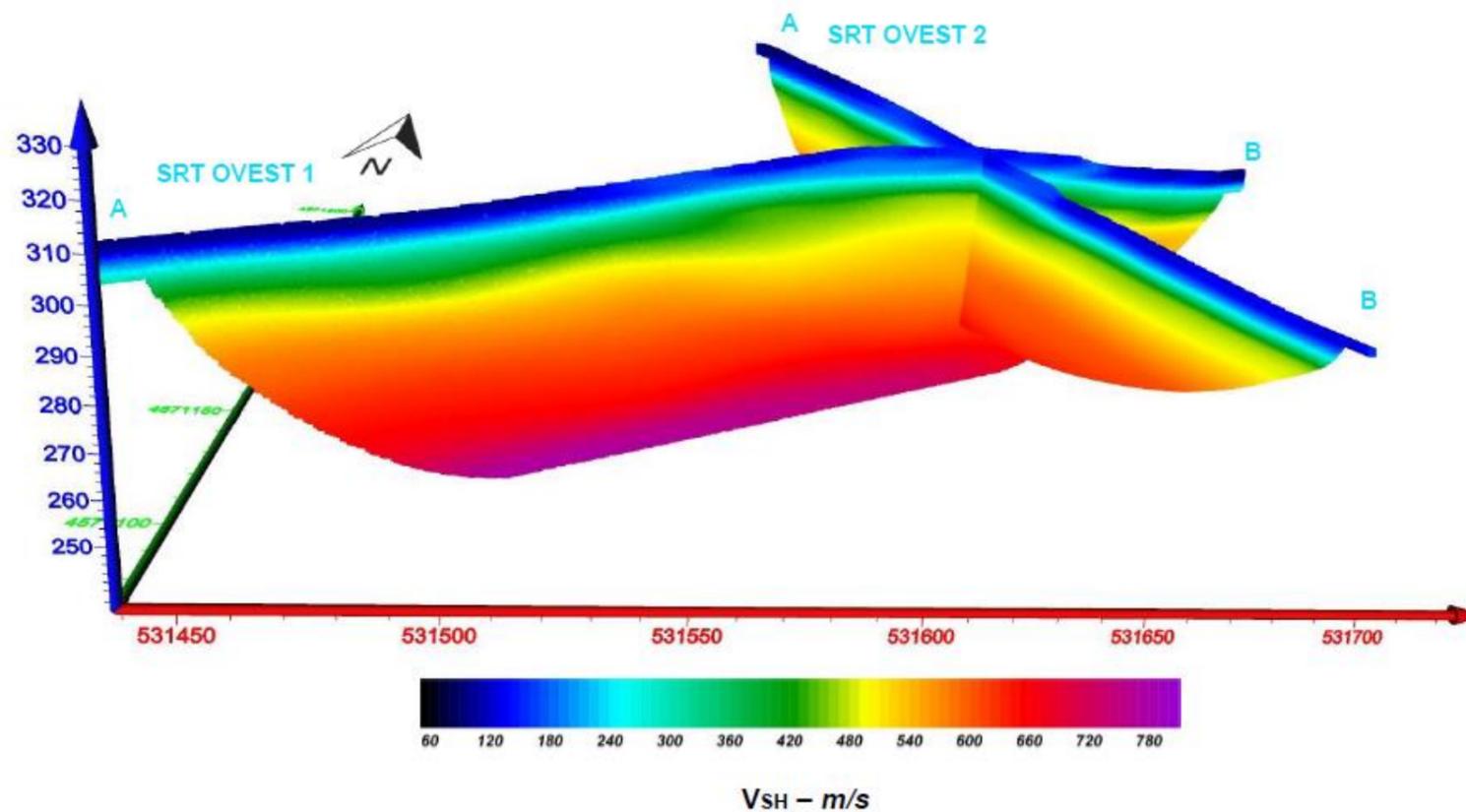
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Indagine:
SRT

Data esecuzione:
15/03/2018

Tavola: 14
Indagine SRT
Imbocco Est
Onda SH
Rappresentazione 3D

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi



ALLEGATI SISMICA A RIFLESSIONE

Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite
sulla galleria.

Committente


Indagine:
Sismica a
riflessione/rifrazione
Data esecuzione:
23-25/04/2018

Tavola: 1
Inquadramento

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi



 Array geofoni

 Offsett esterni



ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA
PROGETTO DEFINITIVO

INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA
GALLERIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 69	IG	GE0005 001	A	59 di 67

Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite
sulla galleria.

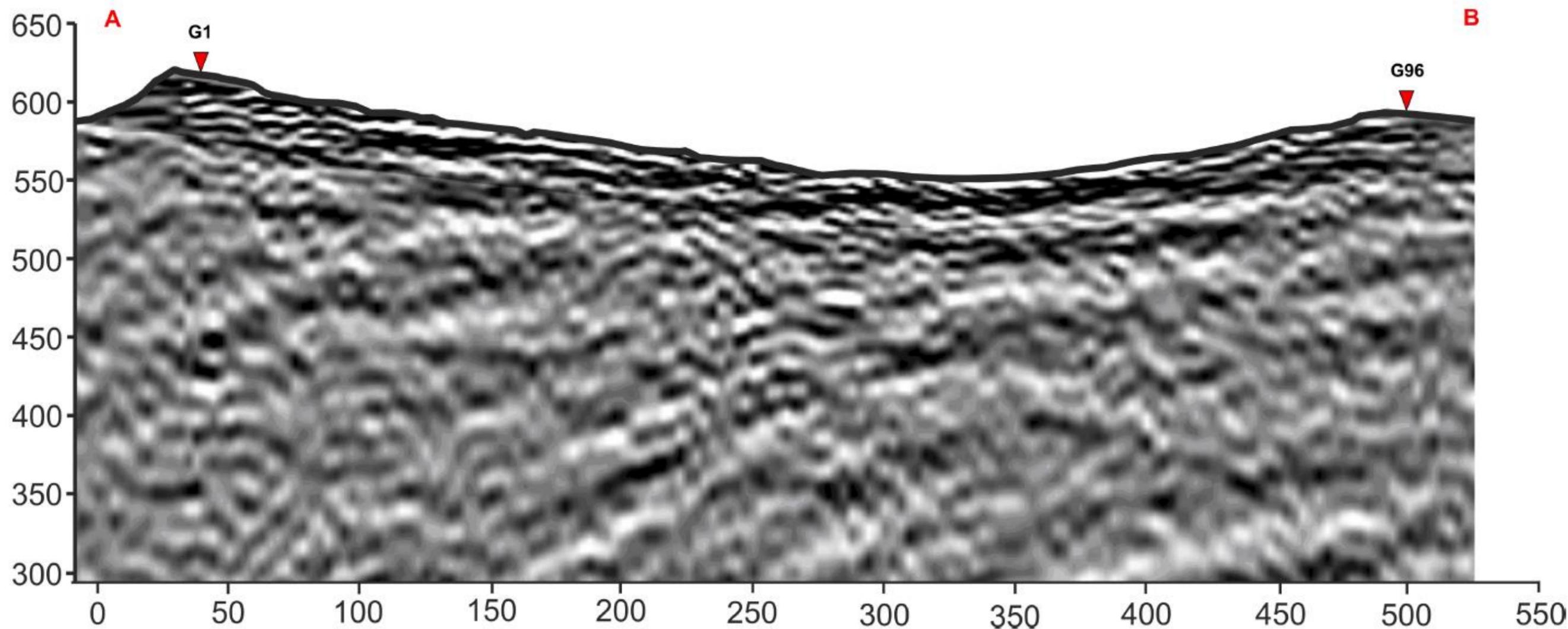
Committente



Indagine:
Sismica a
riflessione/rifrazione
Data esecuzione:
23-25/04/2018

Tavola: 2
Sezione sismica a
riflessione

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi



Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite
sulla galleria.

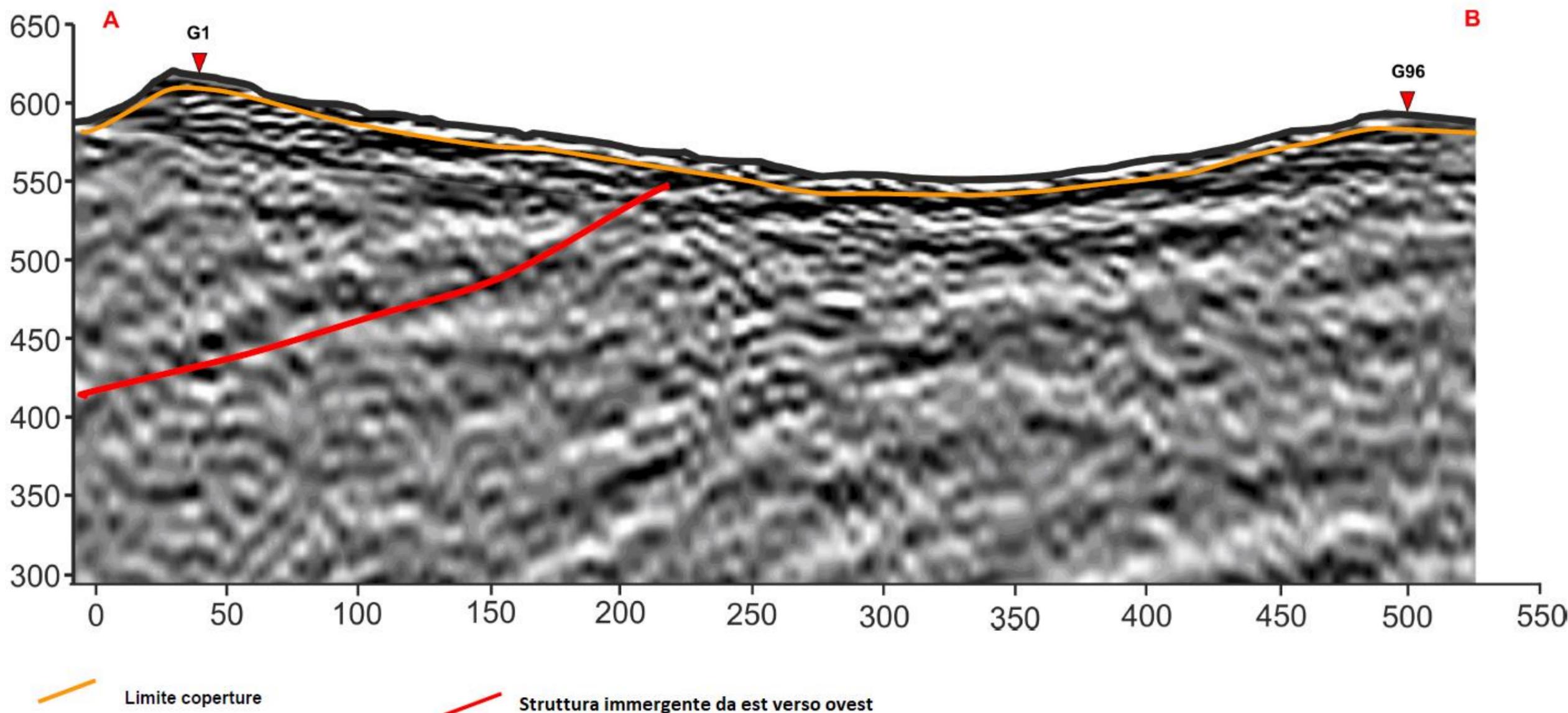
Committente

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

Indagine:
Sismica a
riflessione/rifrazione
Data esecuzione:
23-25/04/2018

Tavola: 3
Sezione sismica a
riflessione con lineamenti
strutturali

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi





ITINERARIO NAPOLI – BARI
RADDOPPIO TRATTA BOVINO - ORSARA
PROGETTO DEFINITIVO

INDAGINI GEOFISICHE ESEGUITE SULLA
GALLERIA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IF1W	00 D 69	IG	GE0005 001	A	61 di 67

Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite
sulla galleria.

Committente

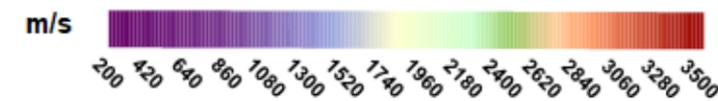
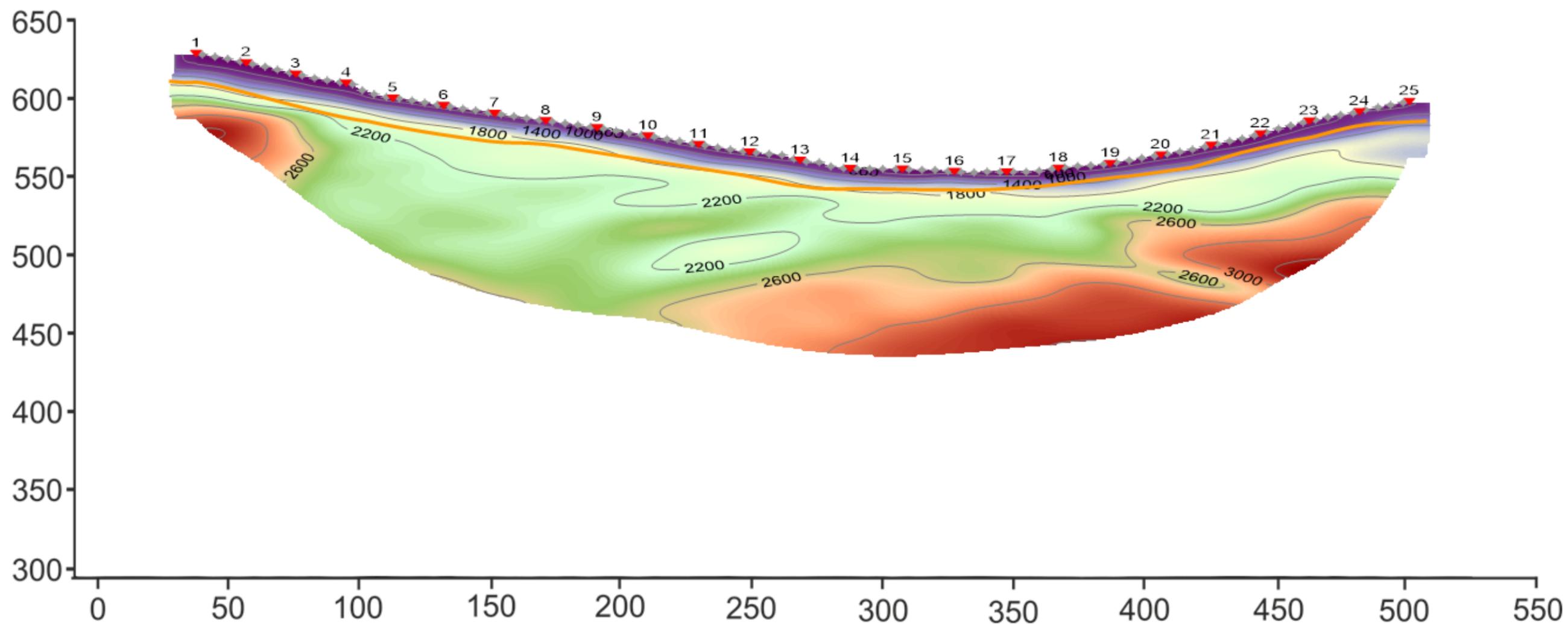


Indagine:
Sismica a
riflessione/rifrazione

Data esecuzione:
23-25/04/2018

Tavola: 4
Sezione sismica a rifrazione

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi



Lavoro:
Indagini geofisiche eseguite
sulla galleria.

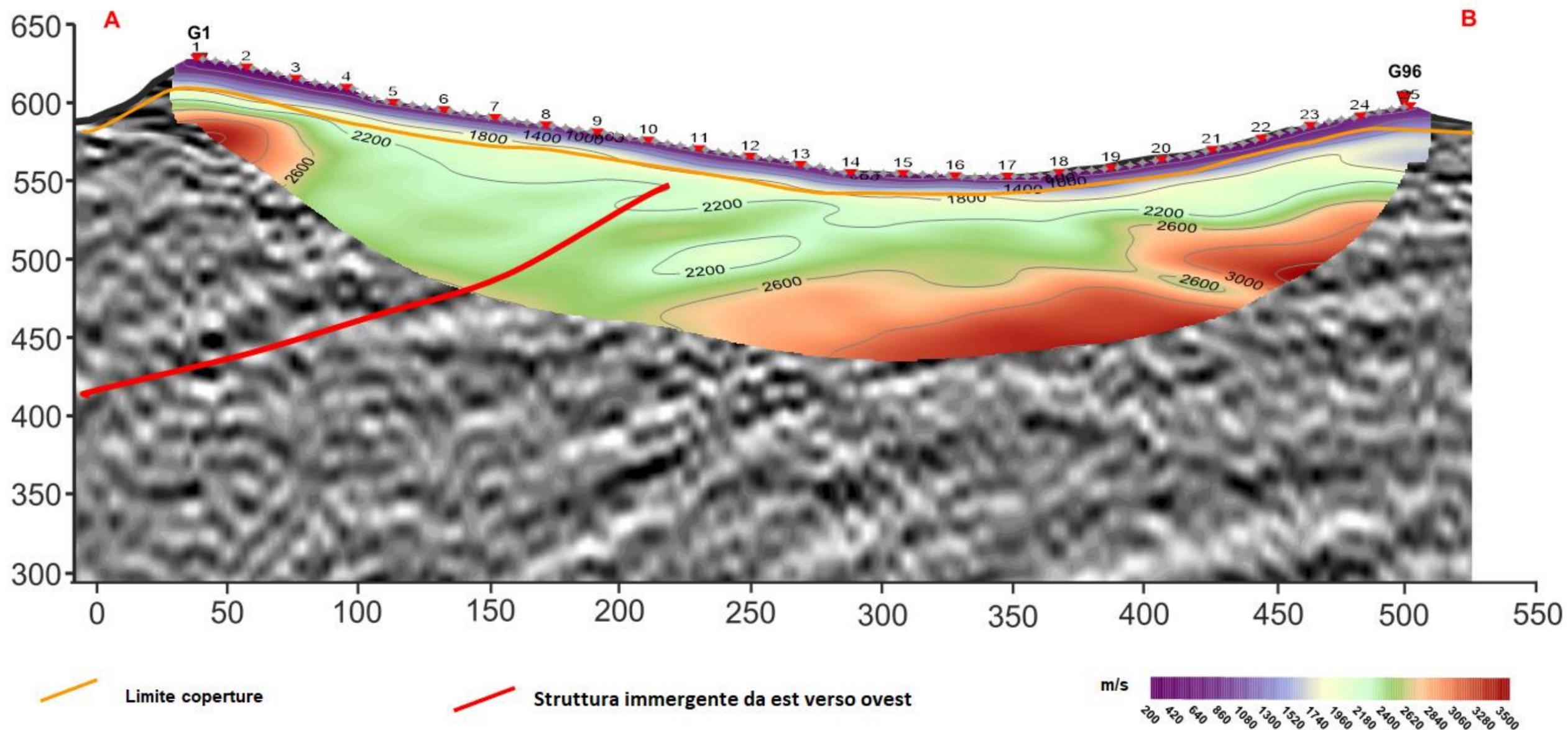
Committente



Indagine:
Sismica a
riflessione/rifrazione
Data esecuzione:
23-25/04/2018

Tavola: 5
Sezione sismica ibrida

Elaborato:
Marco Taddeo
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi



ALLEGATI INDAGINE ELETTROMAGNETICA (FDEM)

Lavoro:
Indagini geofisiche
eseguite sulla galleria.

Committente

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

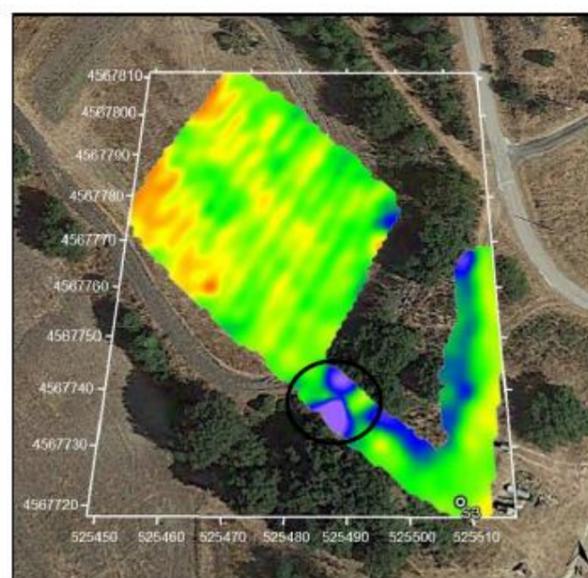
Indagine:
EM
**Data
esecuzione:**
01/12/2017

Tavola: 1
S3

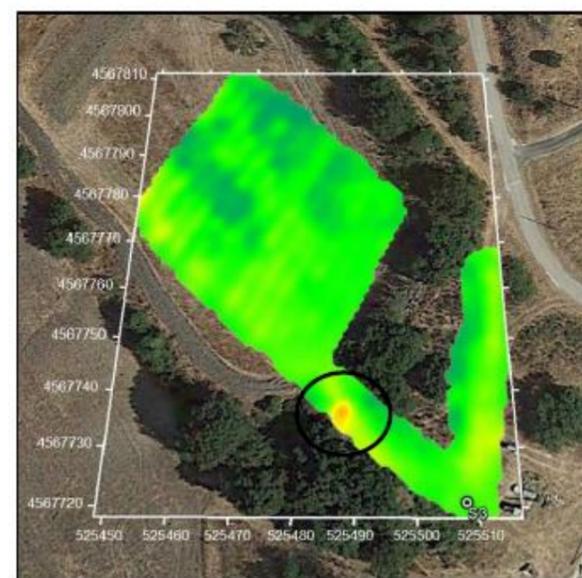
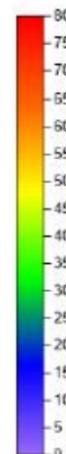
Elaborato:
Domenico Di Massa
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi



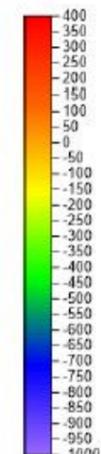
Frequenza: 1000 Hz
Profondità di indagine: ~ 5 m



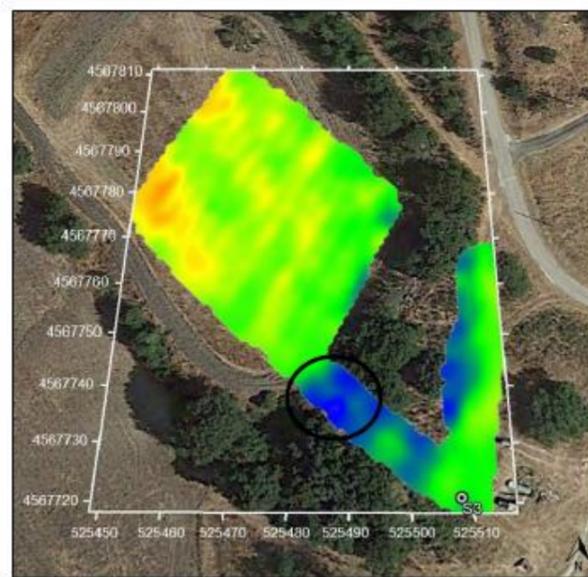
Conducibilità
mS/m



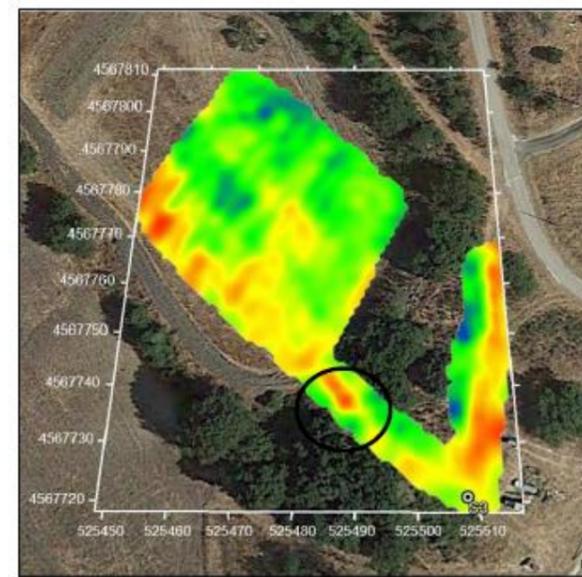
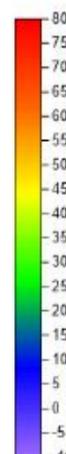
Suscettività
PPT



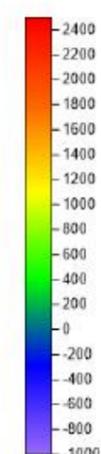
Frequenza: 10000 Hz
Profondità di indagine: ~ 3 m



Conducibilità
mS/m



Suscettività
PPT



○ Eventuale presenza materiale metallico

Lavoro:
Indagini geofisiche
eseguite sulla galleria.

Committente

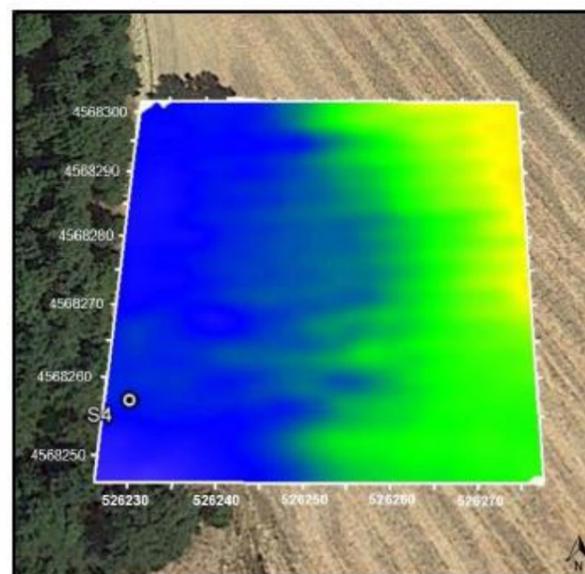

Indagine:
EM
**Data
esecuzione:**
01/12/2017

Tavola: 2
S4

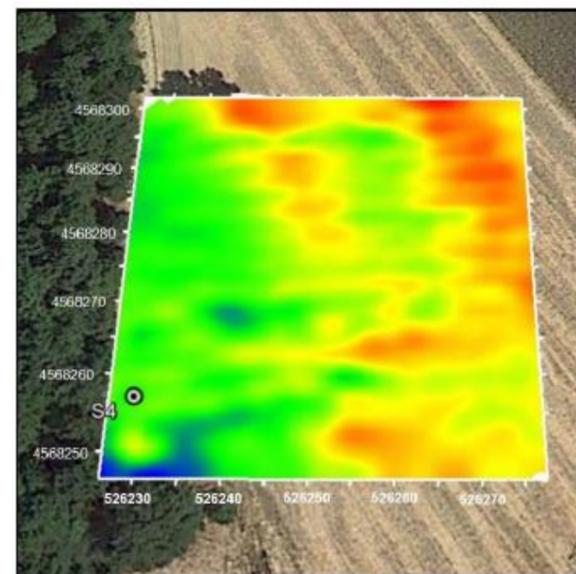
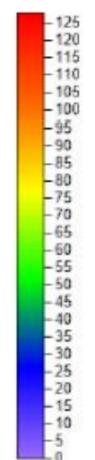
Elaborato:
Domenico Di Massa
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi



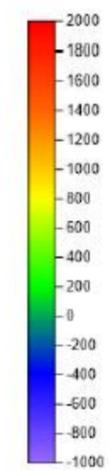
Frequenza: 1000 Hz
Profondità di indagine: ~ 5 m



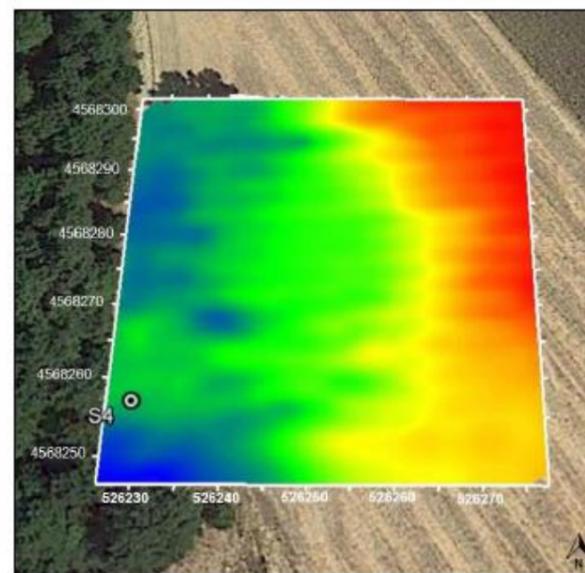
Conducibilità
mS/m



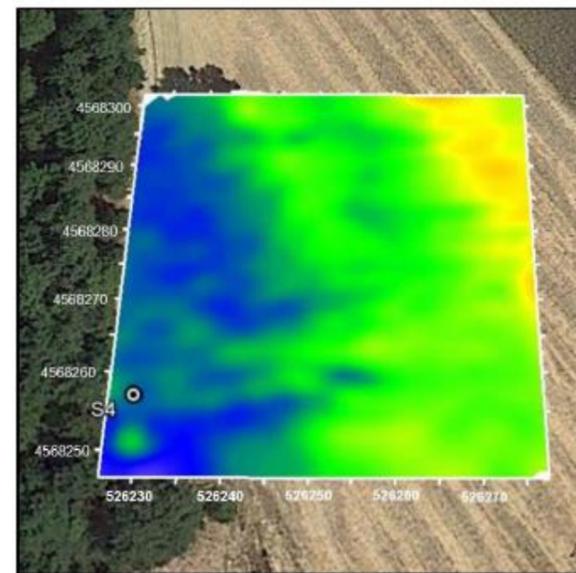
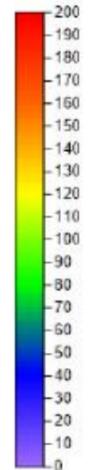
Susceptività
PPT



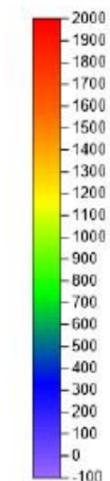
Frequenza: 10000 Hz
Profondità di indagine: ~ 3 m



Conducibilità
mS/m



Susceptività
PPT



○ Eventuale presenza materiale metallico

Lavoro:
Indagini geofisiche
eseguite sulla galleria.

Committente

GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

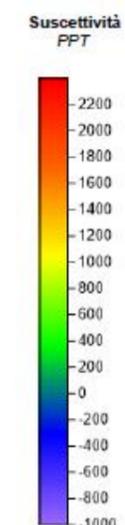
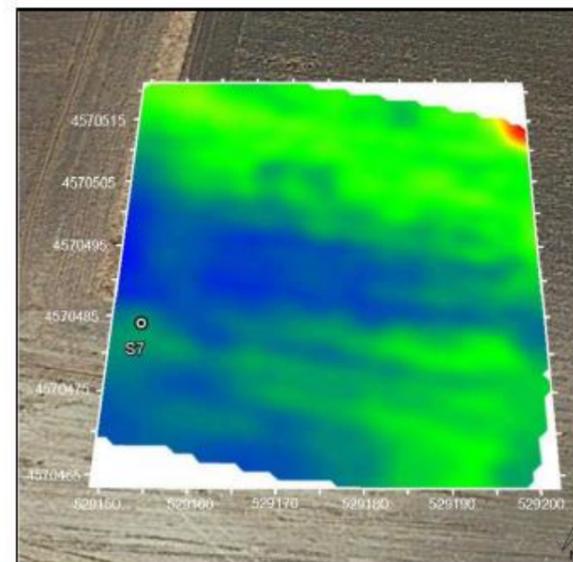
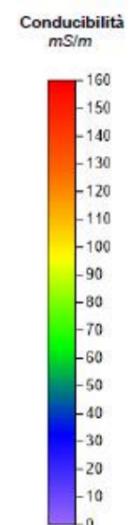
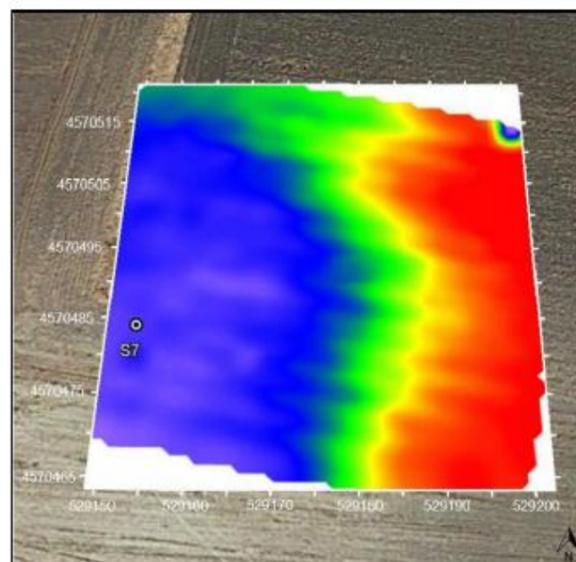
Indagine:
EM
**Data
esecuzione:**
01/12/2017

Tavola: 3
S7

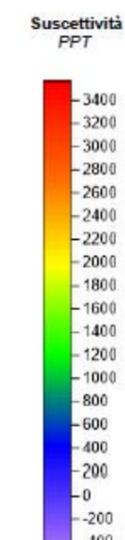
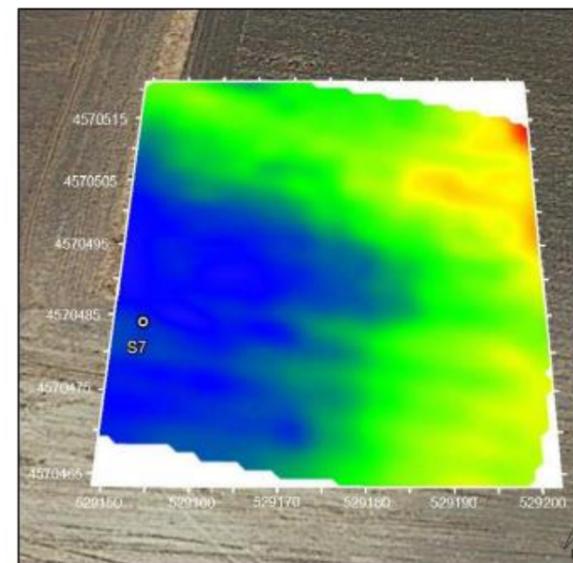
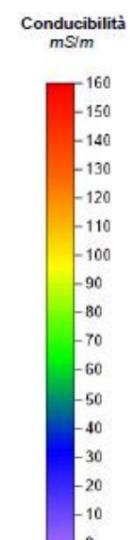
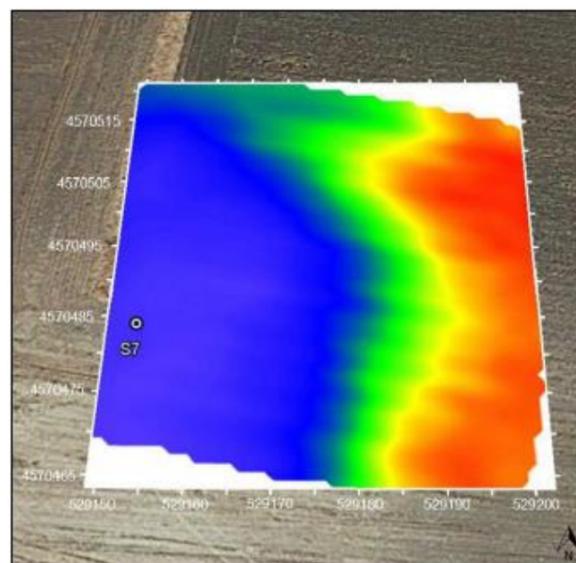
Elaborato:
Domenico Di Massa
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi



Frequenza: 1000 Hz
Profondità di indagine: ~ 5 m



Frequenza: 10000 Hz
Profondità di indagine: ~ 3 m



○ Eventuale presenza materiale metallico

Lavoro:
Indagini geofisiche
eseguite sulla galleria.

Committente


Indagine:
EM

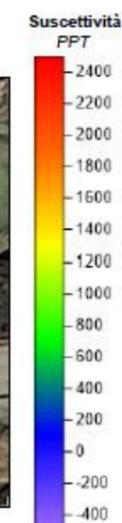
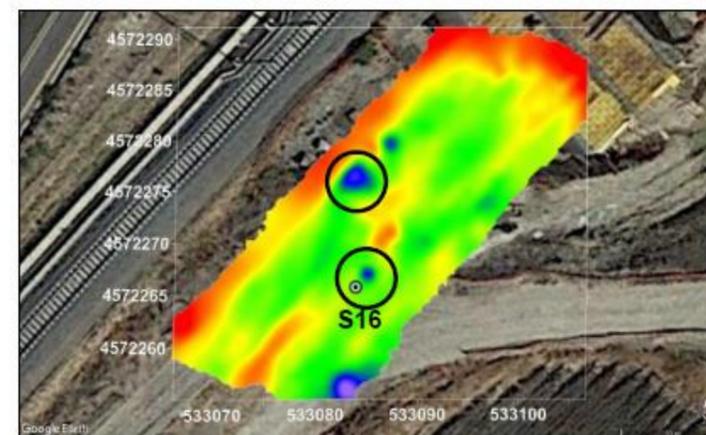
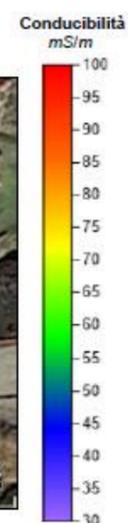
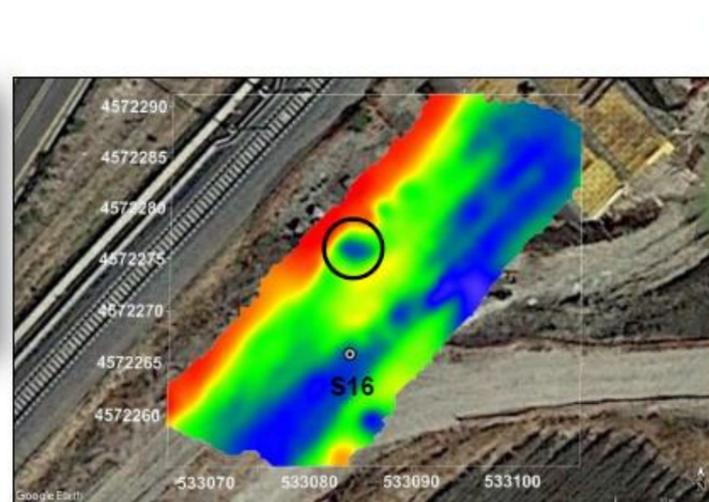
**Data
esecuzione:**
01/12/2017

Tavola: 4
S16

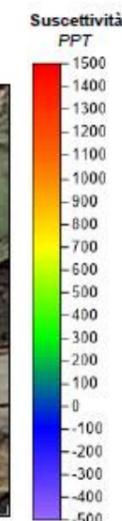
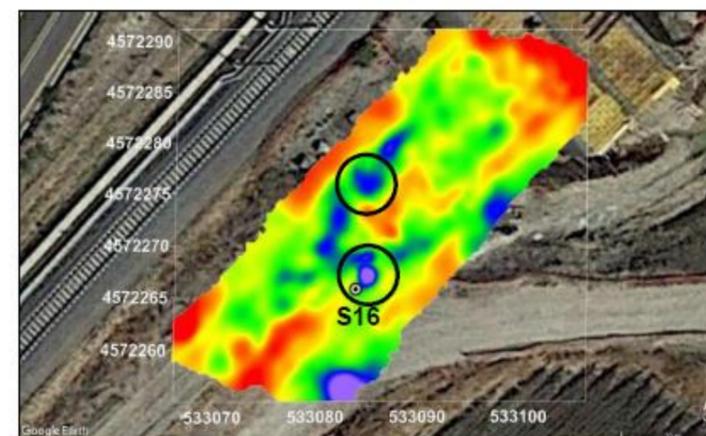
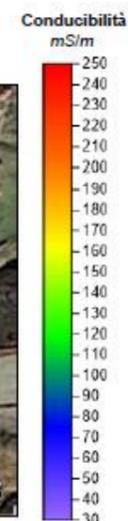
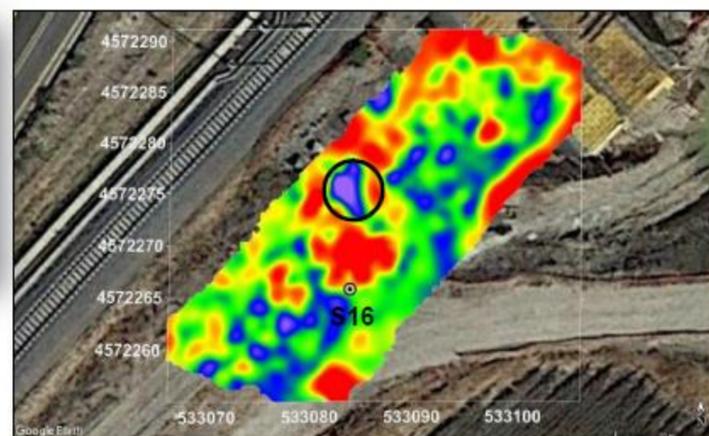
Elaborato:
Domenico Di Massa
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi



Frequenza: 1000 Hz
Profondità di indagine: ~ 5 m



Frequenza: 10000 Hz
Profondità di indagine: ~ 3 m



○ Eventuale presenza materiale metallico