

COMMITTENTE:



DIREZIONE LAVORI:



APPALTATORE:



PROGETTAZIONE:

PROGETTISTA:

DIRETTORE DELLA PROGETTAZIONE:

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO PROGETTISTI

Ing. Geol. MASSIMO PIETRANTONI

Ing. PIETRO MAZZOLI



Responsabile geologia e geotecnica

Responsabile integrazione fra le varie prestazioni specialistiche

PROGETTO ESECUTIVO

ITINERARIO NAPOLI-BARI RADDOPPIO TRATTA CANCELLO-BENEVENTO 1° LOTTO FUNZIONALE CANCELLO-FRASSO TELESINO E VARIANTE ALLA LINEA ROMA-NAPOLI VIA CASSINO NEL COMUNE MADDALONI

GEOLOGIA - GEOMORFOLOGIA - IDROGEOLOGIA

Documentazioni sulle indagini geofisiche

APPALTATORE		SCALA:
CONSORZIO CFT IL DIRETTORE TECNICO Geom. C. Bianchi 13/09/2018		-

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

IF1N 01 E ZZ IG GE0005 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE	M. Remigio	11/07/2018	M. Pietrantonì	11/07/2018	P. Mazzoli	11/07/2018	M. Pietrantonì
B	REV. ISTRUTTORIA ITF 29/08/2018	M. Remigio	13/09/2018	M. Pietrantonì	13/09/2018	P. Mazzoli	13/09/2018	
								13/09/2018

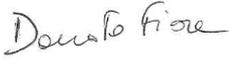
File: IF1N.0.1.E.ZZ.IG.GE.00.0.5.001.B.dwg

n. Elab.:



**Progettazione esecutiva per la realizzazione
della linea ferroviaria AV “Napoli – Bari”,
tratta Canello – Frasso Telesino – Valle di
Maddaloni (CE)**

Indagini Geofisiche

Emissione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato
Rev. 00	29/07/2017	Claudio De Paola	Donato Fiore	Massimo De Iasi
				



DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione
della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta
Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00
Data:
28/09/2017
Pagina 2 di 48

SOMMARIO

1	Premessa	5
2	Sismica a rifrazione	6
2.1	Principi base del metodo	6
2.2	Fattori di influenza delle velocità sismiche	8
2.2.1	Saturazione.....	9
2.2.2	Porosità e contenuto in argilla	11
2.2.3	Fratturazione.....	15
2.3	Misure sismiche	20
2.4	Processing	21
2.5	Strumentazione utilizzata.....	23
3	Metodo della resistività elettrica (ERT)	27
3.1	Principi di funzionamento e cenni sul metodo	27
3.2	Proprietà elettriche del suolo ed interpretazione dei valori di resistività	28
3.2.1	Fattori di influenza dei valori di resistività	30
3.3	Strumentazione utilizzata.....	37
3.4	Misure ERT	39
3.5	Elaborazione dei dati ERT	40
4	Risultati	40
4.1	Viadotti VI01 VI02 VI06.....	40
4.1.1	VI01 VI02	40
4.1.2	VI06.....	41
4.2	Galleria Monte Aglio	42
4.2.1	Galleria Naturale	42
4.2.2	Gallerie artificiali – imbocco “lato Maddaloni”	42
4.2.3	Gallerie artificiali – imbocco “lato Benevento”	43
4.3	Conclusioni	43
5	BIBLIOGRAFIA	44
6	ALLEGATO I - ELABORATI GRAFICI	48



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h1>DIMMS CONTROL</h1>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 3 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Schema ubicazione indagini (per maggiori dettagli si veda la tav. 1 dell' allegato grafico).	5
Figura 2 – Relazione tra VP e saturazione Velocità delle onde di compressione (a sinistra) e attenuazione (a destra) a 3 kHz per un range di saturazione d'acqua e per tre tipi di saturazione di gas: omogeneo, a patch orizzontali e patch verticali (da LIU & RECTOR, 2001).	10
Figura 3 –Variazione delle velocità delle onde P in funzione del contenuto in argilla in campioni sabbia-argilla saturi: un picco in velocità è localizzato in corrispondenza del 40% di contenuto in argilla. La velocità al picco è dal 20 al 30% maggiore per l'argilla pura o per la sabbia pura. I bassi valori di velocità per 85% di contenuto in argilla sono attribuiti ad errori di lunghezza di misura (da MARION et al., 1992).	11
Figura 4 – Relazione tra VP e Porosità Velocità di compressione (a) e di taglio (b) contro porosità misurata per 75 campioni di arenarie a $P_c = 40\text{MPa}$ e $P_p = 1.0\text{MPa}$ (da HAN et al., 1986).	12
Figura 5 – Velocità delle onde di compressione (a) e di taglio (b) in funzione del contenuto di argilla C per diversi valori di porosità Φ : $\Phi=0\%$ (nero); $\Phi=10\%$ (rosso); $\Phi=20\%$ (verde); $\Phi=30\%$ (blu); $\Phi=40\%$ (azzurro). La frequenza è 5 kHz (da CARCIONE et al., 2000).	13
Figura 6 – Variazione della velocità dell'onda P in funzione: a) della densità di fratturazione C; b) della densità lineare di frattura Γ ; c) dell'indice di discontinuità I_d ; d) del fattore di qualità RQD.	18
Figura 7 – Variazione della velocità delle onde SH (VS) in funzione dei parametri delle rocce fratturate. Le diminuzioni di velocità per l'onda S sono minori di quelle per l'onda P; per cui le onde P risentono di più delle fratture delle onde S, sotto le stesse condizioni di propagazione.	18
Figura 8 – Variazione del rapporto tra la velocità delle onde P e la velocità delle onde S (VP/VS) in funzione dei parametri delle rocce fratturate.	19
Figura 9 - Fase di acquisizione GA " Imbocco Maddaloni"	24
Figura 10 - Geofono (onde P) e relativo schema	24
Figura 11 - Sismografo GEODE (Geometrics)	25
Figura 12 – Esempio di sismogramma 120 canali.	26
Figura 13 – Campi di variazione del fattore di formazione F con la porosità Φ per le principali tipologie di rocce sature (da Keller & Rapolla, 1974).	32
Figura 14 - Variazione del fattore di formazione apparente con la resistività dell'elettrolita per campioni con percentuale di argilla crescente (da Carrara et al., 1992).	35
Figura 15 - Relazione tra il fattore elettrico e la porosità (da Carrara et al., 1992, modificata).	36
Figura 16 - Relazione tra resistività elettrica e contenuto argilloso (da Carrara et al., 1992).	37
Figura 17 - Georesistivimetro Syscal Pro (IRIS instruments); elettrodi di acquisizione	37
Figura 18 – Fasi di acquisizione ERT passo 10 m.	39



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE





DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli - Bari", tratta Canello - Frasso Telesino - Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00
Data:
28/09/2017
Pagina 4 di 48

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Riepilogo indagini	6
Tabella 2 - Velocità delle onde di compressione di alcuni terreni.	8
Tabella 3 - Velocità delle onde di taglio di alcuni terreni.	9
Tabella 4 - Velocità Classificazione della qualità della roccia secondo l'indice RQD (Leucci, 2004).	16
Tabella 5 - Specifiche tecniche Sismografo GEODE	26
Tabella 6 - Riepilogo delle resistività dei principali materiali	30
Tabella 7 - Specifiche tecniche SYSCAL Pro.....	38

INDICE DELLE EQUAZIONI

$V_p V_s = \sqrt{1 - \sigma} / 2 - \sigma$	Equazione 1	19
$t = \int_S u[\mathbf{r}(x, y)]$	Equazione 2	22
$t_i = \sum_{k=1}^m l_{ik} \cdot u_k$	Equazione 3	22
$\mathbf{t} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{u}$	Equazione 4.	22
$\mathbf{u} = \tilde{\mathbf{M}}^{-1} \cdot \mathbf{t}$	Equazione 5	22
$\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} = \Delta \mathbf{t}$	Equazione 6	22
$\varphi = \ \mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} - \Delta \mathbf{t}\ ^2 + \lambda \ \mathbf{L}_2 \mathbf{u}\ ^2$	Equazione 7	23
$\rho_\alpha = K \Delta V I$	Equazione 8	27
$\rho_s = \rho_f a \phi^{-n} S^{-m}$	Equazione 9	28
$\rho_f = 0.0123 + 10^{(3.562 - 0.955 \log_{10} C)}$	Equazione 10	29
$\rho = \rho_0(1 + \alpha T)$	Equazione 11	30
$\rho T = \rho 181 + \alpha(T - 18)$	Equazione 12	31
$\rho R = F \rho W$	Equazione 13	33
$F = 1 \rho e m S n$	Equazione 14	33
$\rho r = \rho a \rho e m S n$	Equazione 15	34
$1 \rho = 1 F 1 \rho W + X$	Equazione 16	34
$F a = F 1 + \rho W X - 1$	Equazione 17	34
$F a = F 1 + Q V B \rho W - 1$	Equazione 18	35
$\log Q v = -3.56 - 2.74 \log \Phi$	Equazione 19	35



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE





DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione
della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta
Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00

Data:

28/09/2017

Pagina 5 di 48

1 Premessa

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati delle indagini geofisiche eseguite per la progettazione esecutiva della tratta ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso – Valle di Maddaloni (CE).

In particolare le indagini hanno interessato i viadotti VI01, VI02 e VI06, la Galleria Naturale Monte Aglio e le relative gallerie artificiali agli imbocchi (vedi Figura 1).

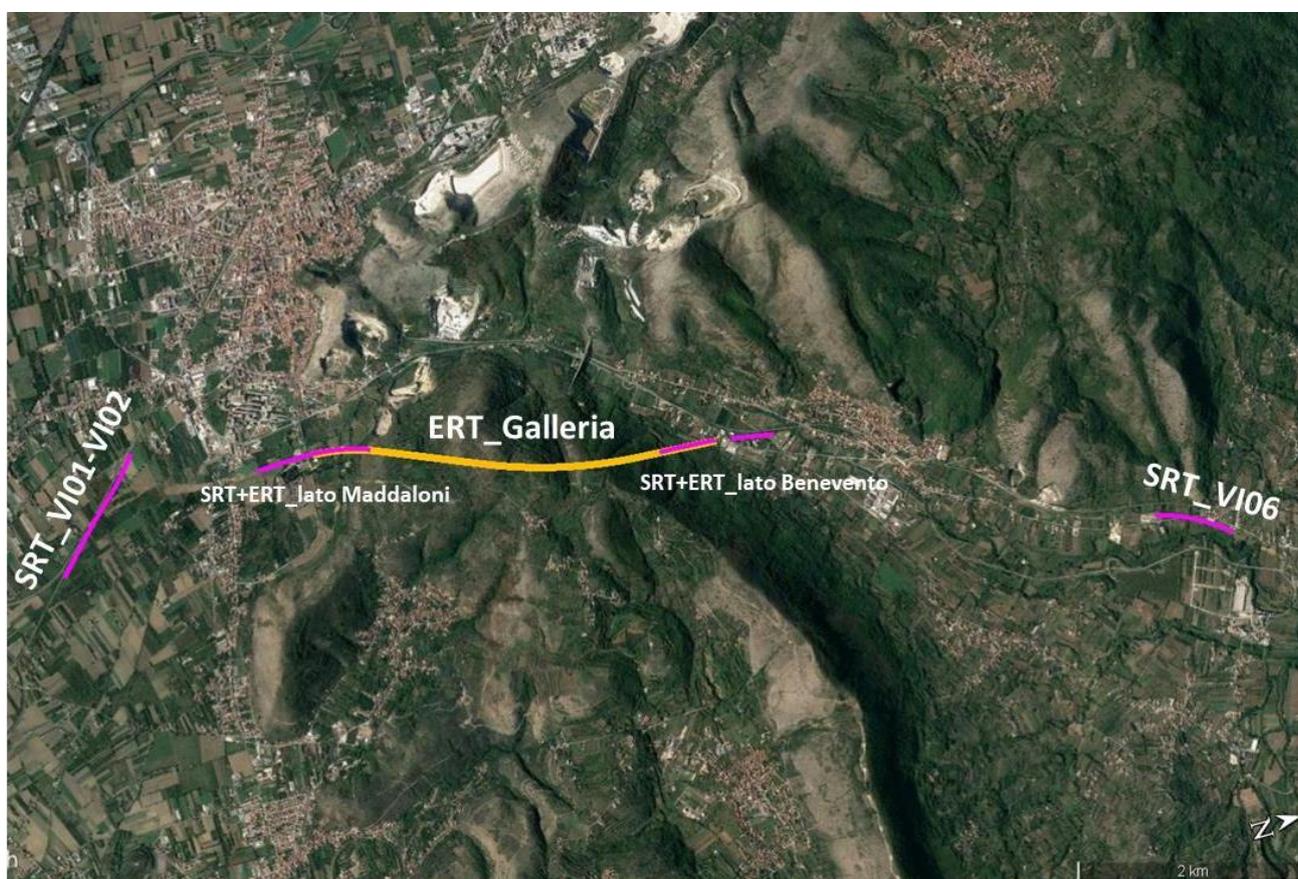


Figura 1 - Schema ubicazione indagini (per maggiori dettagli si veda la tav. 1 dell' allegato grafico).



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 6 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

La campagna di indagine è riassunta nella seguente tabella:

ID indagine	Punto	E	N	Lunghezza (m)	Indagine
VI01	A	148668.8957	342451.22	800	SRT onde P ed SH
	B	148053.7104	343042.795		SRT onde P ed SH
VI02	B	148053.7104	343042.795	400	SRT onde P ed SH
	C	148663.7946	342455.949		SRT onde P ed SH
VI06	A	150683.1783	351568.0388	670	SRT onde P ed SH
	B''	150867.6128	351998.7796		SRT onde P ed SH
GN Monte Aglio	A	148226.689	344803.900	3800	ERT
	B	149056.365	348157.909		
GA "lato Maddaloni"	A	148242.062	344294.573	1040	ERT
	B	148227.052	344805.883	1040	SRT onde P ed SH
GA "lato Benevento"	A	149033.577	347753.555	870	ERT
	B	149176.417	348741.927	870	SRT onde P ed SH

Tabella 1 - Riepilogo indagini

2 Sismica a rifrazione

2.1 Principi base del metodo

Le indagini di sismica a rifrazione permettono la ricostruzione delle geometrie e degli 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-



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430648
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 7 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

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



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE





DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione
della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta
Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00
Data:
28/09/2017
Pagina 8 di 48

falda le uniche onde in grado di fornire informazioni precise sulla rigidità del terreno sono quelle di taglio.

2.2 Fattori di influenza delle velocità sismiche

Sebbene la velocità dell'onda P sia un buon indicatore del tipo di terreno o di roccia, non è un indicatore univoco. Ogni tipo di sedimento o roccia ha una vasta gamma di velocità sismiche e molti di questi *range* si sovrappongono tra loro. Ci sono molte variabili che influenzano il modulo elastico e quindi la velocità delle onde di compressione delle rocce e dei terreni.

Si riportano le velocità da bibliografia di alcune delle principali litologie.

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

Tabella 2 – Velocità delle onde di compressione di alcuni terreni.

VELOCITA' ONDE DI TAGLIO		
LITOLOGIA	VELOCITA' [m/sec]	
Suoli superficiali	50	300
Limi ed argille sature	200	800
Arenarie sature e porose	800	1800
Acqua	-	-



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE





DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione
della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta
Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00
Data:
28/09/2017
Pagina 9 di 48

Sabbie asciutte	100	500
Sabbie sature	400	600
Arenarie	900	3100
Argilliti	500	2100
Calcari	1000	3500
Dolomie	1200	3800
Marne	750	1500

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

I primi esperimenti sulla variazione delle proprietà elastiche delle rocce sono iniziate tra il 1950 e il 1960. A quel tempo molti ricercatori, tra cui Wyllie, Gregory & Gardner (1956, 1958, 1962, 1963) hanno studiato i cambiamenti della velocità di elasticità onde in funzione di:

- saturazione;
- porosità e contenuto in argilla;
- fatturazione.

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

2.2.1 Saturazione

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 $S_r < 99\%$ VP 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). Le velocità mostrano una graduale diminuzione all'aumentare della saturazione d'acqua, seguita da un forte aumento a saturazione completa (Liu & Rector, 2001). Si è osservato che per saturazioni parziali la velocità delle onde P è inferiore a quella ottenibile alla massima saturazione,



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B".
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE





DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancellò – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00

Data:

28/09/2017

Pagina 10 di 48

ma nel contempo è inferiore anche a quella che si ottiene per gli stati secchi. Tale comportamento è attribuito al fatto che i moduli elastici sembrano essere indipendenti dalla saturazione nel range di 2-70 %, infatti, in tal campo, è la densità del sistema a giocare un ruolo determinante, ed essa aumenta con la saturazione comportando un debole decremento della velocità. Per saturazioni elevate (> 70%) è l'incompressibilità dell'acqua che gioca un ruolo predominante: essa tende ad irrigidire il mezzo e quindi ad aumentare la velocità.

L'attenuazione mostra un aumento monotono all'aumentare della saturazione d'acqua, seguito da una brusca caduta a saturazione completa (Figura 2).

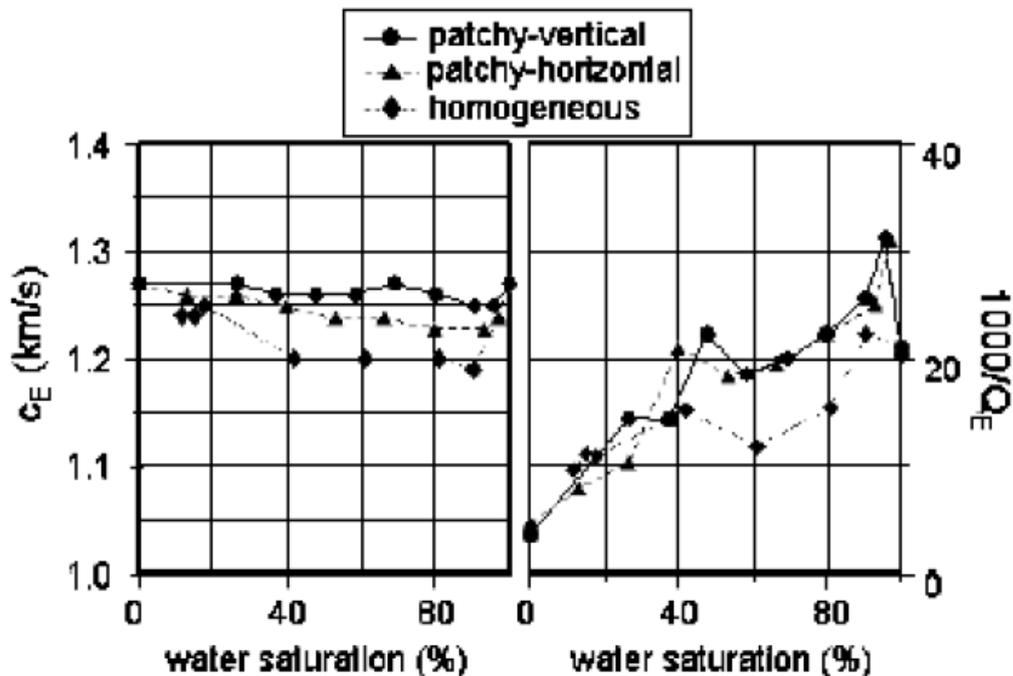


Figura 2 – Relazione tra VP e saturazione Velocità delle onde di compressione (a sinistra) e attenuazione (a destra) a 3 kHz per un range di saturazione d'acqua e per tre tipi di saturazione di gas: omogeneo, a patch orizzontali e patch verticali (da Liu & Rector, 2001).



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE





DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli - Bari", tratta Cancellò - Frasso Telesino - Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00

Data:

28/09/2017

Pagina 11 di 48

2.2.2 Porosità e contenuto in argilla

La diminuzione della velocità associata ad un aumento del contenuto di argilla può essere confrontata con la diminuzione della velocità associata ad un aumento della porosità; Infatti, le particelle di argilla creano una microporosità composta da piccoli pori di 1μ riducono notevolmente la dimensione dei pori. Di conseguenza, molti autori includono sia la porosità che la frazione di argilla nelle relazioni empiriche per prevedere la velocità. Una grande parte della variazione della velocità dovuta al cambiamento di contenuto di argilla è attribuibile alla significativa quantità di microporosità presente all'interno di minerali di argilla (Kovallis et al., 1984) (

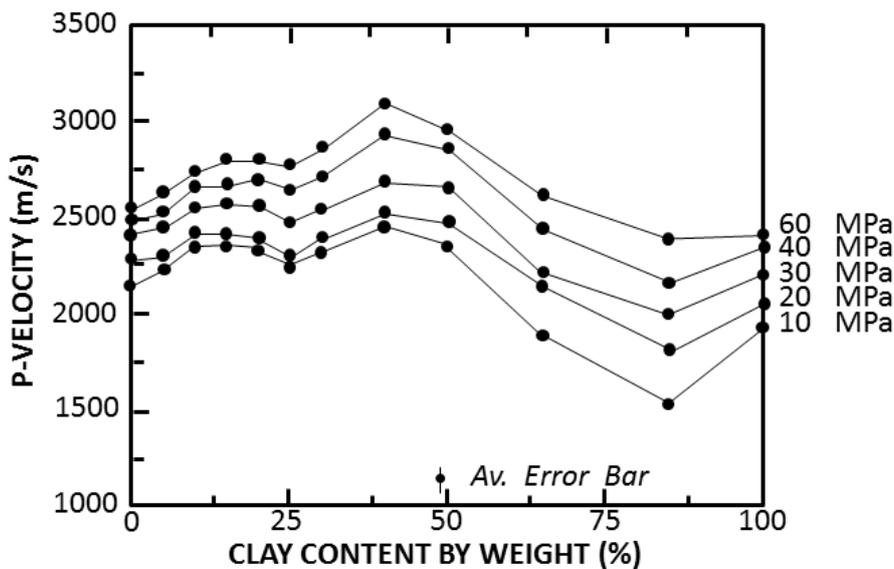


Figura 3).

Figura 3 –Variazione delle velocità delle onde P in funzione del contenuto in argilla in campioni sabbia-argilla saturi: un picco in velocità è localizzato in corrispondenza del 40% di contenuto in argilla. La velocità al picco è dal 20 al 30% maggiore per l'argilla pura o per la sabbia pura. I bassi valori di velocità per 85% di contenuto in argilla sono attribuiti ad errori di lunghezza di misura (da Marion et al., 1992).



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



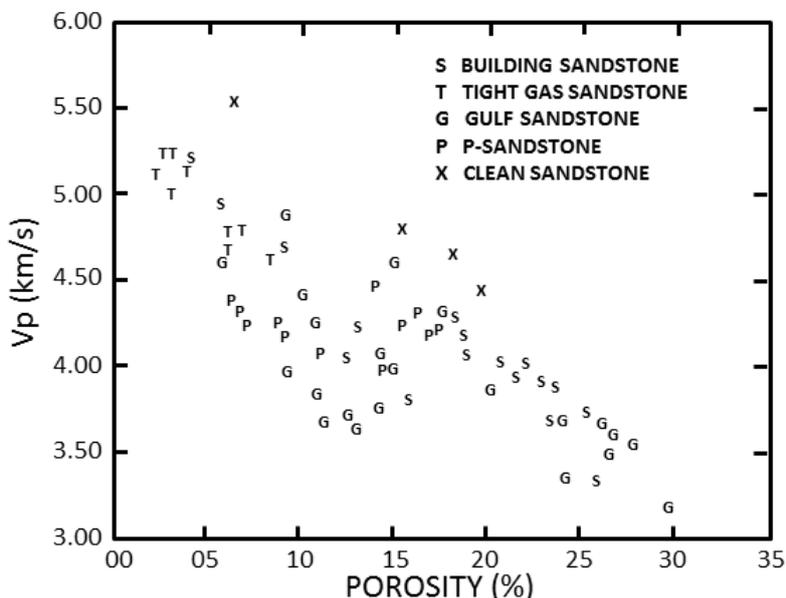


Figura 4 – Relazione tra VP e Porosità Velocità di compressione (a) e di taglio (b) contro porosità misurata per 75 campioni di arenarie a $P_c = 40\text{MPa}$ e $P_p = 1.0\text{MPa}$ (da HAN et al., 1986).

Una serie di indagini su rocce ha dimostrato che c'è un brusco cambiamento delle proprietà della matrice rocciosa con l'aggiunta di una piccola quantità d'argilla, attribuita al rammollimento dei cementi, rigonfiamento dell'argilla e effetti di superficie. Questi effetti causano una variazione delle proprietà fisiche delle rocce individuando quindi una diminuzione della velocità delle onde (Figura 4). Ad alte frequenze, l'attenuazione rivela una maggiore dipendenza al contenuto di argilla ad alta saturazione d'acqua. Per una roccia pienamente satura ($S_w = 1$) a 1 MHz, cioè in condizioni standard di laboratorio, l'attenuazione aumenta monotonamente con il contenuto di argilla. La presenza di argilla aumenta l'area di superficie e diminuisce la permeabilità, aumentando l'attenuazione delle onde lente; la presenza dell'onda lenta costituisce un ulteriore meccanismo di attenuazione per la veloce onda P.



DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancellone – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00

Data:

28/09/2017

Pagina 13 di 48

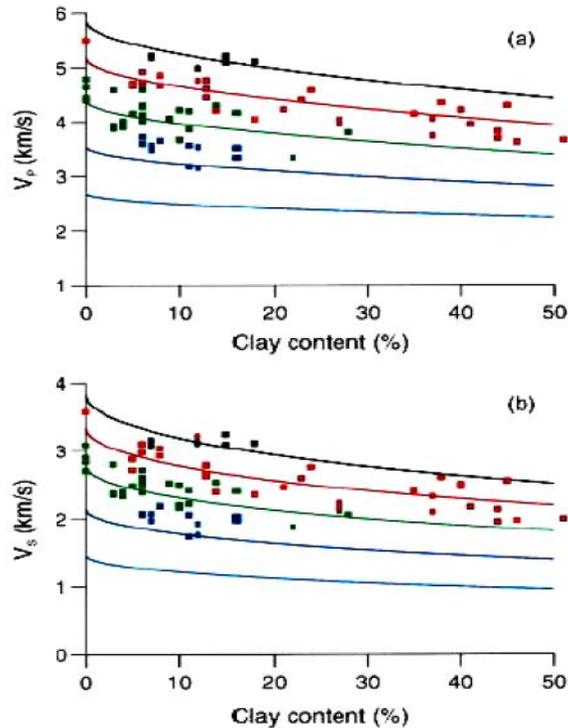


Figura 5 – Velocità delle onde di compressione (a) e di taglio (b) in funzione del contenuto di argilla C per diversi valori di porosità Φ : $\Phi=0\%$ (nero); $\Phi=10\%$ (rosso); $\Phi=20\%$ (verde); $\Phi=30\%$ (blu); $\Phi=40\%$ (azzurro). La frequenza è 5 kHz (da Carcione et al., 2000).

In presenza di un'irregolare distribuzione del fluido nello spazio di poro implica un'eterogeneità nella saturazione; in questo caso il materiale possiede una saturazione normalmente denominata "patchy". La velocità dell'onda e l'attenuazione sono sostanzialmente influenzate dalla presenza di saturazione parziale (patchy), funzione della dimensione delle sacche di gas, della frequenza e della permeabilità.

L'effetto di una parziale saturazione sulla velocità e l'attenuazione dipendono dal range di frequenza: mentre l'attenuazione in rocce anidre è trascurabile e indipendente dalla frequenza, al contrario essa diventa dipendente dalla frequenza quando un fluido è introdotto nel mezzo a causa di dissipazioni viscosi. L'attenuazione è anche funzione della pressione: in rocce sature, a basse pressioni di confine, gli alti valori di attenuazione osservati sono causati dall'interazione tra il fluido di poro e le microfessure aperte nella struttura della roccia; ad alte pressioni di confine, le



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 14 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

microfratture sono chiuse e i valori di attenuazione sono considerevolmente piccoli (Klimentos & Mc Cann, 1990).

Due meccanismi sono stati proposti per spiegare la forte attenuazione delle onde in rocce saturate da fluidi, attribuita ad interazione viscosa tra lo scheletro solido della roccia e il fluido di poro:

a. il primo meccanismo è quello di Biot, che considera gli effetti di perdite viscosse dovute al moto relativo a grande scala tra la fase fluida e lo scheletro solido, importante a frequenze ultrasoniche (Biot, 1956; 1962).

Tale meccanismo, secondo la teoria di Biot, ha luogo in presenza di campioni altamente permeabili e in campi di frequenza compresi tra 50 kHz e 1 MHz, mentre è trascurabile su campioni con permeabilità media e alle frequenze sismiche. Biot calcola velocità e attenuazione, prevedendo l'esistenza di tre tipi di onde di massa: due di compressione (di cui la prima fortemente attenuata, simile ad un'onda di diffusione, e la seconda che viaggia a bassissima attenuazione) e una di taglio.

b. il secondo considera la perdita di energia risultante dal flusso "locale" del fluido viscoso, "squish flow", dentro e fuori le fratture durante il passaggio dell'onda: la compressione dei granuli genera una locale pressione di poro che determina il movimento del fluido all'interno dei pori. In condizioni di totale saturazione il liquido interstiziale offre resistenza dovuta alla sua bassa compressibilità; in tal modo bassi gradienti di pressione sono generati all'interno del mezzo poroso e l'attenuazione risulta bassa. In condizioni di parziale saturazione la miscela acqua/gas è altamente compressibile per cui l'attenuazione è più elevata.

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.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 15 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

2.2.3 Fratturazione

Molti studi sperimentali realizzati sino ad oggi prendono in considerazione la velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P) nel mezzo (Hudson et al., 1980; Sassa et al., 1984; Gaviglio, 1989; Watanabe et al., 1995; Kahraman, 2002) in quanto, essendo le più veloci, arrivano per prime al ricevitore e sono facilmente rilevabili. Tuttavia nelle rocce più scadenti, la velocità di propagazione delle onde longitudinali risulta molto diversa in relazione alla presenza o meno di acqua; infatti l'acqua presente nelle fratture permette un agevole trasmissione delle onde di compressione, mascherando in tal modo lo stato di fratturazione esistente. Pertanto in alcune situazioni, può risultare più utile la stima della velocità di propagazione dell'onda di taglio (onde S). Solo Boadu e Long (1996) proposero un modello di frattura chiamato MDD per lo studio della propagazione delle onde sismiche (P ed S) in mezzi fratturati. Il grado di fratturazione di una formazione rocciosa è legato alle proprietà idrogeologiche delle rocce, come la porosità e la permeabilità (capacità delle rocce di farsi attraversare dalle acque e, conseguentemente, anche dagli inquinanti in esse disciolti). L'importanza dell'impiego del metodo sismico per la valutazione del grado di fratturazione di una formazione rocciosa, è basata sulle evidenze sperimentali che indicano una diminuzione della velocità delle onde di compressione (VP) e di taglio (VS) e un aumento del coefficiente di attenuazione α al crescere della densità di frattura (Leucci, 2004).

Considerando un sistema consistente in R differenti set di fratture con orientazioni diverse e scegliendo il set j-esimo e il profilo perpendicolare alla direzione delle fratture di tale set, si definisce (Boadu, 1997) densità lineare di frattura λ il numero di fratture presenti per unità di lunghezza lungo il profilo stesso.

Un altro parametro della roccia fratturata che può essere usato per caratterizzare il suo stato meccanico ed idraulico, è la densità di frattura C definita come (Boadu, 1997):

$$C = \rho / \cos \theta_j (1 - \ln r_{min}) \quad (1)$$

–dove θ_j è l'orientazione del j-esimo set di fratture rispetto alla perpendicolare, verso il basso, al profilo preso in considerazione ($\theta = 0^\circ$ per fratture verticali),



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B".
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 16 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV “Napoli – Bari”, tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

– ρ è la densità di frattura lineare,

– r_{min} è la lunghezza della frattura più piccola.

Un altro parametro importante è il fattore di qualità della roccia RQD (Rock Quality Designation), definito come (Boadu, 1997) il rapporto tra la somma delle distanze (superiori a 10 cm) fra le fratture lungo il profilo, e la lunghezza del profilo stesso; tale rapporto è espresso in termini percentuali. Questo “indice di qualità”, può fornire una valutazione preliminare delle principali caratteristiche fisiche e meccaniche di una formazione rocciosa .

RQD %	QUALITÀ DELLA ROCCIA
0-25	Molto scadente
25-50	Scadente
50-75	Discreta
75-90	Buona
90-100	Eccellente

Tabella 4 - Velocità Classificazione della qualità della roccia secondo l'indice RQD (Leucci, 2004).

L'indice di discontinuità I_d , è usato come un indicatore della permeabilità di una roccia (Boadu, 1997): la permeabilità aumenta all'aumentare di I_d (Wei et al., 1995). Per una lunghezza di frattura media L , in una data distribuzione, I_d è definito come

$$I_d = \text{distanza media fra fratture} / \text{lunghezza media di frattura} \tan = \Gamma L. \quad (2)$$

poiché la densità lineare è per definizione l'inverso della distanza media fra fratture.

La lunghezza di frattura, tende ad avere una maggiore influenza sulla permeabilità della densità di frattura (Long & Witherspoon, 1985). Così, rocce fratturate con lunghezze più piccole e densità più alte, hanno una permeabilità più bassa di quelle che hanno fratture più lunghe e densità più basse. Inoltre le rocce fratturate tendono ad essere permeabili per $I_d \geq 1$. Il grado di fatturazione, è



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 17 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

definito come rapporto fra la velocità sismica nella roccia fratturata e quella nella roccia intatta. Le proprietà descritte in questo paragrafo sono definite "parametri delle rocce fratturate". Sono stati effettuati una serie di esperimenti, condotti su di un campione di calcarenite contenente fratture, per mettere in relazione le velocità di propagazione delle onde sismiche con i parametri delle rocce fratturate. È stato considerato un blocco di calcarenite di dimensioni 0.6 x 0.4 x 0.4 m, contenente quattro fratture allineate di lunghezza media 0.4 m; la zona fratturata si estende per circa 0.36 m, mentre la distanza fra i confini laterali del modello e la zona fratturata è 0.12 m. Sono state create fratture artificiali, in numero via via crescente a partire da 1 fino a 4. (Leucci & L. De Giorgi GNGTS – Atti del 22° Convegno Nazionale / 11.19 G.). Sono state realizzate 4 prove con fratture riempite con quattro diversi tipi di materiale: aria, terra rossa, terra rossa bagnata e argilla. Per ogni test è stata analizzata la variazione delle velocità delle onde P ed S in funzione dei parametri delle rocce fratturate definiti nei paragrafi precedenti. L'esperimento condotto in situazioni controllate della propagazione delle onde sismiche attraverso tale modello, ha fornito come risultato la variazione della velocità delle onde P in funzione dei parametri delle rocce fratturate (Figura 8a, b, c, d). Una lettura dei dati sperimentali, indica una diminuzione della velocità dell'onda P all'aumentare della densità di frattura C (Figura 6 a). A partire da una velocità di circa 1867 m/s per la calcarenite intatta fino ad arrivare a valori via via più bassi a seconda del materiale di riempimento delle fratture. Dal momento che la densità di frattura C è una misura della trasmissività idraulica, è ragionevole affermare che una diminuzione di velocità implica un aumento della trasmissività della frattura.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



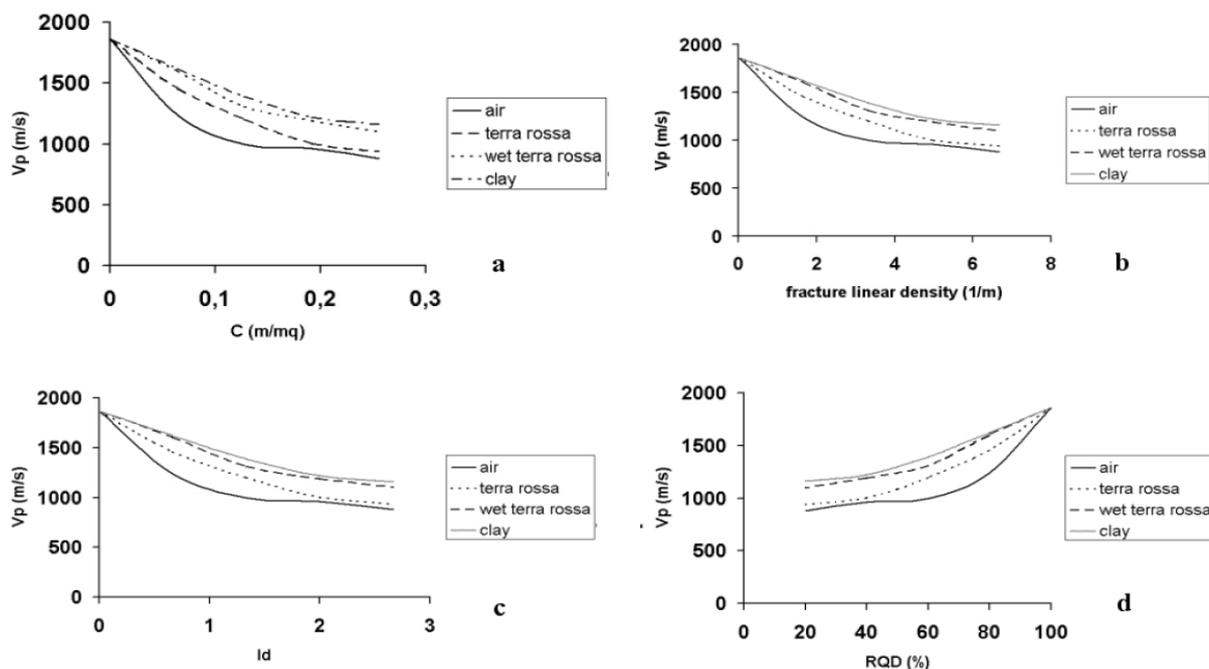


Figura 6 – Variazione della velocità dell'onda P in funzione: a) della densità di fratturazione C; b) della densità lineare di frattura Γ ; c) dell'indice di discontinuità I_d ; d) del fattore di qualità RQD.

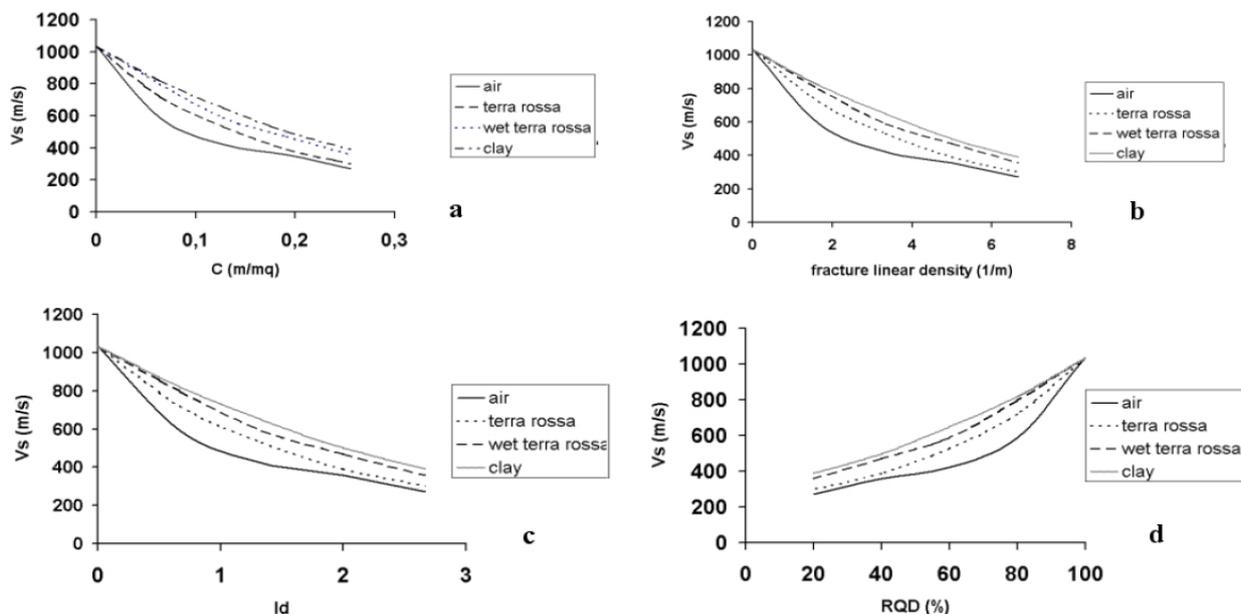


Figura 7 – Variazione della velocità delle onde SH (VS) in funzione dei parametri delle rocce fratturate. Le diminuzioni di velocità per l'onda S sono minori di quelle per l'onda P; per cui le onde P risentono di più delle fratture delle onde S, sotto le stesse condizioni di propagazione.



DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli - Bari", tratta Cancellone - Frasso Telesino - Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00

Data:

28/09/2017

Pagina 19 di 48

La velocità delle onde di compressione aumenta all'aumentare del parametro RDQ (Fig. 6d). Nelle Figura 7 (a-d), sono mostrati gli effetti dei parametri della roccia fratturata sulla velocità di un'onda S. Le tendenze nelle variazioni di ciascuno di questi parametri, sono essenzialmente simili a quelle delle onde P: la velocità delle onde S, in generale, diminuisce all'aumentare di I_d , Γ , C , mentre aumenta all'aumentare di RDQ.

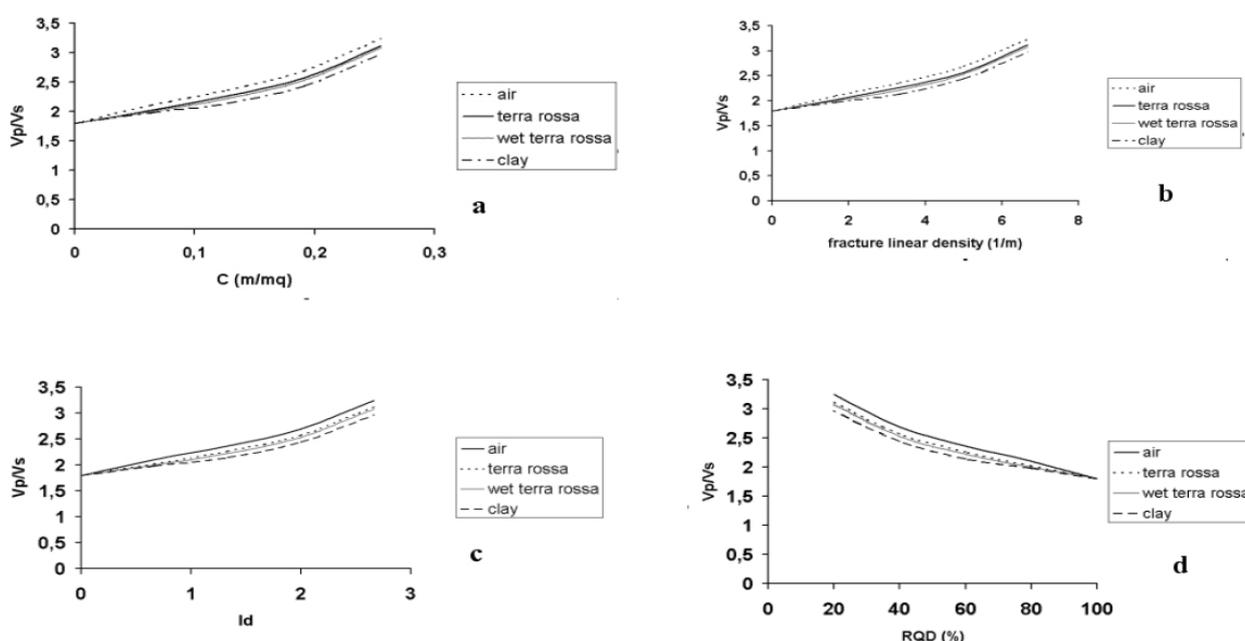


Figura 8 – Variazione del rapporto tra la velocità delle onde P e la velocità delle onde S (VP/VS) in funzione dei parametri delle rocce fratturate.

Le due velocità, quando sono usate insieme, danno un'informazione più completa sulle masse delle rocce fratturate. Infatti il rapporto V_p/V_s è legato al coefficiente di Poisson (σ) attraverso la relazione:

$$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{1/2-\sigma}} \quad \text{Equazione 1}$$



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430648
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 20 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV “Napoli – Bari”, tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

Il coefficiente di Poisson, che può essere calcolato dalla relazione (Equazione1), è un parametro che dà un criterio di valutazione della deformazione che può subire una roccia, ed è ovviamente legato al grado di litificazione, alla porosità ed al grado di fratturazione della roccia stessa.

Nelle Figura 8 (a-d), sono mostrate le variazioni del rapporto fra velocità dell'onda di compressione e dell'onda di taglio VP/VS, in funzione dei parametri dei mezzi fratturati. VP/VS diminuisce a circa il 41% del valore per la roccia intatta per una densità di fratture 0.064 m/mq, a circa il 20% per una densità di fratture di 0,26 m/mq. Queste variazioni della densità lineare di frattura con il rapporto VP/VS, sono ovviamente differenti da quelle osservate nei valori delle singole VP e VS.

2.3 Misure sismiche

Gli stendimenti sismici nel caso dei viadotti sono stati realizzati a 48 canali d'acquisizione e 120 canali per le sismiche eseguite sul tracciato delle GA: il passo intergeofonico utilizzato è pari a 2,5 m per entrambe le acquisizioni.

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

- n° geofoni: 48-120 (onde P e Sh)
- 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° 7 shot point per ogni gruppo da 24 canali (una energizzazione ogni 4 geofoni/ 10 m)
- tempo di acquisizione: 1s
- intervallo di campionamento 0.125μs

per coprire interamente le lunghezze richieste è stata adottata la tecnica di acquisizione rolla long secondo due diverse modalità;

- 1) nel caso di acquisizione a 48 canali si sono eseguiti shot sismici ogni 4 canali estendendo le acquisizioni con cadenza di 10 m oltre l'ultimo geofono attivo, fino a raggiungere la posizione corrispondente al centro dello stendimento successivo. Venivano poi traslati i



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 21 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV “Napoli – Bari”, tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

geofoni in modo che il primo del nuovo stendimento si trovasse ad una distanza pari al passo intergeofonico (2,5) oltre l'ultimo geofono dello stendimento precedente. Venivano quindi eseguite energizzazioni lungo i punti di shot dello stendimento precedente a partire dalla metà di esso. In questo modo si è riusciti a creare dromocrone da 96 canali o 120 (in caso di almeno 2 sovrapposizioni) che hanno garantito copertura lungo tutto il tracciato ed elevata profondità di investigazione (prossima a quella che si otterrebbe per uno stendimento a 96 canali anziché di 48).

- 2) Nel caso delle linee a 120 canali, per evitare di avere distanze troppo grandi da coprire, si è preferito procedere sovrapponendo 48 canali per ogni “roll” eseguita ed effettuare la ricostruzione geometrica dell'intero stendimento nelle fasi di pre processing.

2.4 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 Sh, 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 & 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



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B".
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 22 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

di calcolo ai minimi quadrati attraverso il metodo Delta t-v (Gebrande & 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

$$t = \int_S u[\mathbf{r}(x, y)] \quad \text{Equazione 2}$$

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

$$t_i = \sum_{k=1}^m l_{ik} \cdot u_k \quad \text{Equazione 3}$$

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

$$\mathbf{t} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{u} \quad \text{Equazione 4}$$

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

$$\mathbf{u} = \tilde{\mathbf{M}}^{-1} \cdot \mathbf{t} \quad \text{Equazione 5}$$

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

$$\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} = \Delta \mathbf{t} \quad \text{Equazione 6}$$



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 23 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

dove $\Delta t = t - t(u_0)$ è la differenza tra i tempi sperimentali e i tempi calcolati per il modello di lentezze iniziale u_0 ; Δu 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

$$\varphi = \|\mathbf{J} \cdot \Delta \mathbf{u} - \Delta \mathbf{t}\|^2 + \lambda \|\mathbf{L}_2 \mathbf{u}\|^2 \quad \text{Equazione 7}$$

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.

2.5 Strumentazione utilizzata

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: tale sistema (sia per la generazione delle onde P, che per le onde Sh) deve essere in grado di generare onde ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali. In questa campagna sono state acquisite solo le onde di compressione P; per generare quest'ultime è stata utilizzata una massa battente da 8kg e un fucile sismico calibro 8'.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE





DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione
della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta
Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00

Data:

28/09/2017

Pagina 24 di 48



Figura 9 - Fase di acquisizione GA " Imbocco Maddaloni"

Sistema di ricezione: per l'indagine sono stati utilizzati 120 geofoni del tipo elettromagnetico a bobina mobile (oscillazione verticale), con frequenza caratteristica di 10 Hz per le onde Pe 120 con frequenza 8 Hz per le onde Sh.



Figura 10 - Geofono (onde P)



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 25 di 48
	<p>Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancellò – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE)</p> <p>Indagini Geofisiche</p>	

Trigger: la metodologia utilizzata, in quanto attiva, prevede che l'inizio della registrazione sia individuato mediante un *trigger* che è costituito da un circuito elettrico che si chiude nell'istante in cui la massa battente colpisce la piastra (o la trave). In questo caso è stato utilizzato un geofono *starter* in modo da garantire che l'impulso generato venisse ogni volta 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°5 sismografi 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 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 11 - Sismografo GEODE (Geometrics)



Registered Office
 SS11 Padana Superiore, 317
 20090 Vimodrone (MI)
 ITALY
 P.IVA 01872430848
 www.dimms.it

Headquarter
 Area Ind.le di Avellino
 Via Campo di Fiume, 13
 83030 Montefredane (AV)
 ITALY
 Tel: +39 0825 24353
 Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
 SS11 Padana Superiore, 317
 20090 Vimodrone (MI)
 Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
 Bulevardul Regina Maria, 32
 Parter, birou 204, modul "B",
 Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
 ROMANIA
 CUI: RO29649090
 tel: +40 21 367 3178
 fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
 Estrada Nacional n°4
 Av. da Namaacha km 16
 Bairro do Fomento
 Distrito Municipal da Matola
 MOZAMBIQUE





DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancellò – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00
Data:
28/09/2017
Pagina 26 di 48

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 5 - Specifiche tecniche Sismografo GEODE

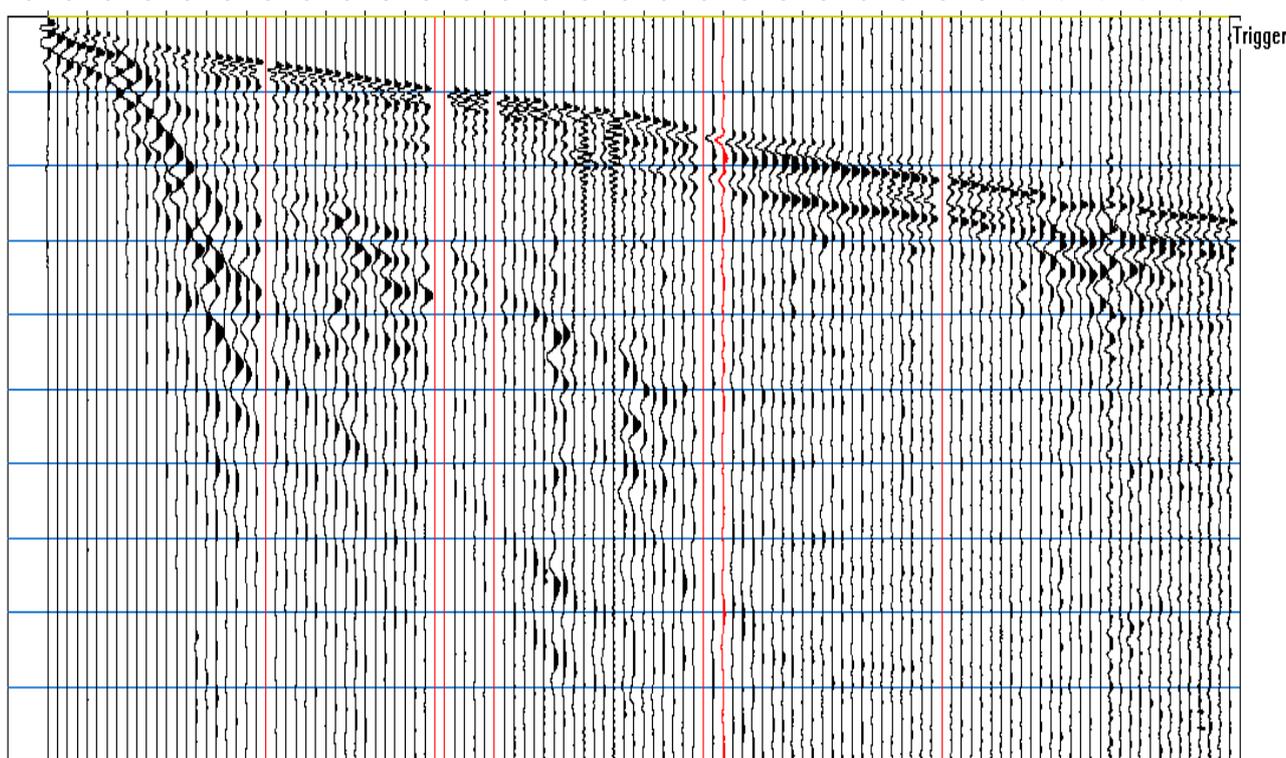


Figura 12 – Esempio di sismogramma 120 canali.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 27 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV “Napoli – Bari”, tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

3 Metodo della resistività elettrica (ERT)

3.1 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 ρ_a) dipendono pertanto da “ ΔV ” e “ I ” secondo la seguente relazione generale

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad \text{Equazione 8}$$

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.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 28 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

3.2 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):

$$\rho_s = \rho_f a \phi^{-n} S^{-m} \quad \text{Equazione 9}$$

dove:

- ρ_s è la resistività (espressa in $\Omega \cdot m$, 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^{2-} , NO_3^- , ecc.) utilizzando la formula:



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 29 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

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

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.

Rocce e minerali metallici	Resistività ($\Omega \cdot m$)
Sedimentarie	
Calcare	50 ÷ 150
Argilla	1 ÷ 100
Ghiaia	100 ÷ 5000
Calcare compatto	50 ÷ 10 ⁷
Marna	1 ÷ 100
Quarzite	10 ÷ 10 ⁸
Argilla	10 ÷ 1000
Sabbia	500 ÷ 5000
Arenaria	1 ÷ 10 ⁸
Ignee e Metamorfiche	
Basalto	10 ÷ 10 ⁷
Gabbro	10 ³ ÷ 10 ⁶
Granito	10 ² ÷ 10 ⁶
Marmo	10 ² ÷ 10 ⁸
Scisto	10 ÷ 10 ⁴
Ardesia	10 ² ÷ 10 ⁷
Minerali e minerali metallici	
Argento	1.6 · 10 ⁻⁸
Grafite (giacimento massivo)	10 ⁻⁴ ÷ 10 ⁻³
Galena (Pbs)	10 ⁻³ ÷ 10 ²
Magnetite di giacimento	1 ÷ 10 ⁵
Sfalerite (ZnS)	10 ³ ÷ 10 ⁶
Pirite	10 ²
Calcopirite	10 ⁻⁵ ÷ 0.3



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 30 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

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 6 - Riepilogo delle resistività dei principali materiali

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. Quindi, in linea generale, la distribuzione della resistività elettrica consente di discriminare eventuali variazioni nei geomateriali 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.

3.2.1 Fattori di influenza dei valori di resistività

La dipendenza della resistività di un materiale dalla temperatura è espressa dalla seguente relazione:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha_0 T) \quad \text{Equazione 11}$$

dove ρ è la resistività alla temperatura T , ρ_0 è la resistività a 0°C e α_0 è il coefficiente di temperatura della resistività riferito alla temperatura di 0°C . $L'\rho = \rho_0(1 + \alpha_0 T)$



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 31 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

Equazione 11 è valida in un intervallo di temperatura di alcune centinaia di gradi ed il coefficiente di temperatura della resistività può essere positivo o negativo.

Se il materiale considerato è una roccia, la relazione che lega la resistività alla temperatura è ancora più complessa. Infatti, essendo la roccia un aggregato di più minerali, per definire il comportamento elettrico delle rocce in funzione delle variazioni di temperatura, bisogna studiare non solo le relazioni di ogni minerale in essa presente, ma anche le relazioni tra i diversi meccanismi di conduzione. Infatti, i minerali possono presentare una conducibilità metallica, essere dei semiconduttori o, come nella maggior parte dei casi, essere degli elettroliti solidi. La minima conduzione elettrica che può avvenire negli elettroliti solidi è dovuta alle imperfezioni reticolari per temperature inferiori a 500 - 600°C, o può essere causata dalla temperatura per valori più elevati di 600°C (Keller & Rapolla; 1974).

A complicare ulteriormente la relazione tra resistività e temperatura vi è il fatto che le rocce a temperatura ambiente presentano una certa quantità d'acqua che, se è presente in quantità tale da formare almeno una pellicola continua sulle pareti dei pori (in genere superiore al 10% della quantità totale di acqua che potenzialmente la roccia può contenere), le proprietà elettriche cambiano sensibilmente. Le proprietà elettriche dipenderanno, quindi, anche dalle caratteristiche elettriche della soluzione a contatto con la roccia.

La temperatura è legata alla resistività da una relazione di tipo inverso: all'aumentare della temperatura la viscosità dell'acqua diminuisce e quindi gli ioni in essa presenti godono di una mobilità maggiore. A tale mobilità è associata una diminuzione della resistività pari a:

$$\rho_T = \frac{\rho_{18}}{1 + \alpha (T - 18)} \quad \text{Equazione 12}$$

dove α è il coefficiente termico di resistività, T è la temperatura ambiente, ρ_T è la resistività a tale temperatura, ρ_{18} è la resistività alla temperatura di 18°C. Questo fattore, fatta eccezione per i sistemi geotermali, è poco significativo per studi di carattere ambientali ed archeologici. Si deve



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE





DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancellò – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00

Data:

28/09/2017

Pagina 32 di 48

tener conto di questa correzione solo in zone in cui le risalite di fluidi caldi potrebbero far variare significativamente il valore di resistività da stimare.

Come già accennato, il parametro della resistività è influenzato anche da: tessitura e porosità, grado di cementazione, contenuto argilloso, e salinità della soluzione acquosa che imbibisce la formazione.

Le rocce con tessitura granitica conducono l'elettricità lungo le fessure o i giunti di strato per cui presentano generalmente una resistività alta; un'arenaria ben selezionata ha una resistività più bassa rispetto ad un'arenaria meno selezionata. Il basalto generalmente è una roccia molto porosa, ma la sua porosità efficace è molto bassa per cui la resistività è alta. Sperimentalmente si verifica, inoltre, che, a parità di contenuto e tipo d'acqua, una roccia vulcanica presenterà una resistività più alta di una roccia sedimentaria con la stessa porosità. La causa è da ricercarsi, molto probabilmente, nella differenza tra porosità totale e porosità utile che caratterizza le due litologie (Figura 13).

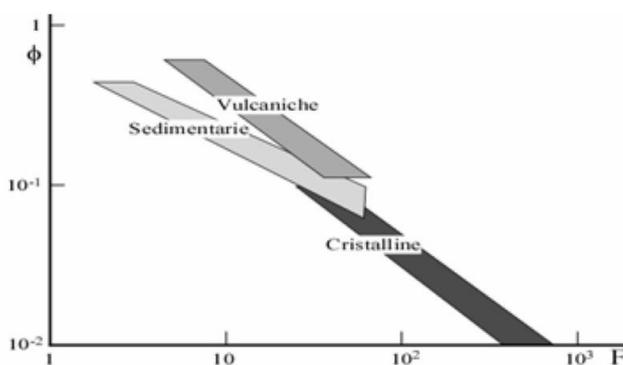


Figura 13 – Campi di variazione del fattore di formazione F con la porosità Φ per le principali tipologie di rocce sature (da Keller & Rapolla, 1974).

Inoltre, a parità di condizioni litologiche, vi sono alcuni processi geologici che causano un'immediata variazione della resistività perché ne modificano la porosità. In generale, molti di questi processi, come l'alterazione dell'argilla, la dissoluzione, la fratturazione della roccia, l'intrusione d'acqua salata, lo scollamento e/o l'alterazione superficiale, portano ad una riduzione della resistività. Causano, invece, un aumento della resistività, il processo di solidificazione, la



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 33 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

precipitazione di carbonato di calcio o la silicizzazione. Il metamorfismo può causare sia un aumento sia una diminuzione della resistività. Per questo motivo la resistività delle rocce e dei terreni non può essere definita da un solo valore, ma da un intervallo più o meno ampio entro il quale esso può variare. Inoltre, come si vede dalla Tabella 8, i range di resistività delle varie litologie, spesso si sovrappongono comportando ulteriori problemi in fase di interpretazione dei dati in chiave geologica.

La resistività delle rocce non argillose (ρ_R) è legata alla resistività del fluido di poro dalla legge di Archie (1942):

$$\rho_R = F \rho_W \quad \text{Equazione 13}$$

dove ρ_w è la resistività dell'acqua contenuta nella roccia e F è il fattore elettrico di formazione, che dipende dalla porosità efficace (perché l'acqua contenuta nei pori isolati non influenza la resistività), dalla granulometria e dalla forma dei meati, oltre che dal grado di cementazione della roccia. Se il suo valore è inferiore a 2.5, la legge di Archie non è valida in quanto la roccia è argillosa; tale valore corrisponde al limite massimo della porosità totale delle alluvioni non consolidate costituite da granuli sferici con distribuzione cubica.

Il fattore di formazione può essere anche espresso dalla seguente formula:

$$F = \frac{1}{\rho_e^m S^n} \quad \text{Equazione 14}$$

dove ρ_e è la porosità efficace, S è il grado di saturazione della roccia, m è un parametro sperimentale che varia da 1.3 per le sabbie a 2.3 per le formazioni cementate ed n è un parametro sperimentale che varia da 1.4 a 2.6 e dipende dalla forma dei meati, dalla viscosità e densità del fluido interstiziale.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B".
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 34 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

Combinando la $\rho_R = F \rho_W$ Equazione 13 e la $F = \frac{1}{\rho_e^m S^n}$
Equazione 14, si ricava che:

$$\rho_r = \frac{\rho_a}{\rho_e^m S^n} \quad \text{Equazione 15}$$

Da questa formula si deduce che, a parità di porosità efficace ρ_e^m e di grado di saturazione S_n , la resistività delle rocce ρ_r è direttamente proporzionale a quella della soluzione elettrolitica ρ_a contenuta nei meati; la resistività della roccia è sempre maggiore di quella dell'acqua contenuta nei pori; a parità di resistività dell'acqua e di porosità efficace, la roccia assume il minimo valore di resistività quando il grado di saturazione è massimo; a parità di resistività del fluido ed a parità di grado di saturazione, la roccia ha una resistività tanto minore quanto maggiore è la porosità. Nota la porosità efficace della roccia, utilizzando la legge di Archie è possibile ricavare il suo grado di saturazione e, quindi, la quantità e la qualità di acqua presente in una roccia priva di argilla. Le argille presenti in una roccia, infatti, partecipano al processo di conduzione in quanto in esse sono presenti cationi e anioni non bilanciati, che possono essere interscambiati. La conducibilità della roccia è, quindi, pari alla somma delle conducibilità dell'acqua e dell'argilla (Winsauer & McCardell, 1953):

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{F} \left(\frac{1}{\rho_W} + X \right) \quad \text{Equazione 16}$$

d
o
v
e

$$F_a = F(1 + \rho_W X)^{-1} \quad \text{Equazione 17}$$

dove F_a rappresenta il fattore elettrico apparente che è tanto minore di F quanto maggiore è il contributo additivo della conducibilità dovuta all'argilla.

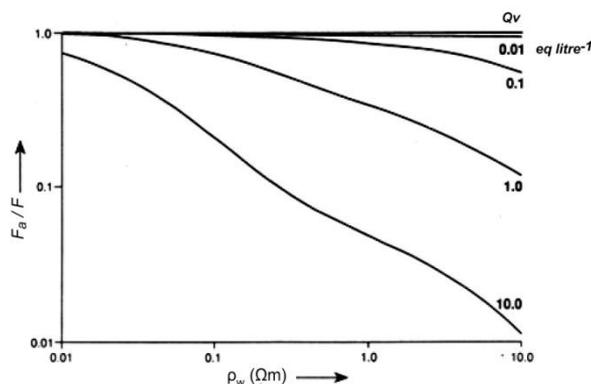


Figura 14 - Variazione del fattore di formazione apparente con la resistività dell'elettrolita per campioni con percentuale di argilla crescente (da Carrara et al., 1992).

Come si evince dalla Figura 14, il contributo dovuto alla presenza di argilla nella formazione è mascherato per basse resistività; per ogni percentuale di argilla, inoltre, esiste un valore critico di ρ_w al di sotto del quale F_a è molto prossimo a F ; al di sopra di tale valore, F_a decresce per il manifestarsi degli effetti argillosi.

Per dare un criterio generale di valutazione delle argille, Waxman & Smits (1968), hanno proposto la seguente relazione che lega il fattore di formazione F al fattore di formazione apparente F_a :

$$F_a = F(1 + Q_v B \rho_w)^{-1} \quad \text{Equazione 18}$$

dove Q_v è la capacità di scambio cationico per unità di volume e B è la conducibilità equivalente di questi ioni. Il prodotto di queste due quantità rappresenta, quindi, l'eccesso di conducibilità dovuta alla presenza di argilla, ovvero rappresenta un indice d'argillosità della roccia in esame. È possibile legare la capacità di scambio ionico alla porosità (Orthington, 1993) secondo la seguente legge (ottenuta sperimentalmente analizzando campioni saturi a contenuto costante d'argilla):

$$\log Q_v = -3.56 - 2.74 \log \Phi \quad \text{Equazione 19}$$



DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione
della linea ferroviaria AV "Napoli - Bari", tratta
Cancello - Frasso Telesino - Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00

Data:

28/09/2017

Pagina 36 di 48

Per alti valori di porosità, la capacità di scambio ionico è irrilevante e, pertanto, F_a si può approssimare a F . Dal grafico di Figura 15, si osservano andamenti relativi ad elevata porosità che convergono ad un trend lineare.

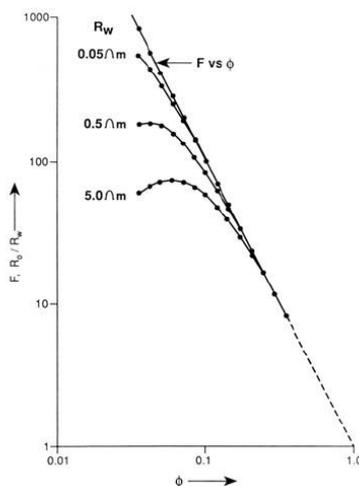


Figura 15 - Relazione tra il fattore elettrico e la porosità (da Carrara et al., 1992, modificata).

Questo trend è sintetizzato dalla legge di Archie; il trend ρ/ρ_w non è di tipo lineare. In questo caso vi sono valori critici di porosità, per i quali F_a si approssima a F e gli effetti argillosi sono trascurabili, e valori per i quali ciò non è possibile. La legge di Archie può essere, dunque, applicata con successo quando la formazione in esame presenta una resistività molto elevata; in particolare, quando F assume valori inferiori a 2.5 bisogna considerare il fattore elettrico apparente e, quindi, valutare il contenuto argilloso della formazione per non incorrere in errori nella stima della resistività. Il diagramma di Figura 16, ottenuto sperimentalmente, mostra le variazioni della resistività elettrica all'aumentare del contenuto argilloso presente in una roccia alluvionale recente.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



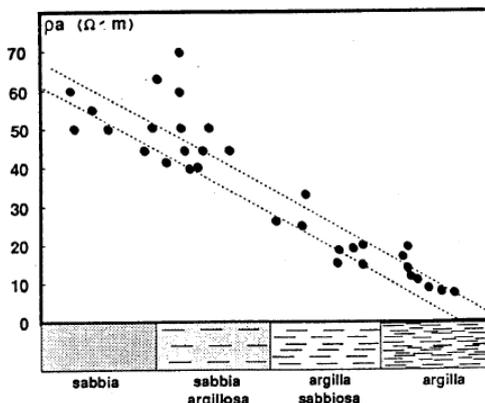


Figura 16 - Relazione tra resistività elettrica e contenuto argilloso (da Carrara et al., 1992).

3.3 Strumentazione utilizzata

Lo strumento di acquisizione utilizzato, il georesistivimetro multielettrodo e multicanale *IRIS SYSCAL PRO*, 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 2.5A ed effettua una compensazione automatica dei potenziali spontanei.



Figura 17 - Georesistivimetro Syscal Pro (IRIS instruments); elettrodi di acquisizione

	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 38 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV “Napoli – Bari”, tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE)	
	Indagini Geofisiche	

<h3 style="text-align: center;">SYSCAL Pro SPECIFICATIONS</h3> <p>TRANSMITTER</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. 	<p>RECEIVER</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 7 - Specifiche tecniche SYSCAL Pro

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



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE





DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione
della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta
Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00
Data:
28/09/2017
Pagina 39 di 48

3.4 Misure ERT



Figura 18 – Fasi di acquisizione ERT passo 10 m.

Le misure della resistività elettrica sono state eseguite in configurazione elettrodoica polo-dipolo. Al termine delle misurazioni è stato compiuto un rilievo planimetrico degli elettrodi utilizzati, al fine di ricostruire la geometria elettrodoica dettagliata necessaria per il corretto post-processing dei dati. Fondamentale in fase di acquisizione è stato il controllo delle resistenze di contatto degli elettrodi e il controllo della compensazione dei potenziali spontanei naturali.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 40 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

3.5 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.). L'approccio con cui sono state pianificate le indagini ERT ha determinato l'acquisizione di circa 30000 dati di resistività elettrica (quadripoli) relativi al particolare array acquisito. 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. Per le indagini in oggetto, che prevedevano la sovrapposizione parziale di linee passo 5m e linee passo 10 m, si è preferito unire tutti i dataset e eseguire un'unica inversione, al fine di omogeneizzare i risultati.

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 tridimensionale di dati geostatistici (MVS della C-Tech – USA), che consente di creare volumi parziali, e sezioni singole o multiple degli stessi, permettendo inoltre di sovrapporre i dati acquisiti ad immagini quali foto aeree, carte geologiche e planimetrie CAD, modellandoli sull'informazione topografica caricata.

4 Risultati

4.1 Viadotti VI01 VI02 VI06

4.1.1 VI01 VI02

L'indagine eseguita sui viadotti, sismica a rifrazione, VI01 e VI02 aveva come finalità l'individuazione dell'interfaccia terreni superficiali/tufo (vedi alleagato I tavv.2-4). L'indagine, sviluppata per un totale di circa 1200m sia per onde di compressione che di taglio, ha consentito,



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 41 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV “Napoli – Bari”, tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

tenendo conto di tutti i fattori geologici riscontrati di individuare un orizzonte che ben rappresenta il terro della formazione tufacea.

L'individuazione di tale orizzonte non è avvenuta solo mediante il tracciamento di una isolina di velocità, ma con una analisi critica dell'andamento sia delle VP che delle V_{SH} . Ciò si è reso necessario soprattutto in virtù del fatto che la qualità della formazione tufacea, in particolare del Tufo Giallo litoide si è mostrata molto variabile in termini di fratturazione e compattezza, in accordo con le stratigrafie dei sondaggi eseguiti nell'area PE S40 ,P8, Pe S09, PNIF 51V03, PE S10, PE S11 e i pozzetti PZ2 e PZ3. In particolare, gli spessori di tale formazione (che a sua volta posa su tufi grigi litoidi o cineriti) è molto variabile e oscilla da circa 7 m fino ad un minimo di poco più di un qualche metro nel sondaggio PE S09 e generalmente presenta una fase superficiale alterata che ha un aspetto polveroso e frammentato poco consistente. Anche l' RQD è molto variabile e oscilla tra il 15% (PES09 fase superficiale alterata) mentre più in generale varia tra il 60% e 80% circa nelle restanti aree. Queste caratteristiche quindi rendono meno netto del previsto il contrasto di velocità tra i terreni piroclastici superficiali e i tufi. Tuttavia, considerando le calibrazioni ottenute dalle indagini dirette si è riusciti ad identificare un livello di passaggio che più correttamente andrebbe inteso come una “fascia di trasizione”.

4.1.2 VI06

L'indagine eseguita, sismica a rifrazione, era finalizzata all'individuazione del calcare, previsto a profondità di circa 40 m (vedi allegato I tavv.5-11).

L'indagine, di 670 m complessivi, è stata divisa in 3 parti per questioni logistiche (attraversamenti stradali). Nella parte più a Sud il calcare è stato individuato a profondità lievemente maggiori rispetto a quelle attese, comprese tra circa 43/50m dal p.c. come confermato dai sondaggi PE S21, PES22; l'orizzonte poi, procedendo verso nord risale fino a un massimo di 37 m dal p.c. come si riscontra nel sondaggio P16. In generale, l'indice RQD presenta valori discreti denotando comunque un livello mediamente fratturato.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B".
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 42 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV “Napoli – Bari”, tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

4.2 Galleria Monte Aglio

4.2.1 Galleria Naturale

L'indagine geoelettrica eseguita, ha avuto una estensione di circa 3800m ed è stata eseguita lungo l'asse della galleria in progetto (vedi allegato I tavv.19 e 22). L'indagine ha messo bene in evidenza diverse zone di fratturazione nei calcari, con valori di resistività più bassi e correlabili a diverse faglie già note sulla cartografia geologica nelle quali è molto probabilmente una circolazione idrica correlata però principalmente alle precipitazioni (abbondanti nel periodo dell'indagine). Le aree invece a resistività più elevate denotano invece aree sicuramente prive di circolazione idrica ma, visti gli elevati valori di resistività, con presenza di microcarsismo e fratturazione, abbastanza diffusi. Non si ha evidenza di cavità di elevate dimensioni (rilevabili con un rilievo con passo elettrodo pari 10m).

Nell'area degli imbocchi sono stati messi molto bene in evidenza i due sovrascorrimenti che mettono a contatto le argille varicolori e i calcari. Si notano dei passaggi netti con bruschi abbassamenti di resistività inferiori a 100 Ωm .

4.2.2 Gallerie artificiali – imbocco “lato Maddaloni”

Per le gallerie artificiali sono state eseguite sia indagini geoelettriche passo 5m, sia indagini sismica passo 2,5m per una lunghezza di circa 1000m per ciascuna indagine e una sovrapposizione di circa 500 m con l'indagine ERT passo 10m (vedi allegato I tavv.13-14 e 20).

L'indagine ERT, come accennato nel paragrafo precedente mette bene in evidenza il passaggio dai calcari alle argilliti, mostrando un marcato abbassamento delle resistività. Tutto ciò ben concorda con i carotaggi eseguiti ed in particolare con PNIF51G0 e S05 (inclinato di 55%) che, nonostante la vicinanza, mostrano rispettivamente argilliti e calcari.

L'indagine sismica si raccorda molto bene si correla alla geoelettrica mostrando però per le argilliti una velocità sismica abbastanza elevata, in accordo con la natura da litoide a semilitoide delle



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 43 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV “Napoli – Bari”, tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

stesse. Bene si evidenziano calcari sub affioranti nella parte terminale e le varie strutture presenti derivanti dalla tettonica che ha operato nella regione.

4.2.3 Gallerie artificiali – imbocco “lato Benevento”

Anche per questo imbocco, come nel precedente, sono state eseguite indagini sismiche e geoelettriche rispettivamente passo 2,5m e passo 5m, in parziale sovrapposizione alla linea ERT passo 10 m (vedi allegato I tavv.16-17 e 21).

In questo caso, per l’attraversamento della statale SS265.

Anche in questo caso le indagini ben si raccordano con le indagini dirette mostrano bassi valori di resistività in corrispondenza dei terreni argillosi e velocità sismiche che aumentano man mano che le argilliti assumono consistenza litoide.

4.3 Conclusioni

Le indagini eseguite, mettendo in relazione tutte le metodologie geofisiche utilizzate e le prove dirette, ben descrivono l’assetto geologico delle aree investigate.

In particolare:

- per i viadotti VI01 e VI02 è stato definito un orizzonte o più correttamente una fascia di passaggio dai terreni superficiali alle facies alteratee litoidi del tufo;
- per il VI06 è stato individuato il limite superiore dei calcari;
- per la galleria naturale sono state discriminate aree di fratturazione con probabile circolazione idrica riconducibili a faglie e aree ad elevata resistività associabili ad aree fratturate e carsificate. Non si hanno evidenti, in relazione al dettaglio richiesto per l’indagine, di zone di cavità di grandi dimensioni;
- nelle zone degli imbocchi sono stati individuati i sovrascorrimenti già cartografati che sovrappongono i calcari alle argilliti, distinguendo le facies più litoidi e quelle poco consistenti.

Per i dettagli si rimanda all’elaborato grafico dalla presente relazione.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 44 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

5 BIBLIOGRAFIA

- Archie G.E., 1942. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Transaction of the AIME* 146, 54-62.
- Biot M. A., 1956. Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. *Journal of the Acoustic Society of America*, 28(2), 168-191.
- Biot M. A., 1962. Mechanism of deformation and acoustic propagation in porous media. *Journal of Applied Physics*, 33(4), 1482-1498.
- Boadu F. K., 1997. Fractured rock mass characterization parameters and seismic properties: Analytical studies. *Journal of Applied Geophysics*, 36, 1-19.
- Boadu F. K., & Long, T. L., 1996. Effects of fractures on seismic-wave velocity and attenuation. *Geophysical Journal International*, 127, 86-110.
- Bruckl E., 1987. the interpretation of travelttime fields in refraction seismology. *Geophysical Prospecting*, 35: 973-992.
- Burnham G. F. & Hawke, P. J., Smart solution to a sticky problem: in-mine clay mapping using high-resolution geophysics. (In Press).
- Cadoret T., Marion D. & Zinszner B., 1995. Influence of frequency and fluid distribution on elastic wave velocities in partially saturated limestones. *Journal of Geophysical Research*, 100 (B6), 9789-9803.
- Cavinato G. P., Di Luzio E., Moscatelli M., V, R., Averardi M., Valente A., & Papale, S., 2006. The new Col di Tenda tunnel between Italy and France: Integrated geological investigations and geophysical prospections for preliminary studies on the Italian side. *Engineering Geology* 88, 90-109.
- Carcione J. M., Gurevich B., & Cavallini F., 2000. A generalized Biot-Gassmann model for the acoustic properties of shaley sandstones. *Geophysical Prospecting*, 48, 539-557.
- Carrara E., Rapolla A., & Roberti N., 1992. Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo: metodi geoelettrici e sismici. Liguori Ed., Napoli.
- Carrara E., Pece R. & Roberti N., 1994. Geoelectrical and seismic prospection in hydrogeology: model and master curves for the evaluation of porosity and water saturation. *Pageoph.*, 143 (4), 729-751.
- Carrara E., Mazzazcca A., Pece R., Roberti N. & Vanorio T., 1999. Evaluation of porosity and saturation degree by laboratory joint measurements of velocity and resistivity: a model improvement. *Pure and Applied Geophysics*, 154, 211-255.
- Castagna J.P., Batzle M.L. & Eastwood R.L., 1985. Relationships between compressional-wave and shear-wave velocities in clastic silicate rocks. *Geophysics*, 50 (4), 571-581.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B".
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 45 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV “Napoli – Bari”, tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

- De Groot-Hedlin C., & Constable S.C., 1990. Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data, *Geophysics*, 55, 1613-1624.
- Dey A. a Morrison H.F., 1979. Resistivity modeling for arbitrarily shaped two-dimensional structures, *Geophysical Prospecting*, 27(1), 106-136.
- Gassman F., 1951. Elastic waves though a packing of spheres. *Geophysics*, 16, 673-685.
- Gaviglio P., 1989. Longitudinal waves propagation in a limestone: the relationship between velocity and density. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 22, 299-306.
- Gebrande H., & Miller H., 1985. Refraktionsseismik, in *Angewandte Geowissenschaften II, Methoden der Angewandten Geophysik und mathematische Verfahren in Geowissenschaften*, edited by F. Bender, pp. 226-260, F. Enke Verlag, Stuttgart.
- Hagerdoorn J. G., 1959. The plus minus method of interpreting seismic refraction section. *Geophysical Prospecting*, 7: 158-182
- Han D. H., Nur A., & Dale M., 1986. Effect of porosity and clay content on wave velocities in sandstones. *Geophysics*, 51(11), 2093-2107.
- Hudson T. A., Jones E. T., & New B. M., 1980. P-wave velocity measurements in a machine bored chalk tunnels. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 13, 33-43.
- Goldberg I. & Gurevich B., 1998. A semi-empirical velocity-porosity-clay model for petrophysical interpretation of P- and S-velocities. *Geophysical Prospecting*, 46, 271-285.
- Glyn M. Jones & Jovanovich D. B., 1985. A ray inversion method for refraction analysis. *Geophysics*, 50(11), 1701-1720.
- Iliceto V., Finotti F. & Zandonai F., 2003. Water content and critical thresholds on embankments through electrical tomography. *Geologia Tecnica & Ambientale*, 4, 41-51.
- Jun-Su Choi , Hee-Hwan Ryu, In-Mo Lee, Gye-Chun Cho, 2006. Rock Mass Classification Using Electrical Resistivity – an Analytical Study, Key Engineering.
- Kahraman S., 2002. The effects of fracture roughness on P-wave velocity. *Engineering Geology*, 63, 347-350.
- Keller G.V. & Frischknecht F.C., 1966. Electrical methods in geophysical prospecting. Pergamon Press, Oxford, 517ss.
- Klimentos T., & McCann C., 1990. Relationships among compressional wave attenuation, porosity, clay content, and permeability in sandstones. *Geophysics*, 55(8), 998-1014.
- Knackstedt M.A., Arns C.H. & Pinczewski W.V., 2003. Velocity-porosity relationships: I. Accurate velocity model for clean sandstones. *Geophysics*, 68 (6), 1822-1834.
- Knackstedt M.A., Arns C.H. & Pinczewski W.V., 2005. Velocity-porosity relationships: predictive velocity model for cemented sands composed of multiple mineral phases. *Geophysical Prospecting*, 53, 349-372.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 46 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV "Napoli – Bari", tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

- Kovallis B. J., Jones L. E., & Wang H. F., 1984. Velocity Porosity Clay content systematics of poorly consolidated sandstones. *Journal of Geophysical Research*, 89(B12), 10355-10364.
- LaBrecque D. J., Morelli G., Daily W., Ramirez A. and Lundegard P. (1999). Occam's inversion of 3-D electrical resistivity tomography, in Oristaglio, M. and Spies, B., Ed., Three-dimensional electromagnetics: Soc. of Expl. Geophys., 575-590.
- Leucci G., 2004. I metodi elettromagnetico impulsivo, elettrico e sismico tomografico a rifrazione per lo studio di problematiche ambientali: sviluppi metodologici e applicazioni. Università consorziate di Lecce, Messina e Palermo: Tesi di Dottorato di Ricerca in Geofisica per l'Ambiente ed il Territorio (XV Ciclo).
- Leucci G. & De Giorgi L.. Studio degli effetti delle fratture sulla variazione di velocità di propagazione delle onde P ed S nelle calcareniti GNGTS – Atti del 22° Convegno Nazionale / 11.19
- Liu Z., Rector J. W., Nihei K. T., Tomusa L., Myer L. R., & Nakagawa, S., 2001. Extensional wave attenuation and velocity in partially-saturated sand in the sonic frequency range. SEG Int'l Exposition and Annual Meeting. San Antonio, Texas.
- Long J. C., & Witherspoon P. A., 1985. The relationship of the degree of interconnection to permeability in fractures networks. *Journal of Geophysical Research*, 90, 3087-3098.
- Loke M.H., 2000. A practical guide to 2D & 3D electrical imaging surveys. *Material*, Vols. 321-323, pp. 1411-1414, Trans Tech Publications, Switzerland.
- Marion D., Nur A., Yin H., & Han D., 1992. Compressional velocity and porosity in sand-clay mixtures. *Geophysics*, 57(4), 554-563.
- Morelli G. & LaBrecque D.J., 1996. Advances in ERT modeling, *Eur. J. Environ. Eng. Geophys.*, 1, 171-186.
- Morelli G., LaBrecque D. J., Ramirez A. L., & Daily W. D., 1997. 3D ERT applied to the monitoring of Joule heating: Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems (SAGEEP), 417-424.
- Park S.K. & Van G.P., 1991. Inversion of pole-pole data for 3-D resistivity structure beneath arrays of electrodes, *Geophysics*, 56, 951-960.
- Ramirez A., Daily W., Binley A., & La Brecque D.J., 1999. Electrical impedance tomography of known targets, *J. of Environmental and Engineering Geophysics*, 4(1), 11-26, 1999.
- Reynolds J. M., 1997. An introduction to applied and environmental geophysics, pp. 415-488, Wiley, England.
- Sasaki Y., 1994. 3-D resistivity inversion using the finite-element method, *Geophysics*, 59(11), 1839-1848.
- Sassa K., Ryu M., & Sugimoto T., 1984. P-wave velocities in rock mass with water-saturated cracks. Proceedings of the 6th Japan Symposium of Rock Mechanics, p. 163-168).
- Tosaya C. & Nur A., 1982. Effects of lack of parallelism in sample faces on measurements of ultrasonic attenuation. *Geophysical Research letters*, 9 (1), 5-8.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE



	<h2>DIMMS CONTROL</h2>	Revisione: 00 Data: 28/09/2017 Pagina 47 di 48
	Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV “Napoli – Bari”, tratta Cancello – Frasso Telesino – Valle di Maddaloni (CE) Indagini Geofisiche	

- Truell R. & Oates W., 1963. Velocity-porosity relationships: predictive velocity model for cemented sands composed of multiple mineral phases. *Journal of the Acoustic Society of America*, 35, 1382-1385.
- Waxman M.H. & Smits L.J.M., 1968. Electrical conductivities in oil-bearing shaly sands. *Soc. Pet. Eng. J.*, 8, 107-122.
- Watanabe T., & Sassa K., 1995. Velocity and amplitude of P-waves transmitted through fractured zones composed of multiple thin low-velocity layers. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 32(4), 313-324.
- Wei Z. Q., Egger P. & Descoeudres F., 1995. Permeability predictions for joined rock mass. *International Journal of Rock Mechanics and Mineral Sciences & Geomechanics Abstracts*, 32, 251-261.
- Winsauer W.O. & McCardell W.M., 1953. Ionic double-layer conductivity in reservoir rock. *Trans. of Am. Inst. of Min., Met. And Petr. Eng.*, 198, 129-134.
- Wyllie M. R., Gregory A. R., & Gardner G. H., 1962. Studies of elastic wave attenuation in porous media. *Geophysics*, 27(3), 569-589.
- Wyllie M., Gregory A. R., & Gardner G. H., 1956. Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media. *Geophysics*, 21(1), 41-70.
- Worthington P.F., 1993. The uses and abuses of the Archie equations, 1. The formation factor-porosity relationship. *Journal of Applied Geophysics*, 30, 215-228.



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE





DIMMS CONTROL

Progettazione esecutiva per la realizzazione
della linea ferroviaria AV "Napoli - Bari", tratta
Cancello - Frasso Telesino - Valle di Maddaloni (CE)

Indagini Geofisiche

Revisione: 00
Data:
28/09/2017
Pagina 48 di 48

6 ALLEGATO I - ELABORATI GRAFICI



Registered Office
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
ITALY
P.IVA 01872430848
www.dimms.it

Headquarter
Area Ind.le di Avellino
Via Campo di Fiume, 13
83030 Montefredane (AV)
ITALY
Tel: +39 0825 24353
Fax: +39 0825 248705

Laboratories Milano
SS11 Padana Superiore, 317
20090 Vimodrone (MI)
Tel/Fax: +39 02 27402621

Romanian branch office
Bulevardul Regina Maria, 32
Parter, birou 204, modul "B",
Sectorul 4, C.P.040125 Bucuresti
ROMANIA
CUI: RO29649090
tel: +40 21 367 3178
fax: +40 21 367 3442

Mozambique branch office
Estrada Nacional n°4
Av. da Namaacha km 16
Bairro do Fomento
Distrito Municipal da Matola
MOZAMBIQUE





Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV 'Napoli-Bari'.

Indagini geofisiche

Allegato grafico

Emissione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato
Rev. 00	15/06/2018	Claudio De Paola	Donato Fiore	Massimo De Iasi

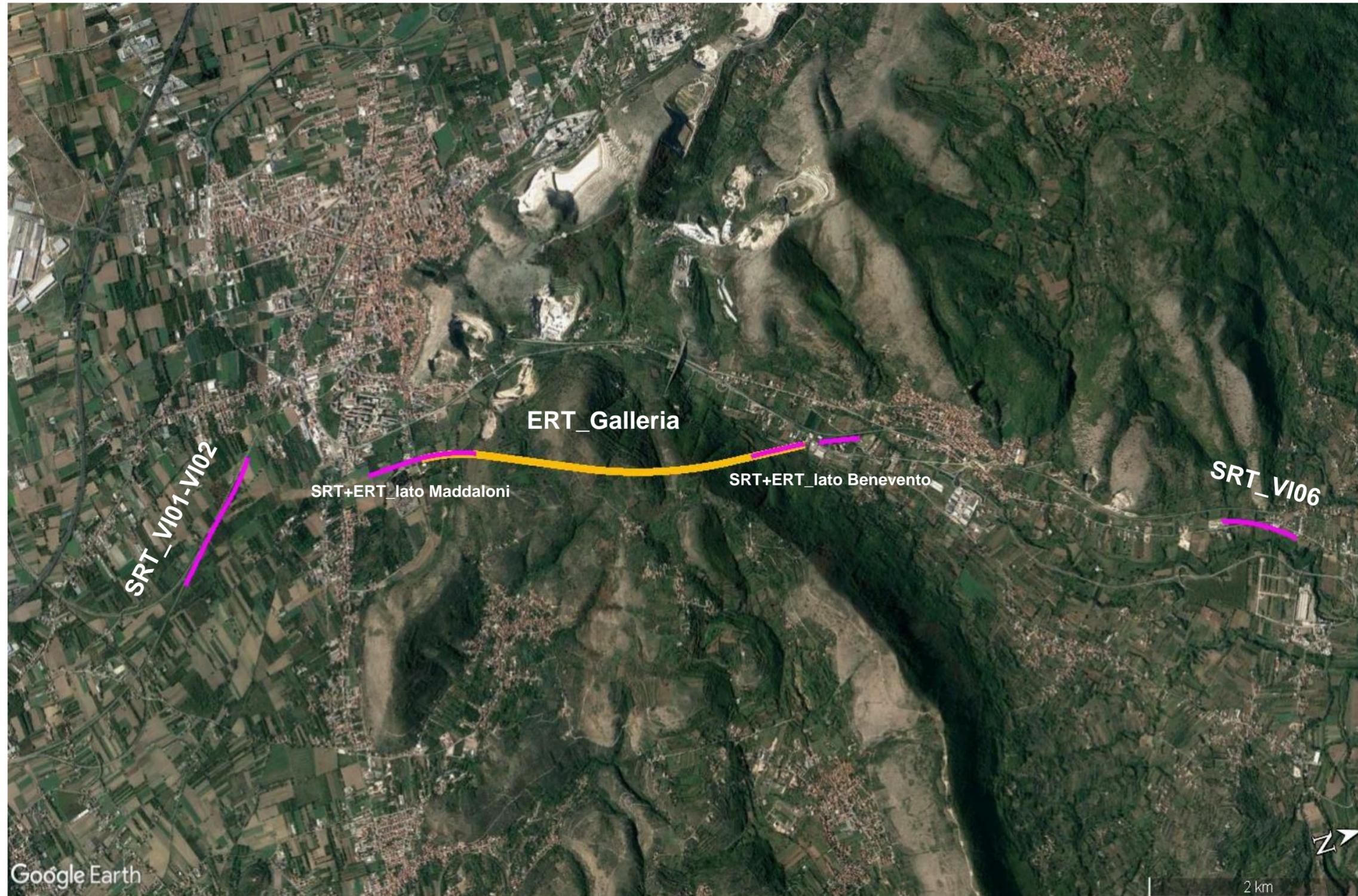
Lavoro:
Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello – Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.

Committente
Consorzio CFT

Indagine:
SRT e ERT
Data esecuzione:
04 -16/02/2018

Tavola: 1
Ubicazione indagini

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





Lavoro:
Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello – Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.

Committente
Consorzio CFT

Indagine:
SRT

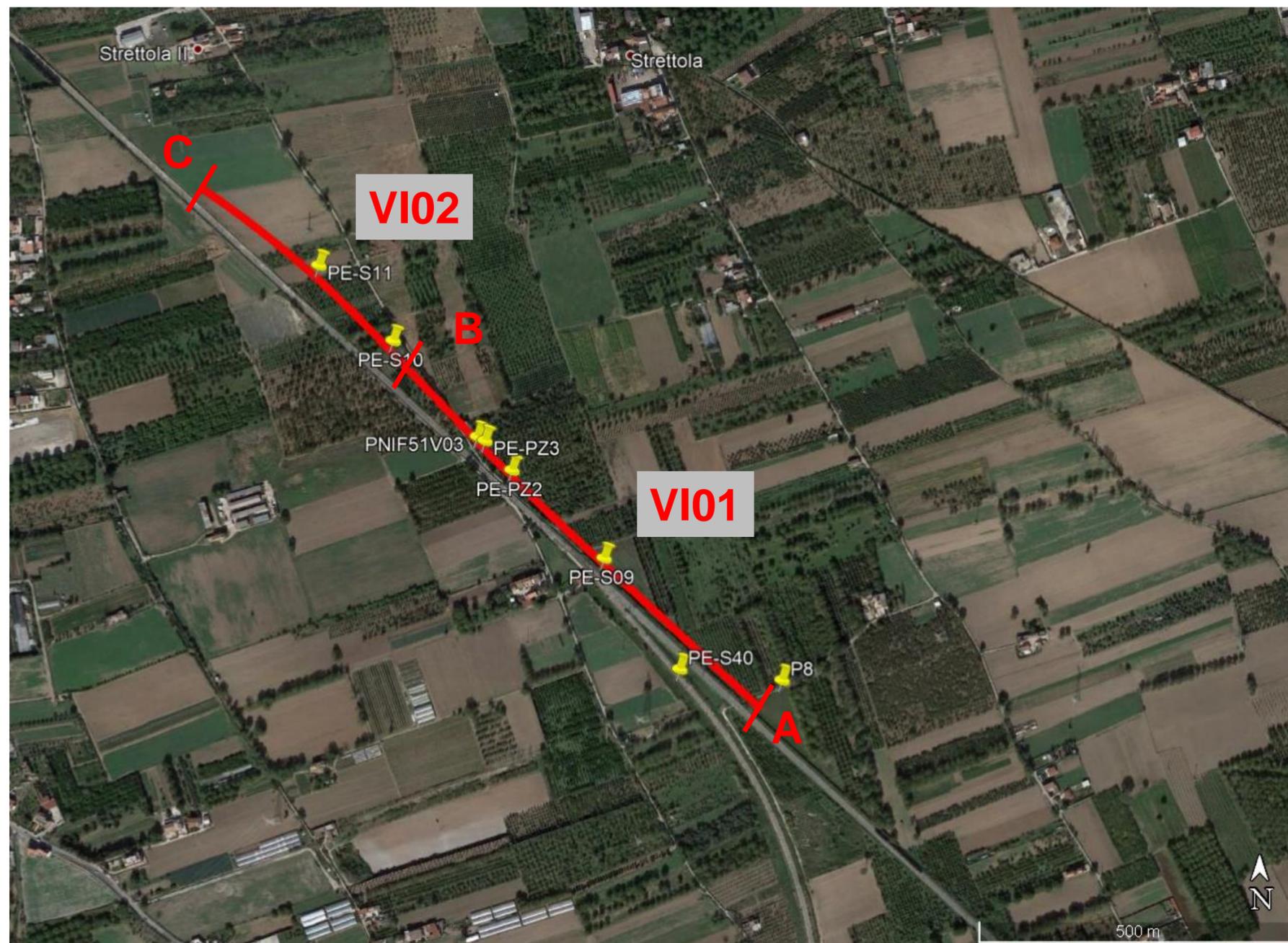
Data esecuzione:
04 -16/02/2018

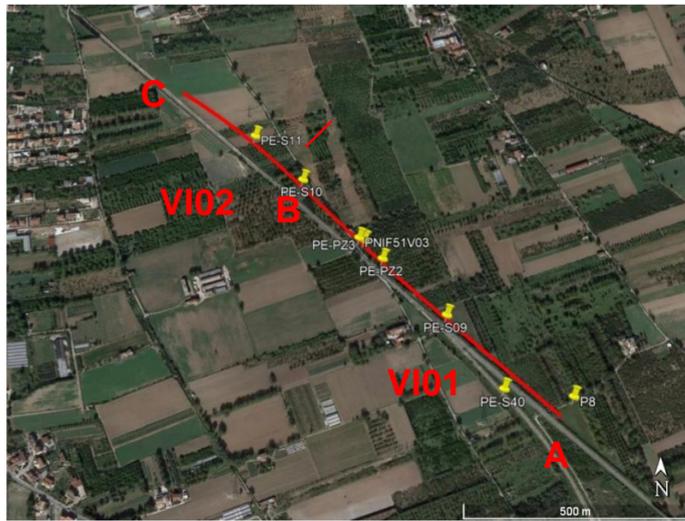
Tavola: 2
Ubicazione linea VI01 – VI02

Elaborato:
Fabio Pagliara

Verificato:
Donato Fiore

Approvato:
Massimo De lasi





ID Punto	E	N
A	148668.8957	342451.22
B	148053.7104	343042.795
C	148663.7946	342455.949

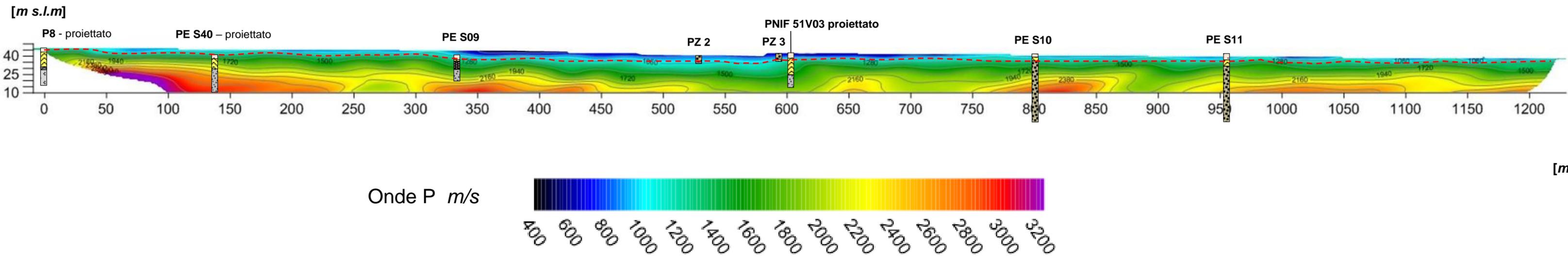
Lavoro:
Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.

Committente
Consorzio CFT

Indagine:
SRT
Data esecuzione:
04 -16/02/2018

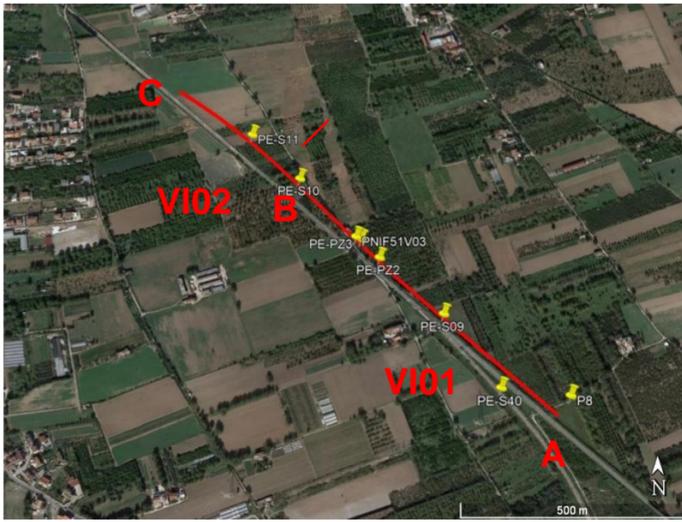
Tavola: 3
VI01 - VI02
Onde P

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



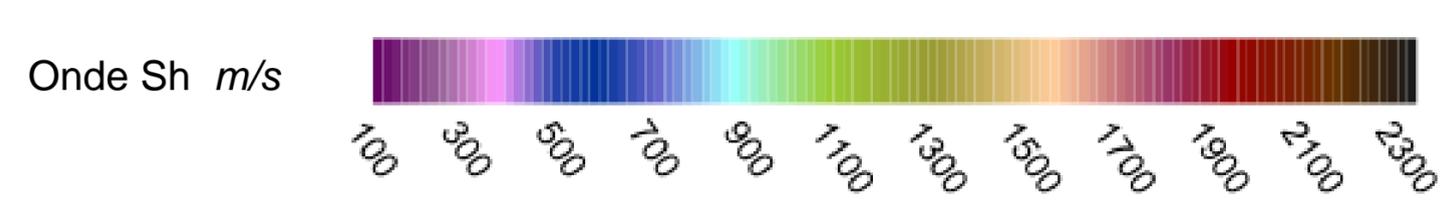
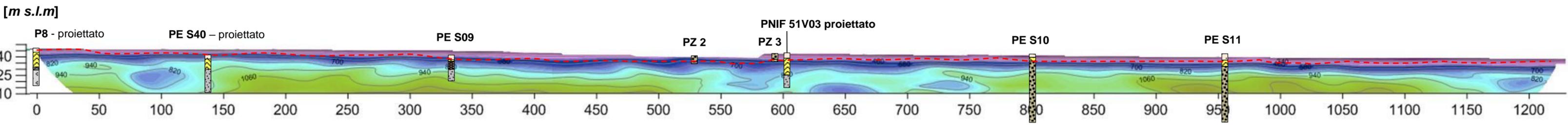
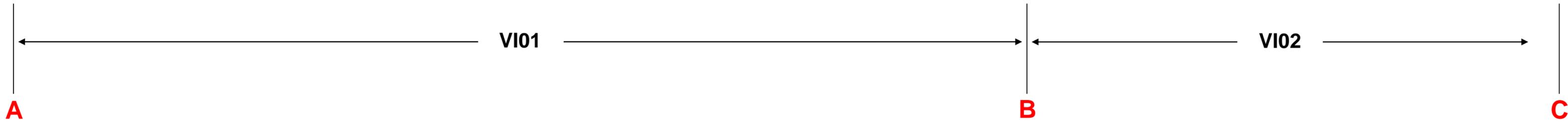
	Terreno di copertura		Deposito piroclastico
	Tufo giallo		Limi argillosi
	Tufo grigio		Ignimbrite campana
	Sabbia vulcanica		Cinerite grigia
			Calcari

Limite Tufi da litoidi a semilitoidi/fratturati desunto dall'andamento medio delle VP e VSh



ID Punto	E	N
A	148668.8957	342451.22
B	148053.7104	343042.795
C	148663.7946	342455.949

Lavoro: Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.	Committente Consorzio CFT	Indagine: SRT Data esecuzione: 04 -16/02/2018	Tavola: 4 VI01 - VI02 Onde Sh	Elaborato: Fabio Pagliara Verificato: Donato Fiore Approvato: Massimo De Iasi
---	-------------------------------------	--	--	---



	Terreno di copertura		Deposito piroclastico
	Tufo giallo		Limi argillosi
	Tufo grigio		Ignimbrite campana
	Sabbia vulcanica		Cinerite grigia
			Calcari

Limite Tufi da litoidi a semilitoidi/fratturati desunto dall'andamento medio delle VP e VSh

Lavoro:

Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.

Committente

Consorzio CFT

Indagine:

SRT

Data

esecuzione:
04 -16/02/2018

Tavola: 5

Ubicazione linea
VI06

Elaborato:

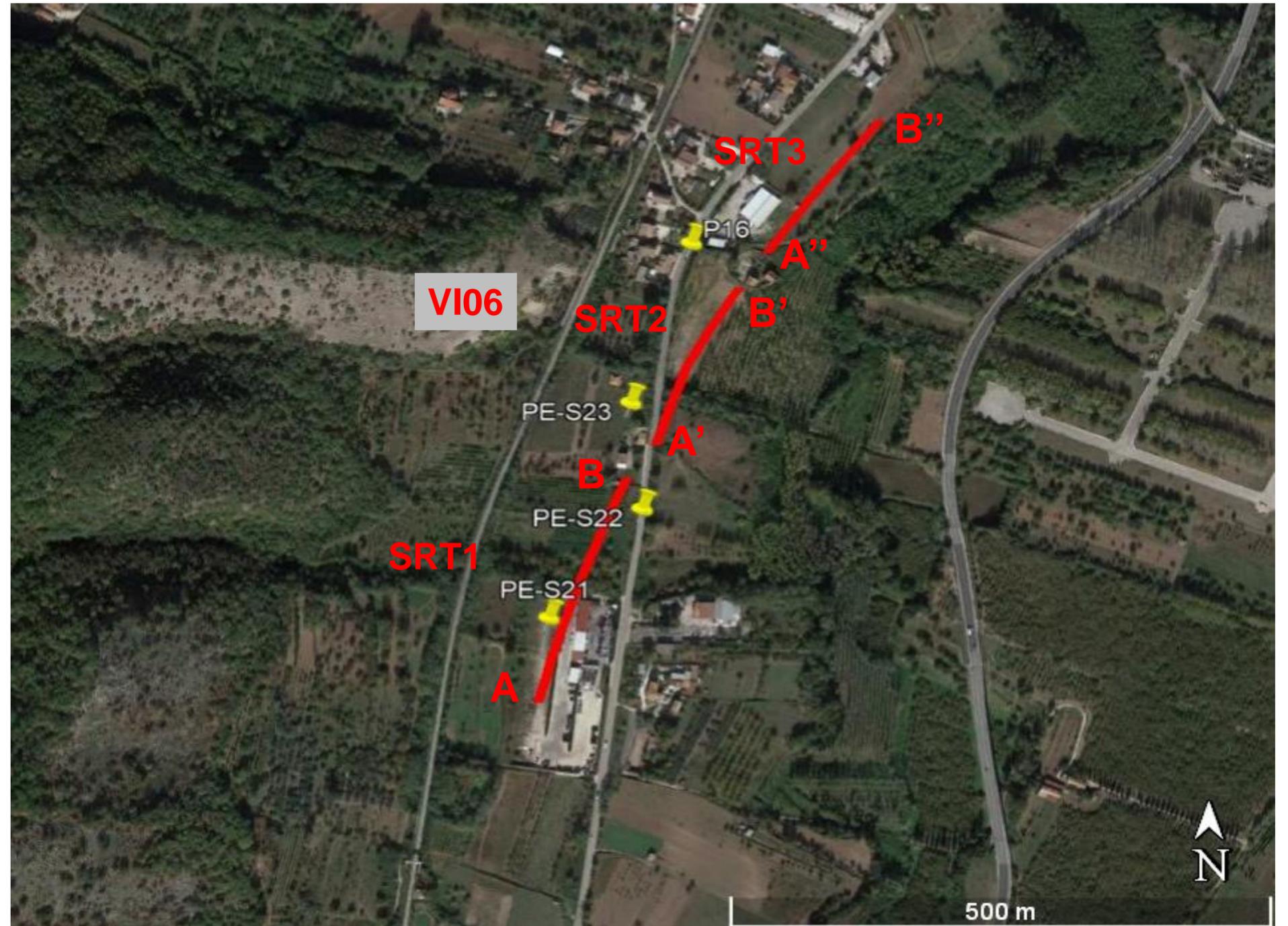
Fabio Pagliara

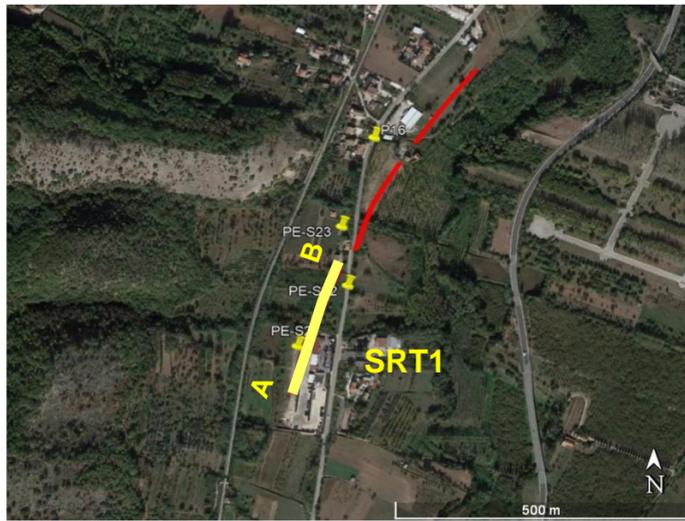
Verificato:

Donato Fiore

Approvato:

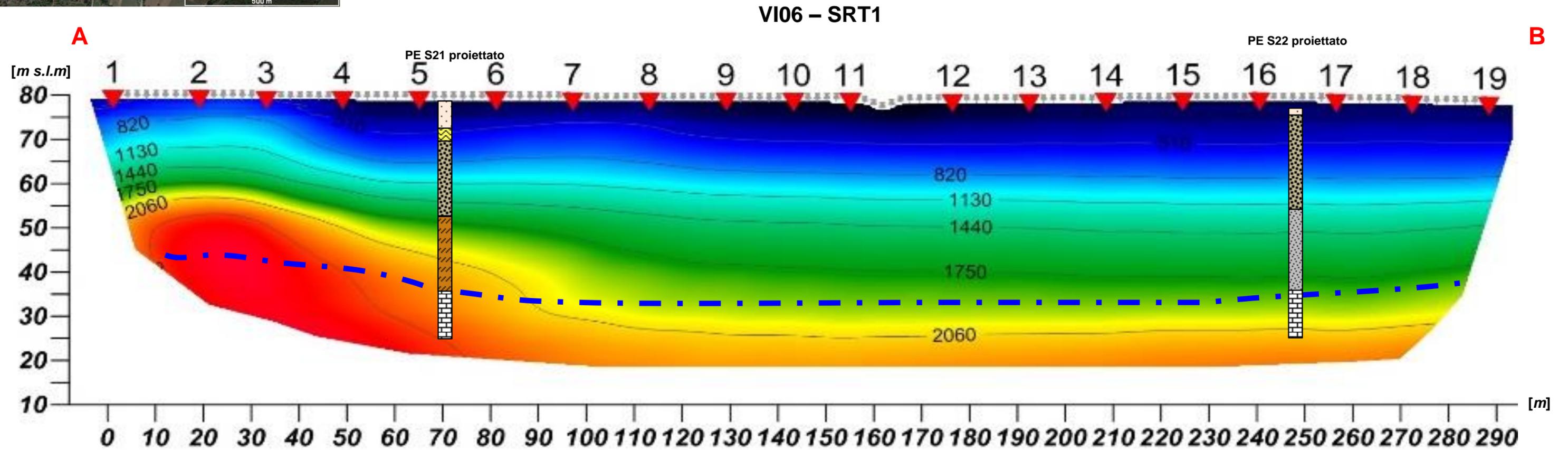
Massimo De Iasi





ID Punto	E	N
A	150683.1783	351568.0388
B	150762.3263	351790.9467

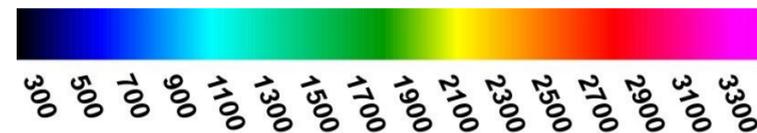
Lavoro: Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.	Committente Consorzio CFT	Indagine: SRT	Tavola: 6 VI06 - SRT1 Onde P	Elaborato: Fabio Pagliara Verificato: Donato Fiore Approvato: Massimo De Iasi
		Data esecuzione: 04 -16/02/2018		

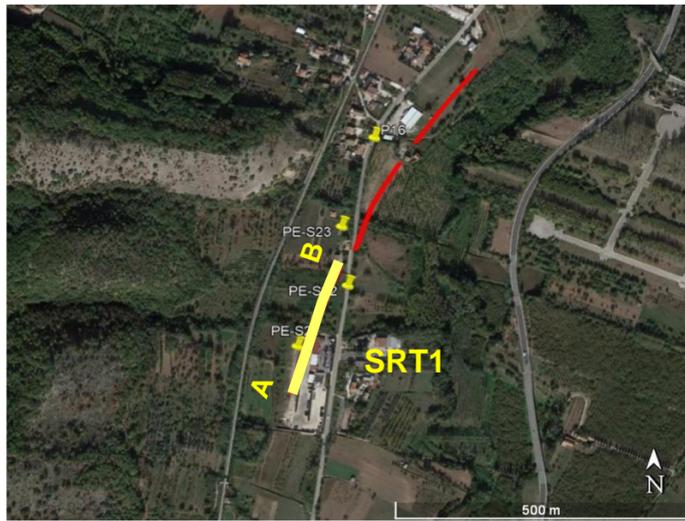


	Terreno di copertura		Deposito piroclastico
	Tufo giallo		Limi argillosi
	Tufo grigio		Ignimbrite campana
	Sabbia vulcanica		Cinerite grigia
			Calcarei

Limite calcari

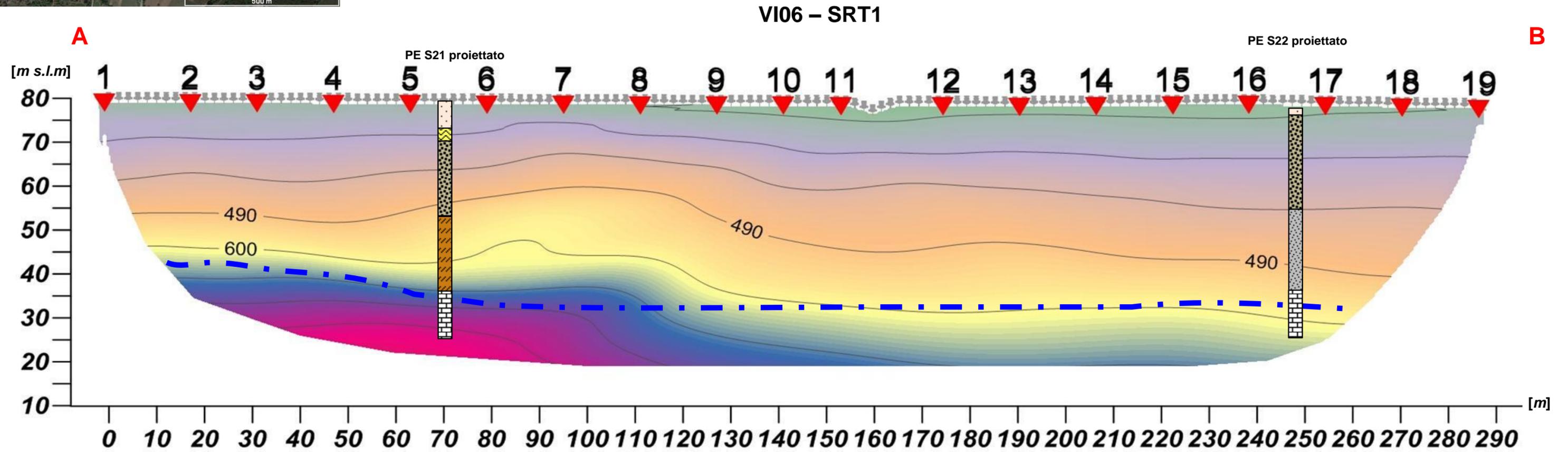
Vp - m/s



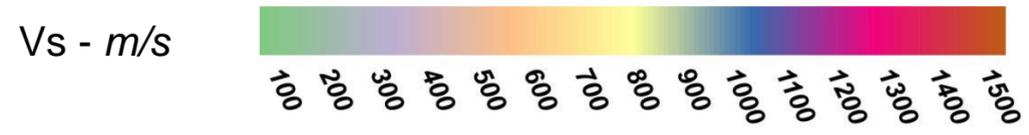


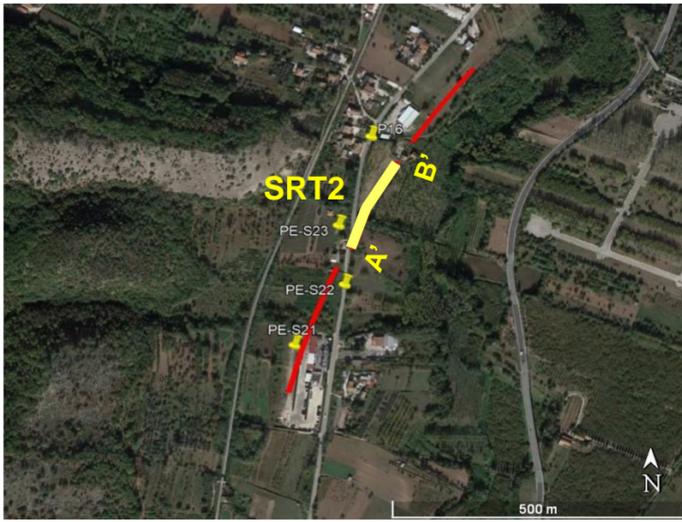
ID Punto	E	N
A	150683.1783	351568.0388
B	150762.3263	351790.9467

Lavoro: Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.	Committente Consorzio CFT	Indagine: SRT	Tavola: 7 VI06 - SRT1 Onde Sh	Elaborato: Fabio Pagliara
		Data esecuzione: 04 -16/02/2018		Verificato: Donato Fiore
				Approvato: Massimo De Iasi



Terreno di copertura	Deposito piroclastico
Tufo giallo	Limi argillosi
Tufo grigio	Ignimbrite campana
Sabbia vulcanica	Cinerite grigia
	Calcarei
	Limite calcari





ID Punto	E	N
A'	150790.8730	351835.2076
B'	150867.6128	351998.7796

Lavoro:
Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.

Committente:
Consorzio CFT

Indagine:
SRT

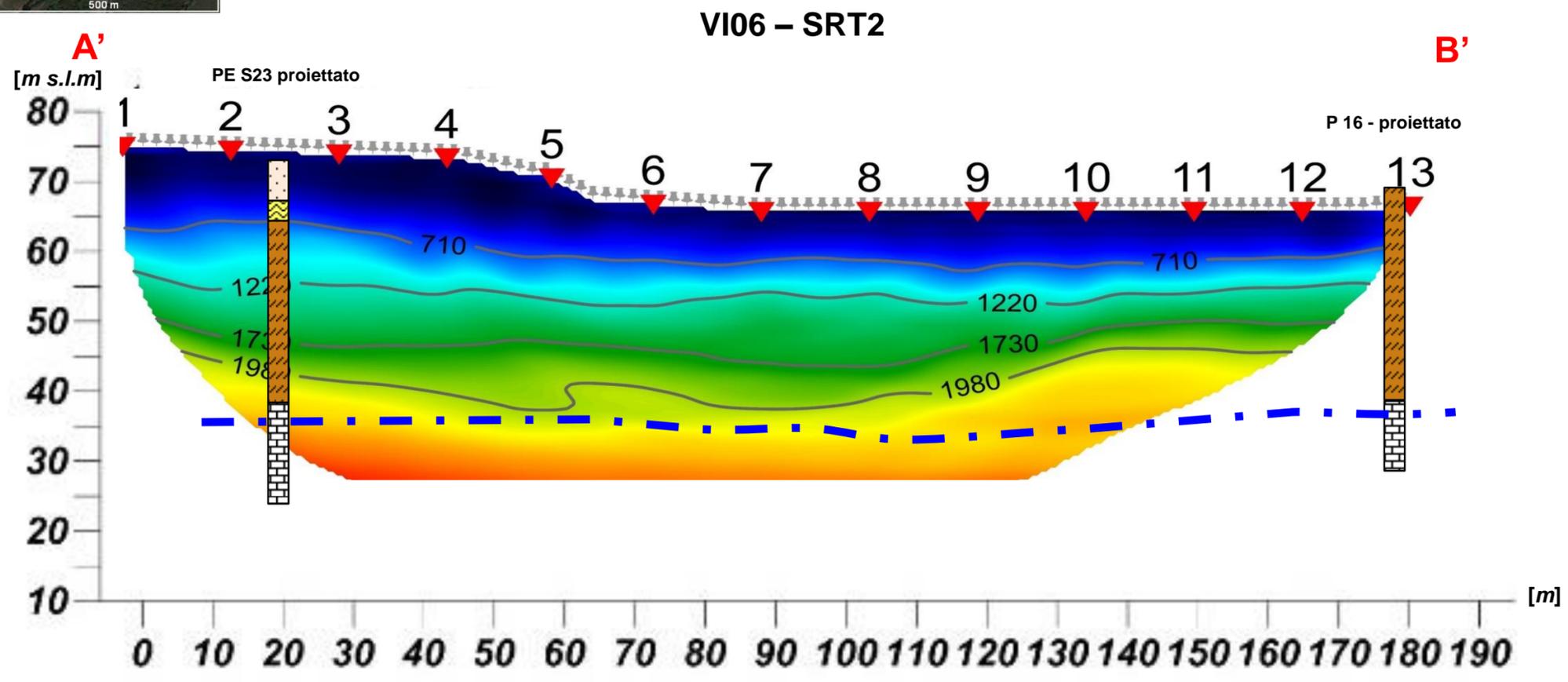
Data esecuzione:
04 -16/02/2018

Tavola: 8
VI06 - SRT2
Onde P

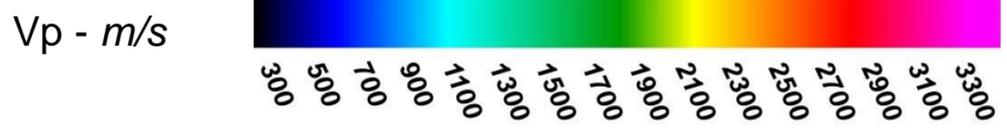
Elaborato:
Fabio Pagliara

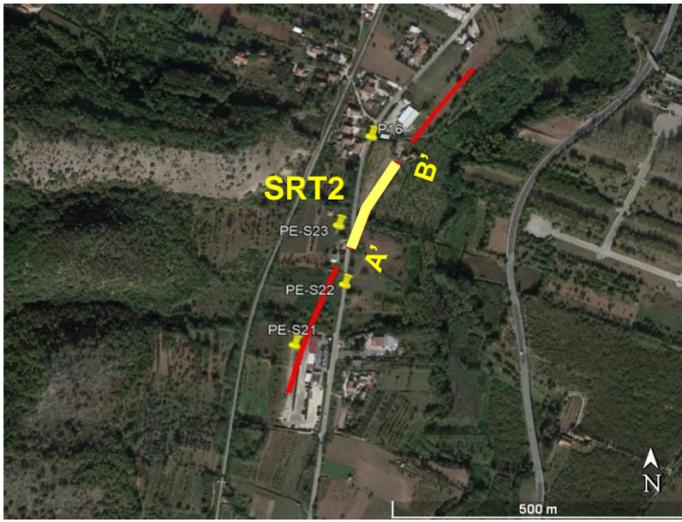
Verificato:
Donato Fiore

Approvato:
Massimo De Iasi



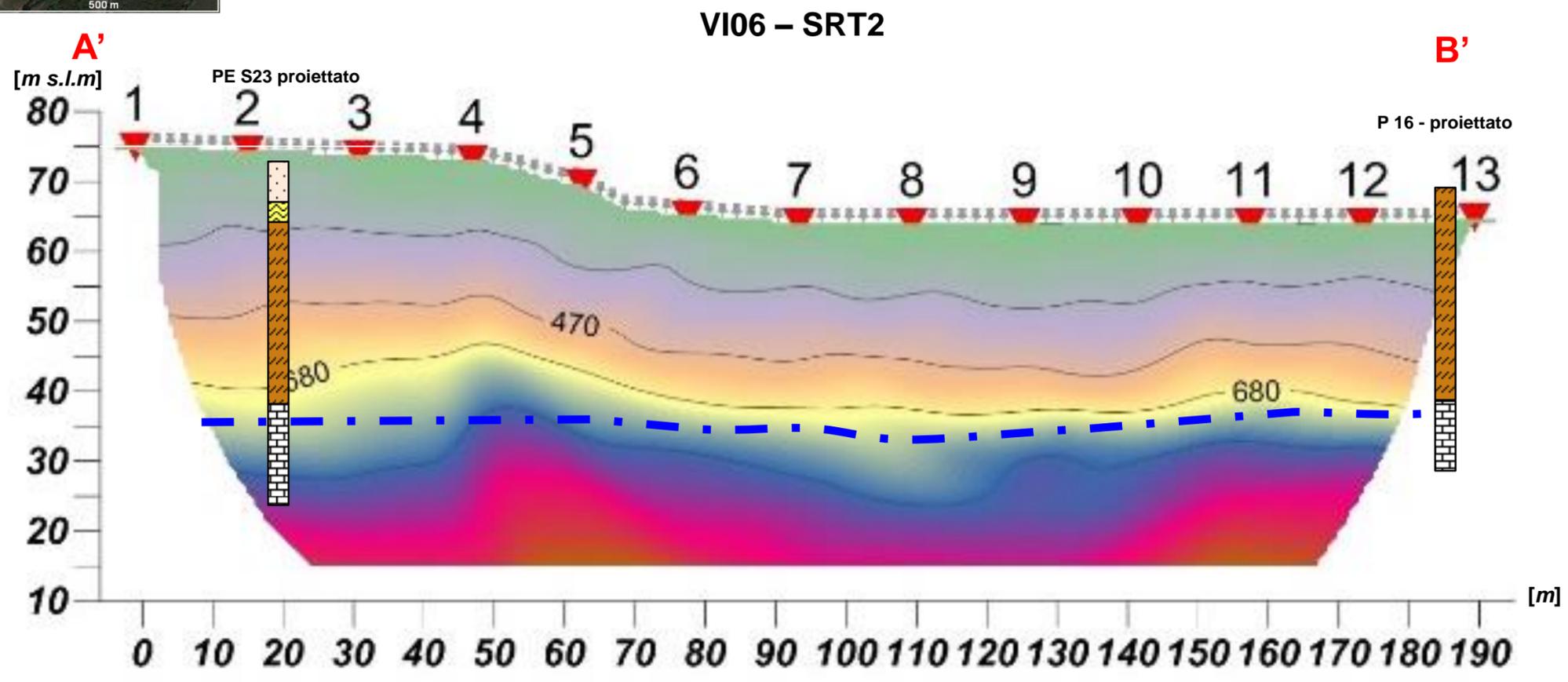
Terreno di copertura	Deposito piroclastico
Tufo giallo	Limi argillosi
Tufo grigio	Ignimbrite campana
Sabbia vulcanica	Cinerite grigia
	Calcarei
	Limite calcari



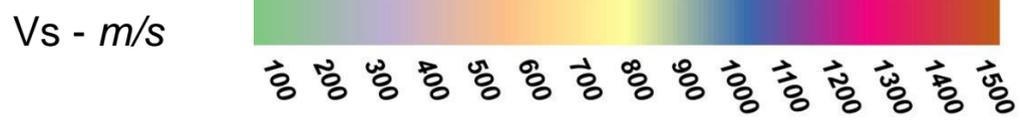


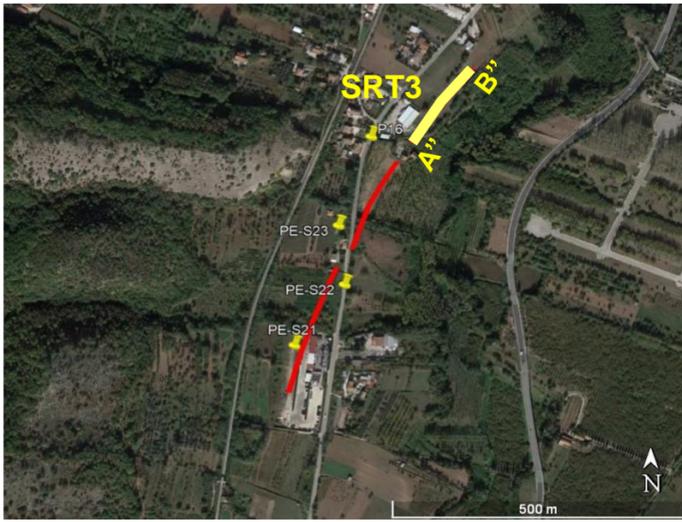
ID Punto	E	N
A'	150790.8730	351835.2076
B'	150867.6128	351998.7796

Lavoro: Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.	Committente Consorzio CFT	Indagine: SRT	Tavola: 9 VI06 - SRT2 Onde Sh	Elaborato: Fabio Pagliara
		Data esecuzione: 04 -16/02/2018		Verificato: Donato Fiore
				Approvato: Massimo De Iasi



Terreno di copertura	Deposito piroclastico
Tufo giallo	Limi argillosi
Tufo grigio	Ignimbrite campana
Sabbia vulcanica	Cinerite grigia
	Calcarì
	Limite calcari

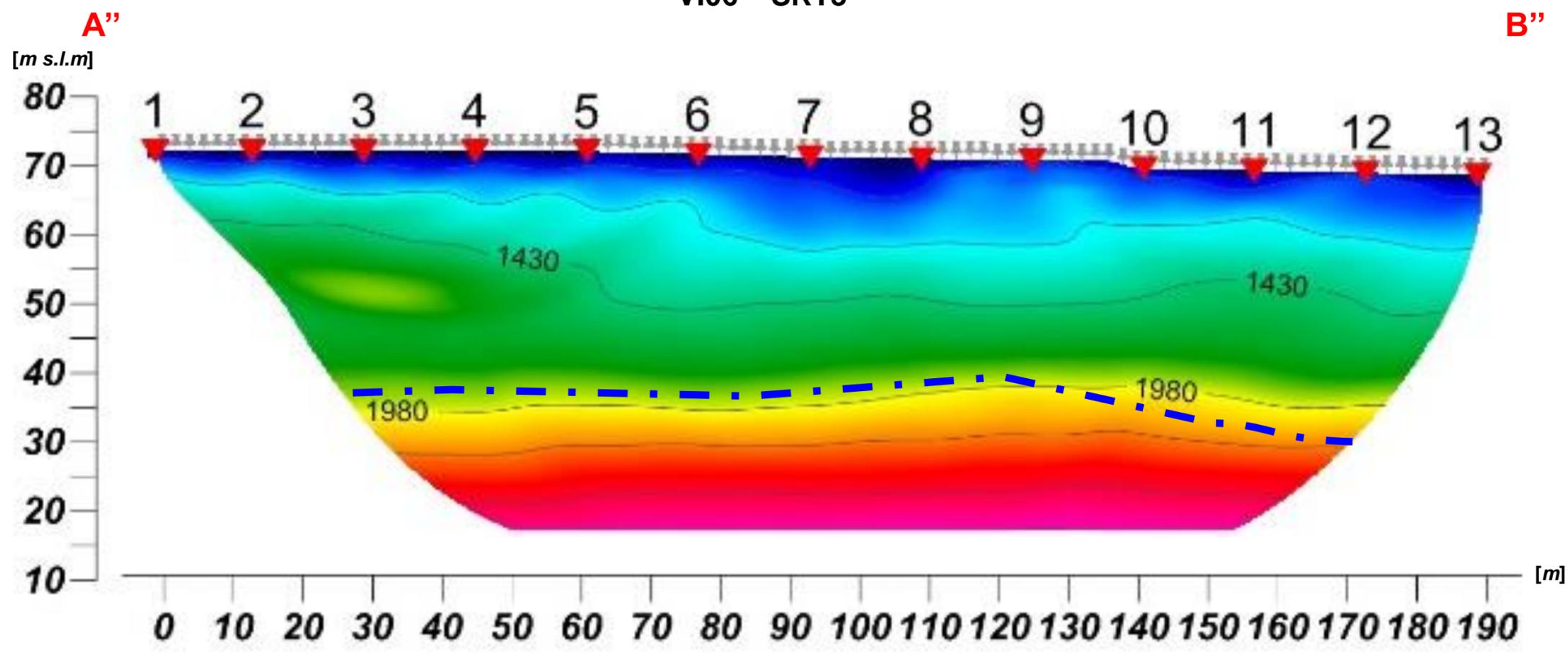




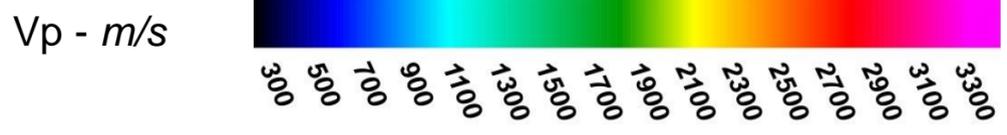
ID Punto	E	N
A''	150893.2970	352022.1096
B''	151011.1566	352187.7902

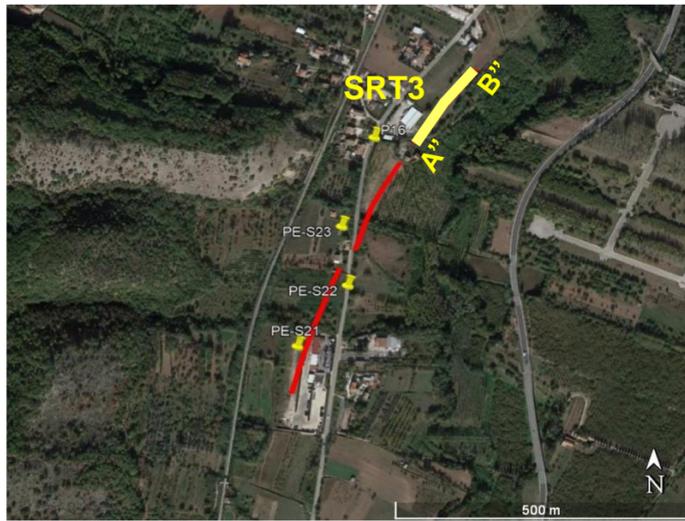
Lavoro: Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.	Committente Consorzio CFT	Indagine: SRT Data esecuzione: 04-16/02/2018	Tavola: 10 VI06 - SRT3 Onde P	Elaborato: Fabio Pagliara Verificato: Donato Fiore Approvato: Massimo De Iasi
---	-------------------------------------	---	--	---

VI06 - SRT3



Terreno di copertura	Deposito piroclastico
Tufo giallo	Limi argillosi
Tufo grigio	Ignimbrite campana
Sabbia vulcanica	Cinerite grigia
	Calcarei
	Limite calcari

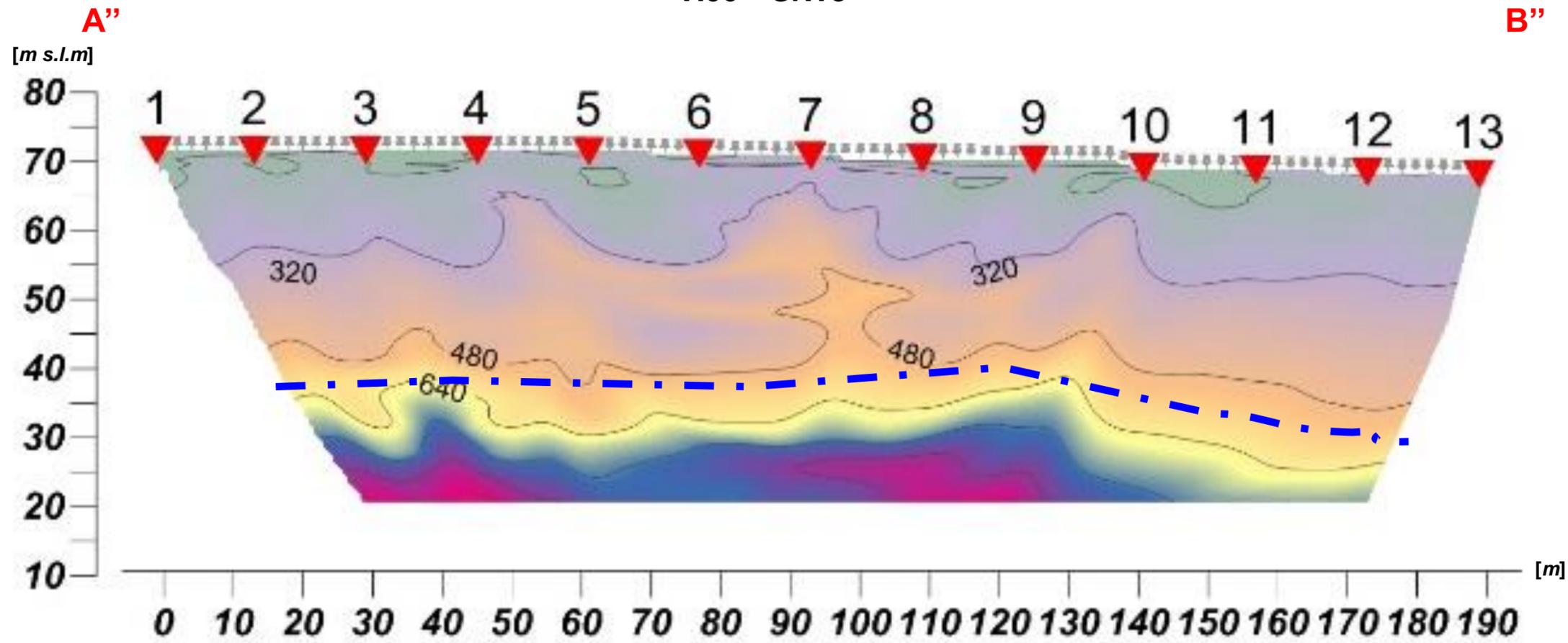




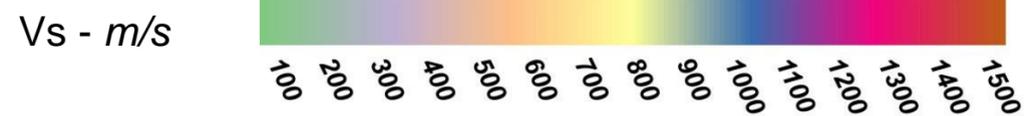
ID Punto	E	N
A''	150893.2970	352022.1096
B''	151011.1566	352187.7902

Lavoro: Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.	Committente Consorzio CFT	Indagine: SRT Data esecuzione: 04-16/02/2018	Tavola: 11 VI06 - SRT3 Onde Sh	Elaborato: Fabio Pagliara Verificato: Donato Fiore Approvato: Massimo De Iasi
---	-------------------------------------	---	---	---

VI06 - SRT3



Terreno di copertura	Deposito piroclastico
Tufo giallo	Limi argillosi
Tufo grigio	Ignimbrite campana
Sabbia vulcanica	Cinerite grigia
	Calcarì
	Limite calcari



Lavoro:

Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.

Committente

Consorzio CFT

Indagine:

SRT

Data

esecuzione:
16-23/05/2018

Tavola: 12

Ubicazione linea
SRT imbocco
Maddaloni

Elaborato:

Pietro Boni

Verificato:

Donato Fiore

Approvato:

Massimo De Iasi





ID Punto	E	N
A	148242.062	344294.573
B	148227.052	344805.883

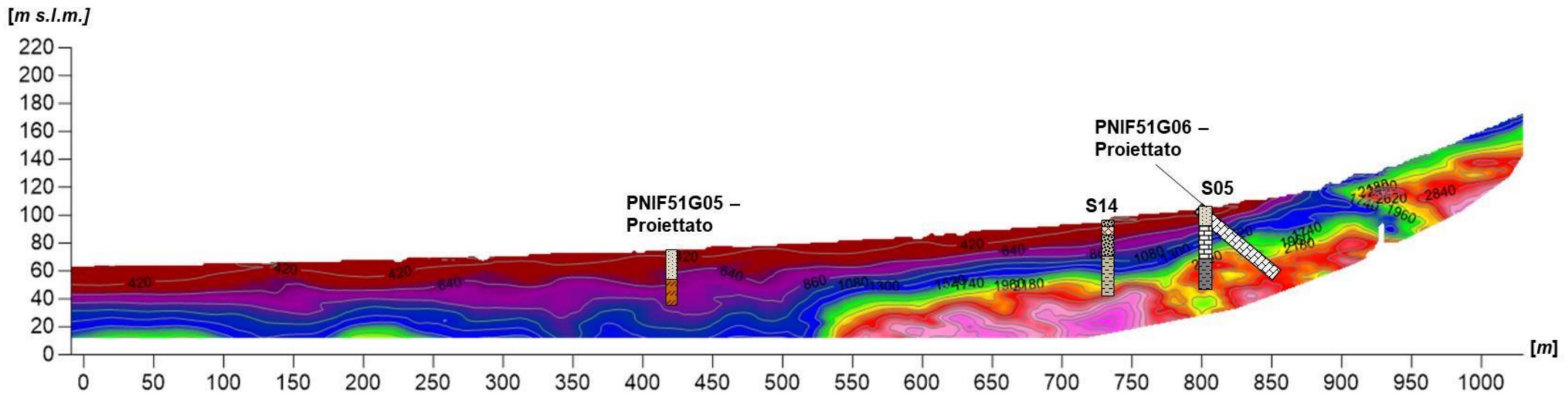
Lavoro: Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello – Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.	Committente Consorzio CFT	Indagine: SRT Data esecuzione: 16-23/05/2018	Tavola: 13 SRT galleria imbocco Maddaloni – ONDA P	Elaborato: Pietro Boni Verificato: Donato Fiore Approvato: Massimo De Iasi
---	-------------------------------------	---	---	--

Terreno di copertura	Limi argillosi
Deposito piroclastico	Argille
Sabbia limosa con inclusi piroclastici	Argillite semilitoide
Tufiti	Argille sovraconsolidate
Limi sabbiosi	Calcari fratturati

A

B

Galleria imbocco Caserta – Onda P





ID Punto	E	N
A	148242.062	344294.573
B	148227.052	344805.883

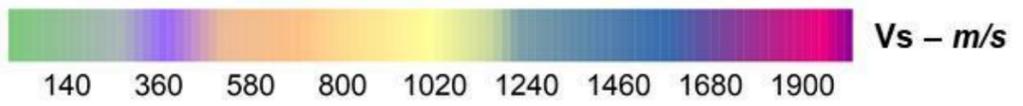
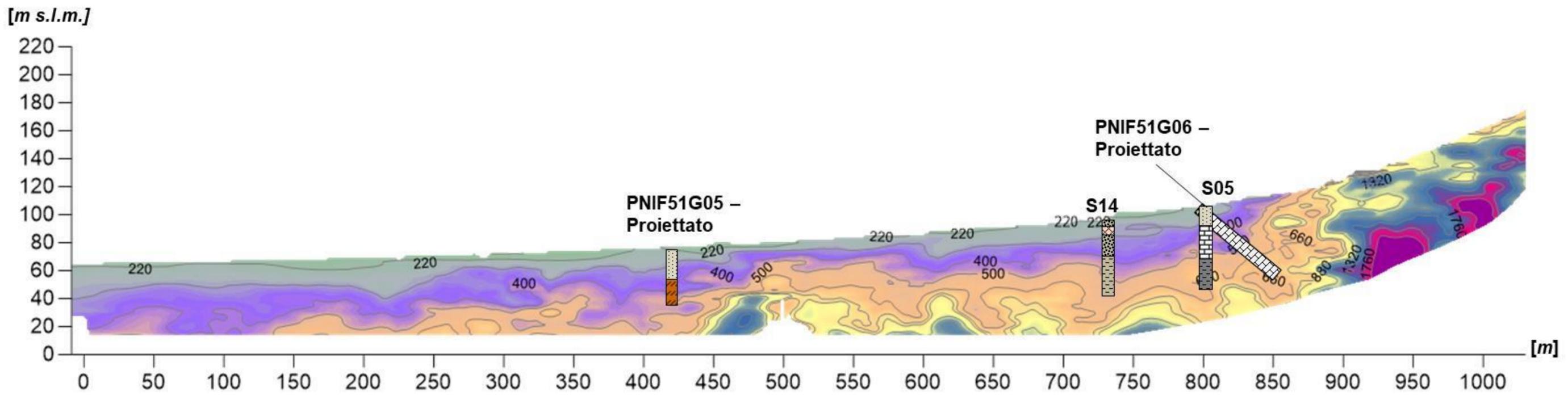
Lavoro: Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello – Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.	Committente Consorzio CFT	Indagine: SRT Data esecuzione: 16-23/05/2018	Tavola: 14 SRT galleria imbocco Maddaloni – ONDA Sh	Elaborato: Pietro Boni Verificato: Donato Fiore Approvato: Massimo De Iasi
---	-------------------------------------	---	--	--

Terreno di copertura	Limi argillosi
Deposito piroclastico	Argille
Sabbia limosa con inclusi piroclastici	Argillite semilitoide
Tufiti	Argille sovraconsolidate
Limi sabbiosi	Calcari fratturati

A

B

Galleria imbocco Caserta – Onda Sh



Lavoro:
Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.

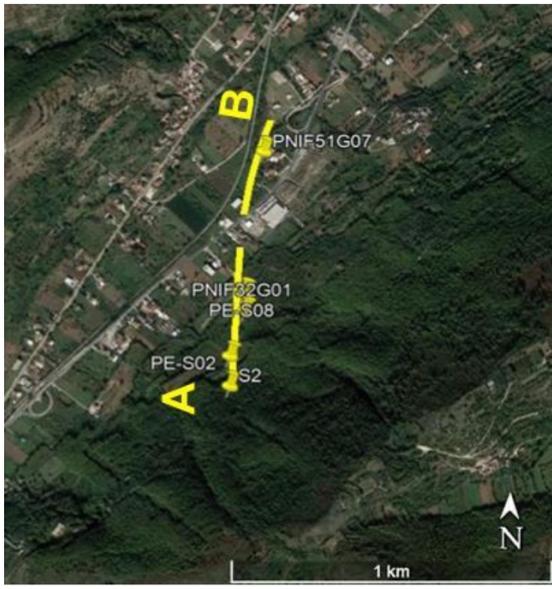
Committente
Consorzio CFT

Indagine:
SRT
Data esecuzione:
24-30/05/2018

Tavola: 15
Ubicazione linea e coordinate SRT imbocco Benevento

Elaborato:
Pietro Boni
Verificato:
Donato Fiore
Approvato:
Massimo De Iasi



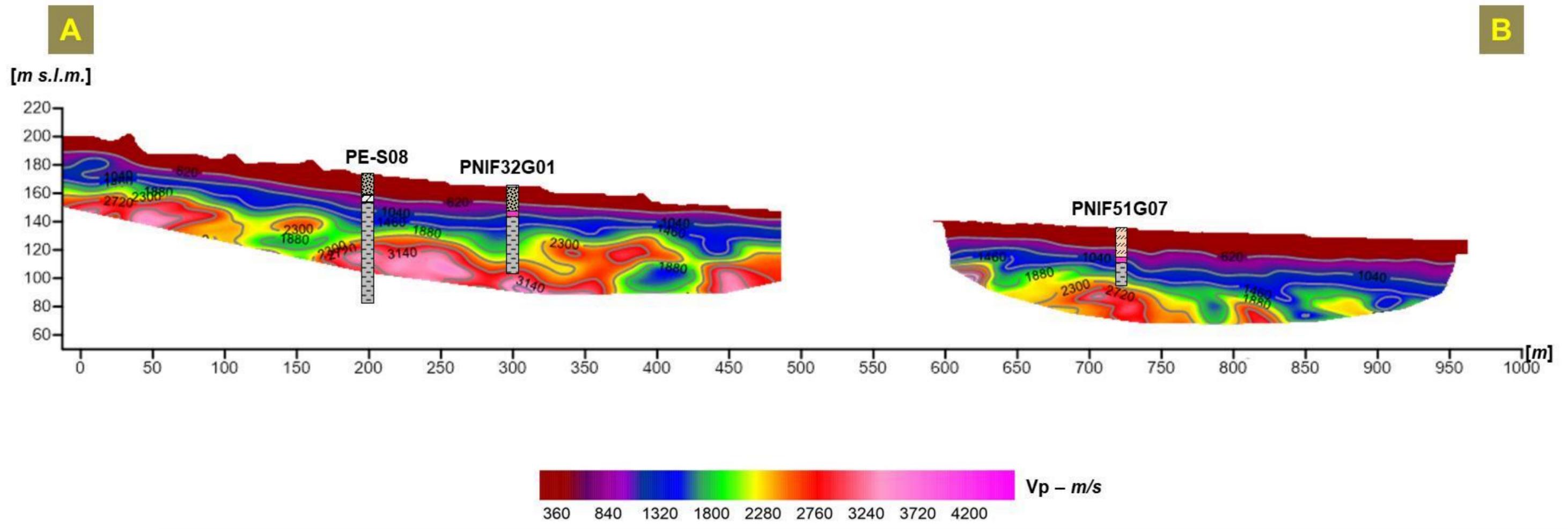


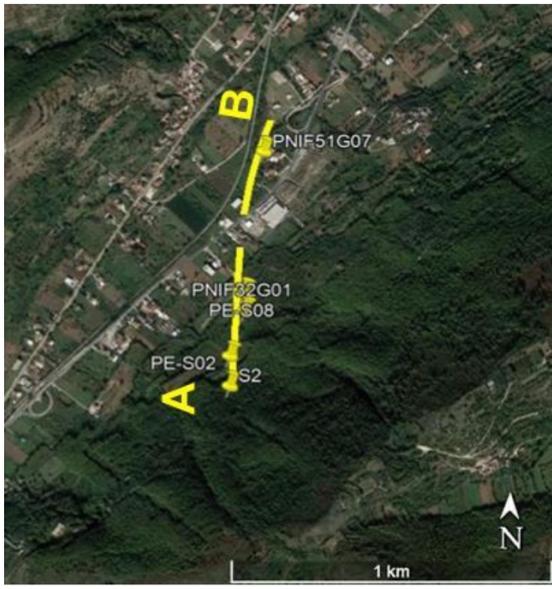
ID Punto	E	N
A	149033.577	347753.555
B	149176.417	348741.927

Lavoro: Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello – Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.	Committente Consorzio CFT	Indagine: SRT Data esecuzione: 24-30/05/2018	Tavola: 16 SRT galleria imbocco Benevento – ONDA P	Elaborato: Pietro Boni Verificato: Donato Fiore Approvato: Massimo De Iasi
---	-------------------------------------	---	--	--

	Terreno di copertura		Argille varicolori
	Deposito piroclastico		Argillite semilitoidi
	Limi argillosi		Argille sovraconsolidate
	Limi argillosi		

Galleria imbocco Benevento – Onda P



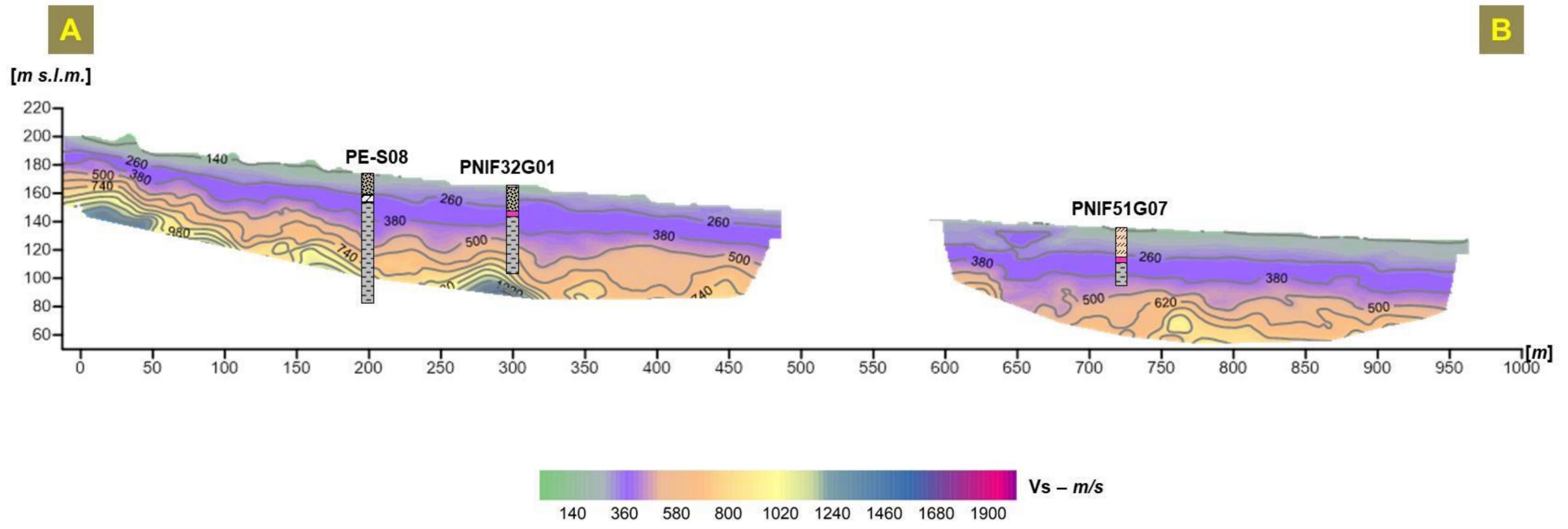


ID Punto	E	N
A	149033.577	347753.555
B	149176.417	348741.927

Lavoro: Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello – Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.	Committente Consorzio CFT	Indagine: SRT Data esecuzione: 24-30/05/2018	Tavola: 17 SRT galleria imbocco Benevento – ONDA Sh	Elaborato: Pietro Boni Verificato: Donato Fiore Approvato: Massimo De Iasi
---	-------------------------------------	---	---	--

	Terreno di copertura		Argille varicolori
	Deposito piroclastico		Argillite semilitoidi
	Limi argillosi		Argille sovraconsolidate
	Limi argillosi		

Galleria imbocco Benevento – Onda Sh



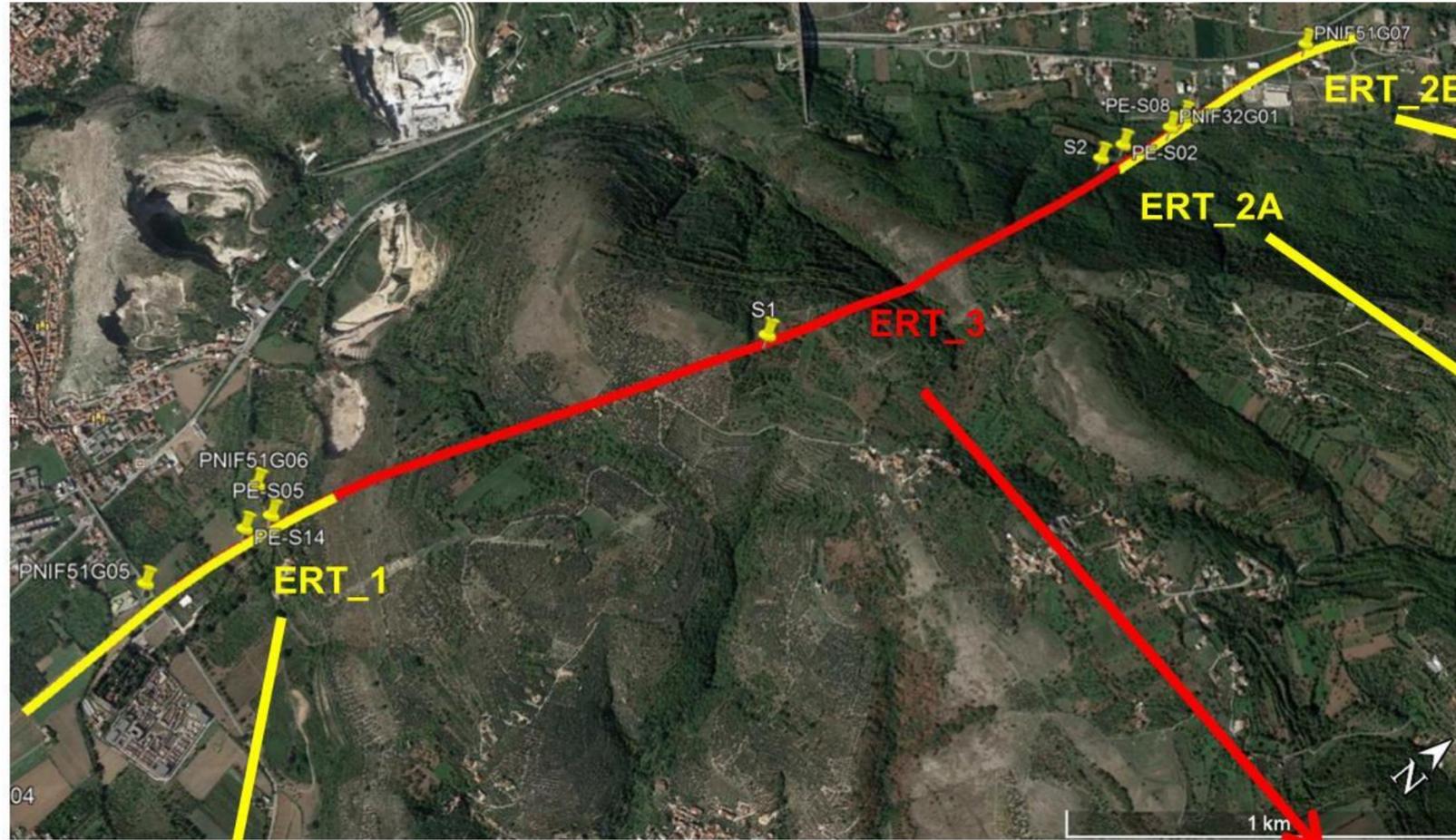
Lavoro:
Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.

Committente
Consorzio CFT

Indagine:
ERT
Data esecuzione:
23-26/04/2018

Tavola: 18
Ubicazione linee ERT

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



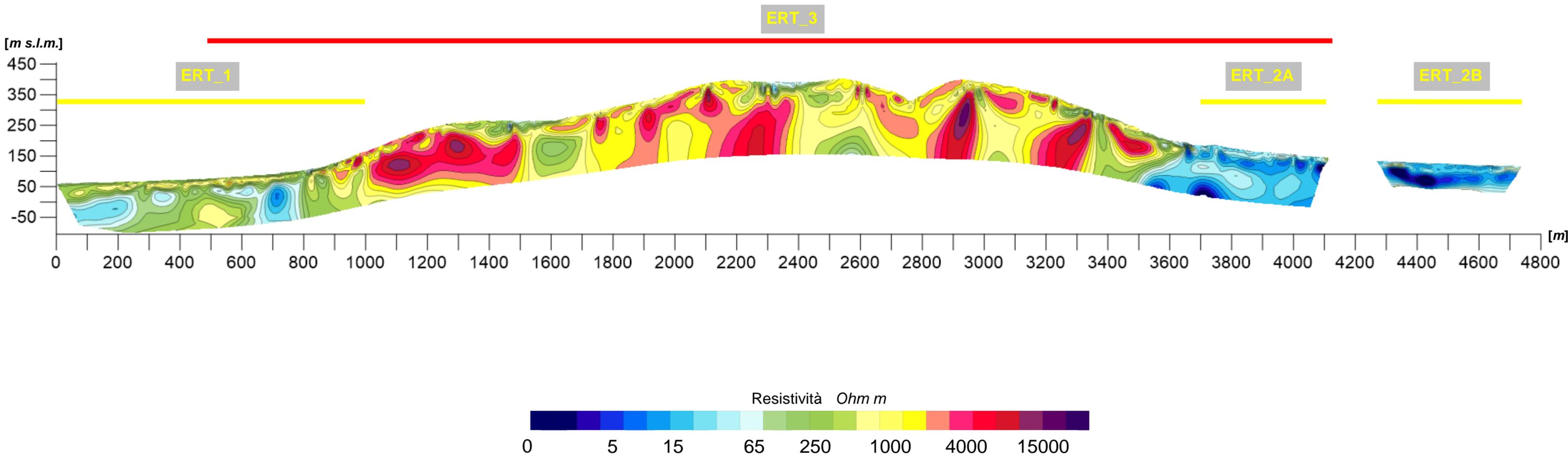
Lavoro:
Progettazione esecutiva
per la realizzazione della
linea ferroviaria AV NA-
BA, tratta Canello -
Frasso Telesino Valle di
Maddaloni (CE). Indagini
geofisiche.

Committente
Consorzio CFT

Indagine:
ERT
Data
esecuzione:
23-26/04/2018

Tavola: 19
ERT Totale

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



ERT_1



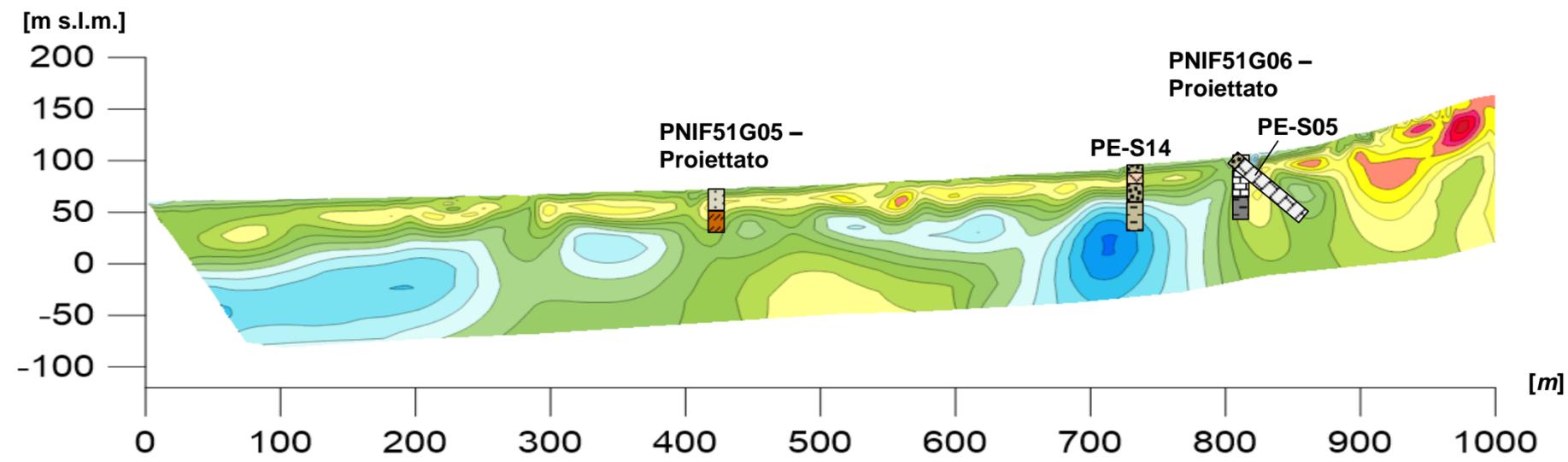
Lavoro: Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.	Committente Consorzio CFT	Indagine: ERT	Tavola: 20 ERT 1	Elaborato: Claudio De Paola
		Data esecuzione: 23-26/04/2018		Verificato: Donato Fiore
				Approvato: Massimo De Iasi

ID Punto	E	N
A	148242.062	344294.573
B	148227.052	344805.883

Passo elettrodico: 5 m

A

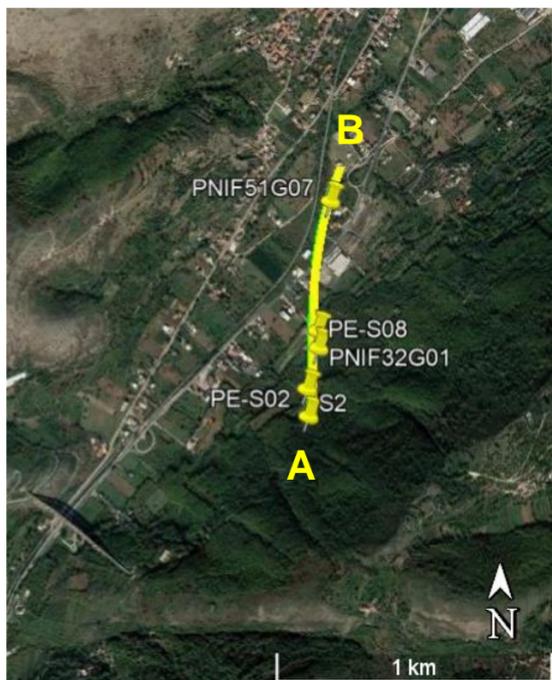
B



	Terreno di copertura		Limi argillosi		Calcari fratturati
	Deposito piroclastico		Argille varicolori		Calcari
	Sabbia limosa		Argille		
	Tufiti		Argillite		
	Limi sabbiosi		Argille sovraconsolidate		



ERT_2A_2B



Lavoro:
Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.

Committente
Consorzio CFT

Indagine:
ERT
Data esecuzione:
23-26/04/2018

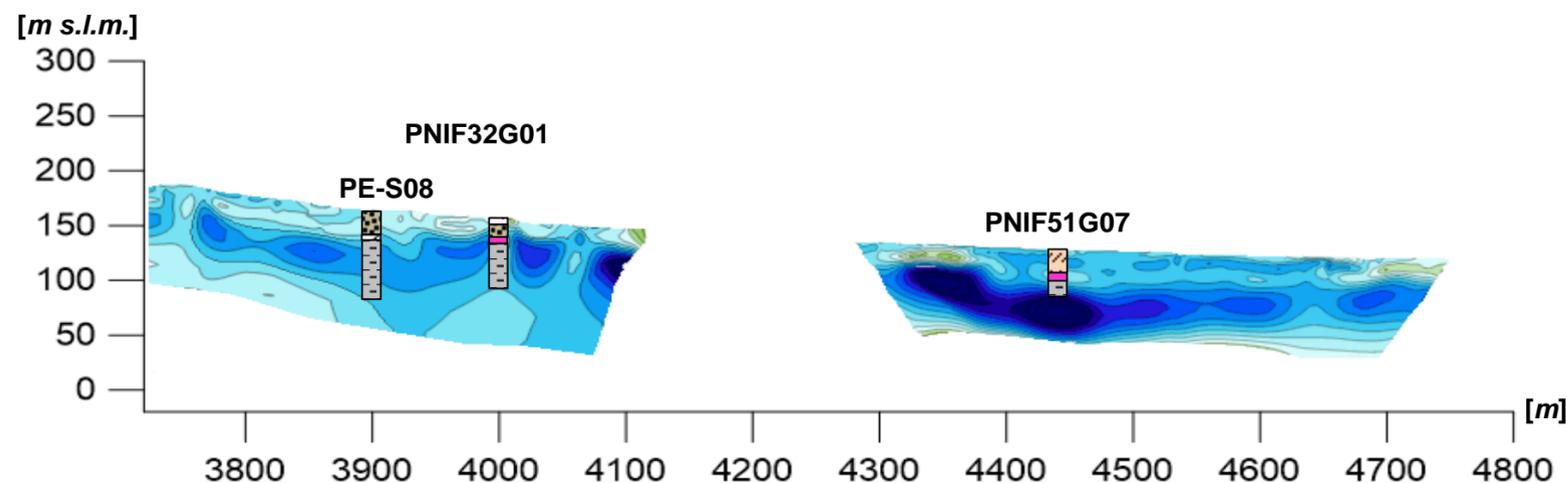
Tavola: 21
ERT_2A_2B

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

ID Punto	E	N
A	149033.577	347753.555
B	149176.417	348741.927

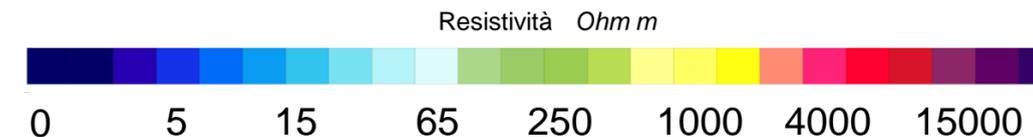
Passo elettrodico: 5 m

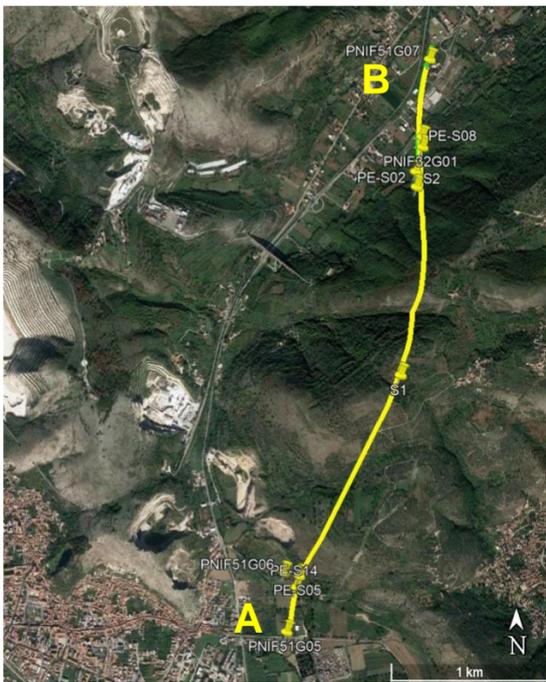
A



B

- | | | | | | |
|--|-----------------------|--|--------------------------|--|--------------------|
| | Terreno di copertura | | Limi argillosi | | Calcari fratturati |
| | Deposito piroclastico | | Argille varicolori | | Calcari |
| | Sabbia limosa | | Argille | | |
| | Tufiti | | Argillite | | |
| | Limi sabbiosi | | Argille sovraconsolidate | | |





ERT_3

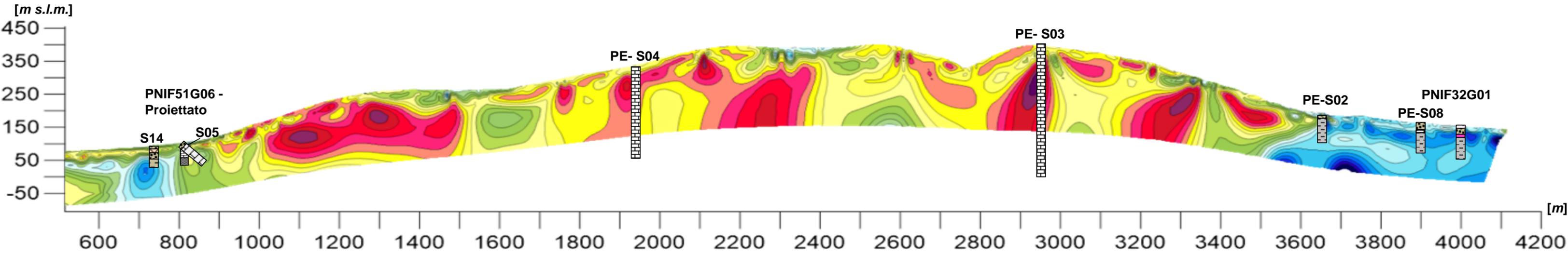
Lavoro: Progettazione esecutiva per la realizzazione della linea ferroviaria AV NA-BA, tratta Canello - Frasso Telesino Valle di Maddaloni (CE). Indagini geofisiche.	Committente Consorzio CFT	Indagine: ERT	Tavola: 22 ERT_3	Elaborato: Claudio De Paola Verificato: Donato Fiore Approvato: Massimo De Iasi
		Data esecuzione: 23-26/04/2018		

ID Punto	E	N
A	148226.689	344803.900
B	149056.365	348157.909

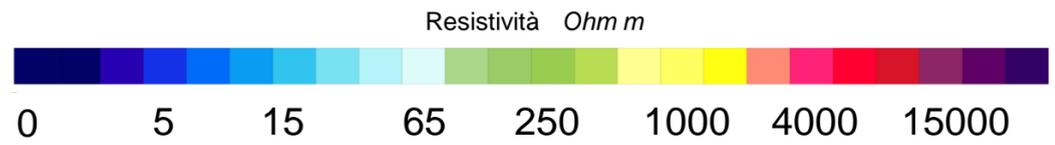
Passo elettrodo: 10 m

A

B



	Terreno di copertura		Limi argillosi		Calcari fratturati
	Deposito piroclastico		Argille varicolori		Calcari
	Sabbia limosa		Argille		
	Tufiti		Argillite		
	Limi sabbiosi		Argille sovraconsolidate		





“Progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori per la realizzazione della linea ferroviaria Napoli – Bari, tratta Canello - Frasso”

Nota sulle indagini Geoelettriche

Emissione	Data	Elaborato	Verificato	Approvato
Rev. 00	23/08/2018	Claudio De Paola	Donato Fiore	Massimo De Iasi
				



DIMMS CONTROL

**“Progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori per la
realizzazione della linea ferroviaria Napoli – Bari, tratta
Cancello - Frasso”**

Revisione: 00
Data:
23/08/2018
Pagina 2 di 9

Sommario

1.	Acquisizione indagini ERT.....	3
1.1	Dispositivo elettrodotico e sue caratteristiche	3
1.2	Modalità di esecuzione delle misure	3
1.2.1	GA imbocco “lato Maddaloni”	4
1.2.2	GA imbocco “ lato Benevento”	4
1.2.3	GN Monte Aglio.....	4
2	Profondità di indagine	5
3	Elaborazione dei dati	9
3.1	Sorting dei dati.....	9
3.2	Elaborazione.....	9



1. Acquisizione indagini ERT

1.1 Dispositivo elettrodo e sue caratteristiche

La misura della resistività elettrica del sottosuolo può essere ottenuta posizionando in superficie un dispositivo quadripolare costituito da una coppia di elettrodi (detti di energizzazione), solitamente indicati con C1 e C2, e da una seconda coppia di elettrodi (detti di potenziale), indicati con P1 ed P2.

Attraverso la misura della corrente elettrica che circola nel terreno e immessa nel stesso mediante gli elettrodi di corrente (C1 C2), e misurando il potenziale che si viene a determinare ai capi degli elettrodi di potenziale (P1 P2) a causa della corrente immessa, è possibile stimare la resistività elettrica apparente (ρ_a) mediante la seguente relazione:

$$\rho_a = k (\Delta V/I),$$

dove k è il fattore geometrico ed è pari ad:

$$k = 2\pi / (1/r_1 - 1/r_2 - 1/r_3 + 1/r_4),$$

e dipende esclusivamente dalla posizione degli elettrodi di corrente rispetto a quelli di potenziale

In relazione alla posizione reciproca degli elettrodi di corrente rispetto a quelli di potenziale, è possibile realizzare varie tipologie di configurazioni elettrodiche (array).

Il dispositivo scelto per l'indagine in oggetto è il polo-dipolo presenta una migliore copertura orizzontale e raggiunge una profondità di investigazione maggiore rispetto al dispositivo Wenner e Wenner-Schlumberger; risulta essere meno sensibile al noise tellurico rispetto al dispositivo Polo-Polo.

Per eseguire le misure con il polo dipolo è necessario posizionare l'elettrodo remoto (C2) ad una distanza che non deve essere non inferiore a 5 volte la distanza massima tra C1-P1 per poter trascurare gli effetti dovuti alla vicinanza dell'elettrodo di corrente

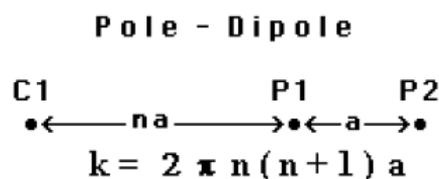


Fig. 1 - Dispositivo Polo-Dipolo remoto rispetto ai dati di resistività valutati: gli effetti della vicinanza dell'elettrodo C2 sono proporzionali al quadrato del rapporto tra la distanza C1-P1 e la distanza C2-P1.

L'intensità del segnale diminuisce all'aumentare del fattore n. I valori di n massimi da utilizzare variano da 8 a 10.

1.2 Modalità di esecuzione delle misure

Per le acquisizioni ERT eseguite in corrispondenza della GN Monte Aglio sono stati eseguiti 7 profili da 96 elettrodi ciascuno e spaziatura elettrodica pari a 10 m. In corrispondenza delle GA ai due imbocchi sono stati eseguiti 6 profili da 96 elettrodi ciascuno e spaziatura elettrodica pari a 5 metri.



DIMMS CONTROL

“Progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori per la realizzazione della linea ferroviaria Napoli – Bari, tratta Canello - Frasso”

Revisione: 00
Data:
23/08/2018
Pagina 4 di 9

1.2.1 GA imbocco “lato Maddaloni”

N° 4 profili da 96 elettrodi passo 5 m per un totale di 475 m ciascuno con sequenza polo- dipolo e modalità di acquisizione roll along; dopo l’esecuzione del primo profilo e la georeferenziazione degli elettrodi, lo stendimento dall’elettrodo 1 al 48 veniva smontato e ricollocato dopo l’elettrodo 96 dello stendimento precedente.

Tale operazione è stata ripetuta per 2 volte fino a coprire una distanza di 955 m. Per completare la distanza richiesta di 1000 m si è proceduta ad un’ulteriore acquisizione con spostamento di soli 24 elettrodi fino ad arrivare a circa 1075m.

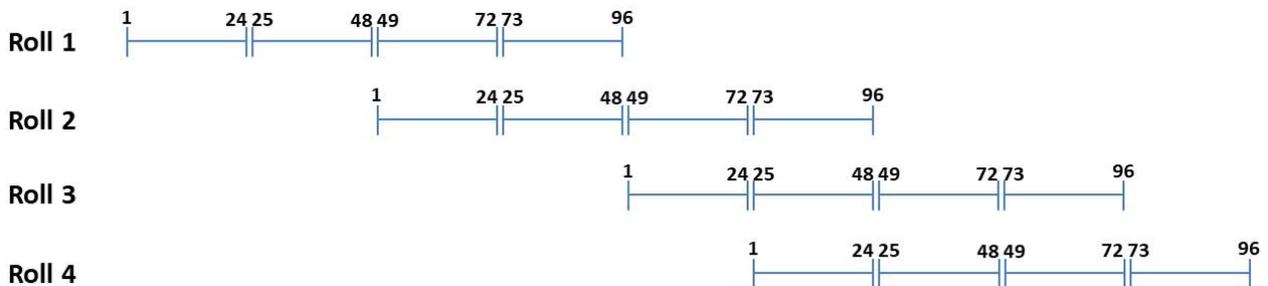


Fig2 – ERT 1 schema di acquisizione

1.2.2 GA imbocco “lato Benevento”

In questo caso, per diverse condizioni logistiche sono stati eseguiti solo 2 profili senza sovrapposizione a monte e a valle della statale per un totale di 475m+475m.



Fig2 – ERT 2A e ERT 2B. Schema di acquisizione

In entrambi i casi i profili con passo elettrodico pari a 5 m si sovrapponevano per circa 500 m al profilo con passo elettrodico paria 10 m.

1.2.3 GN Monte Aglio

N° 7 profili da 96 elettrodi passo 10 m per un totale di 950 m ciascuno con sequenza polo- dipolo e modalità di acquisizione roll along; dopo l’esecuzione del primo profilo e la georeferenziazione degli elettrodi, lo stendimento dall’elettrodo 1 al 48 veniva smontato e ricollocato dopo l’elettrodo 96 dello stendimento precedente.



DIMMS CONTROL

“Progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori per la realizzazione della linea ferroviaria Napoli – Bari, tratta Cancellò - Frasso”

Revisione: 00
Data:
23/08/2018
Pagina 6 di 9

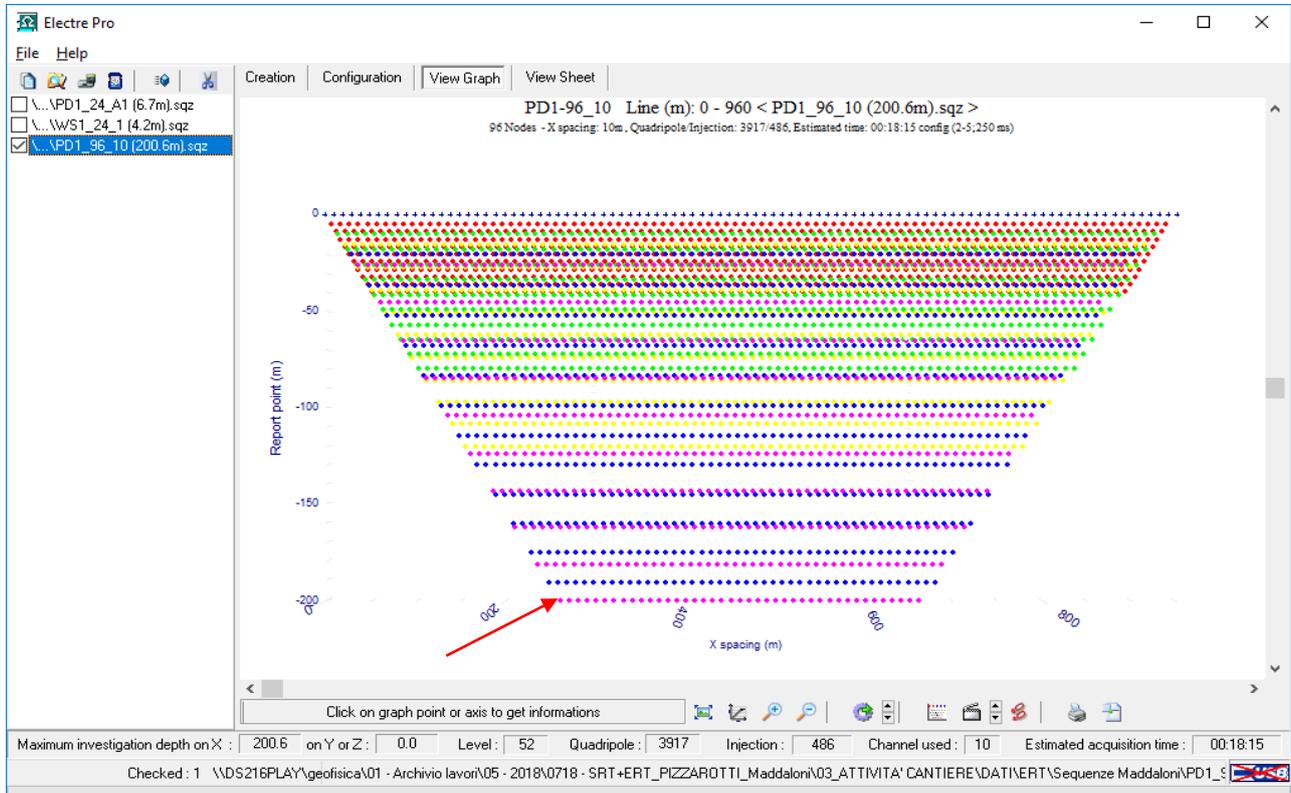


Fig. 5- Nel grafico si possono notare tutte le combinazioni di misure depurate dei reciproci ed ottimizzate per una acquisizione rapida. Con la freccia rossa viene evidenziato un particolare punto di misura; nella tabella seguente mostreremo a quali elettrodi di iniezione e misura di potenziale corrisponde.



DIMMS CONTROL

“Progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori per la realizzazione della linea ferroviaria Napoli – Bari, tratta Cancellò - Frasso”

Revisione: 00

Data:
23/08/2018
Pagina 7 di 9

Electre Pro
File Help

Creation	Configuration	View Graph	View Sheet	# Node	X (m)	Y (m)	Z (m)	# Quad.	Ca	Cb	Pm	Pn	Spac. Coe	Level	Depth	K factor
				2	10.00	0.00	0.00	18	0	1	17	19	2	16	65.00	-9047.76
				3	20.00	0.00	0.00	19	0	1	19	21	2	18	72.64	-11309.69
				4	30.00	0.00	0.00	20	0	1	21	23	2	20	80.24	-13822.95
				5	40.00	0.00	0.00	21	0	1	4	7	3	3	15.73	-376.99
				6	50.00	0.00	0.00	22	0	1	7	10	3	6	27.58	-1130.97
				7	60.00	0.00	0.00	23	0	1	10	13	3	9	39.37	-2261.94
				8	70.00	0.00	0.00	24	0	1	13	16	3	12	51.10	-3769.90
				9	80.00	0.00	0.00	25	0	1	16	19	3	15	62.78	-5654.85
				10	90.00	0.00	0.00	26	0	1	19	22	3	18	74.41	-7916.78
				11	100.00	0.00	0.00	27	0	1	22	25	3	21	85.98	-10555.70
				12	110.00	0.00	0.00	28	0	1	25	28	3	24	97.50	-13571.58
				13	120.00	0.00	0.00	29	0	1	28	31	3	27	108.96	-16964.47
				14	130.00	0.00	0.00	30	0	1	31	34	3	30	120.37	-20734.29
				15	140.00	0.00	0.00	31	0	1	5	9	4	4	20.97	-502.65
				16	150.00	0.00	0.00	32	0	1	9	13	4	8	36.77	-1507.96
				17	160.00	0.00	0.00	33	0	1	13	17	4	12	52.49	-3015.92
				18	170.00	0.00	0.00	34	0	1	17	21	4	16	68.14	-5026.53
				19	180.00	0.00	0.00	35	0	1	21	25	4	20	83.71	-7539.79
				20	190.00	0.00	0.00	36	0	1	25	29	4	24	99.21	-10555.68
				21	200.00	0.00	0.00	37	0	1	29	33	4	28	114.64	-14074.21
				22	210.00	0.00	0.00	38	0	1	33	37	4	32	130.00	-18095.36
				23	220.00	0.00	0.00	39	0	1	37	41	4	36	145.28	-22619.13
				24	230.00	0.00	0.00	40	0	1	41	45	4	40	160.49	-27645.52
				25	240.00	0.00	0.00	41	0	1	45	49	4	44	175.63	-33174.54
				26	250.00	0.00	0.00	42	0	1	49	53	4	48	190.69	-39206.06
				27	260.00	0.00	0.00	43	0	1	6	11	5	5	26.22	-628.32
				28	270.00	0.00	0.00	44	0	1	11	16	5	10	45.96	-1884.95
				29	280.00	0.00	0.00	45	0	1	16	21	5	15	65.61	-3769.90
				30	290.00	0.00	0.00	46	0	1	21	26	5	20	85.17	-6283.16
				31	300.00	0.00	0.00	47	0	1	26	31	5	25	104.64	-9424.71
				32	310.00	0.00	0.00	48	0	1	31	36	5	30	124.02	-13194.55
				33	320.00	0.00	0.00	49	0	1	36	41	5	35	143.30	-17592.67
				34	330.00	0.00	0.00	50	0	1	41	46	5	40	162.50	-22619.07
				35	340.00	0.00	0.00	51	0	1	46	51	5	45	181.68	-28279.76
				36	350.00	0.00	0.00	52	0	1	51	56	5	50	200.61	-34556.54
				37	360.00	0.00	0.00	53	0	2	3	4	1	1	9.24	-129.66
				38	370.00	0.00	0.00	54	0	2	4	5	1	2	9.19	-376.99
				39	380.00	0.00	0.00	55	0	2	5	6	1	3	13.12	-753.98
				40	390.00	0.00	0.00	56	0	2	6	7	1	4	17.03	-1256.64

Maximum investigation depth on X : 200.6

Checked : 1

\\S216PLAY\geofisica\01 - Archivio lavori\05 - 2018\0718 - SRT+ERT_PIZZAROTTI_Maddaloni\03_ATT

Tab. 1- In questa schermata vengono mostrate alcune delle combinazioni di elettrodi di iniezione e lettura acquisite. In particolare in rosso viene evidenziata la combinazione di elettrodi utilizzati per acquisire il valore indicato in fig. 5 con la freccia rossa.

Considerando l'esempio riportato nella fig. 5 e tab.1, si nota che insieme al polo remoto, la corrente viene iniettata nel terreno dall'elettrodo 1 posto al metro 0 e la differenza di potenziale viene letta dagli elettrodi 51 e 56, rispettivamente al metro 500 e 550. In questo modo si ha la distanza $a=500$ m e $a=50$ m.

Volendo fare un calcolo analitico della profondità massima investigabile si riportano le tabelle e le formule di M.H. Loke (Loke M.H., 2000. A practical guide to 2D & 3D electrical imaging surveys. Material, Vols. 321-323, pp. 1411-1414, Trans Tech Publications, Switzerland.)



DIMMS CONTROL

“Progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori per la realizzazione della linea ferroviaria Napoli – Bari, tratta Canello - Frasso”

Revisione: 00

Data:

23/08/2018

Pagina 8 di 9

in cui il rapporto Z_e/a , dove Z_e è la profondità di investigazione massima, viene tabellato per vari dispositivi e valori di n ed a è la spaziatura tra gli elettrodi di potenziale. Potremmo definire quindi $F = Z_e/a$ è come fattore dal quale dipende la profondità di investigazione.

Array type	z_e/a	z_e/L	Geometric Factor	Inverse Geometric Factor (Ratio)
Wenner Alpha	0.519	0.173	6.2832	0.15915 (1.0000)
Wenner Beta	0.416	0.139	18.850	0.05305 (0.3333)
Wenner Gamma	0.594	0.198	9.4248	0.10610 (0.6667)
Dipole-dipole				
n = 1	0.416	0.139	18.850	0.05305 (0.3333)
n = 2	0.697	0.174	75.398	0.01326 (0.0833)
n = 3	0.962	0.192	188.50	0.00531 (0.0333)
n = 4	1.220	0.203	376.99	0.00265 (0.0166)
n = 5	1.476	0.211	659.73	0.00152 (0.0096)
n = 6	1.730	0.216	1055.6	0.00095 (0.0060)
n = 7	1.983	0.220	1583.4	0.00063 (0.0040)
n = 8	2.236	0.224	2261.9	0.00044 (0.0028)
Equatorial dipole-dipole				
n = 1	0.451	0.319	21.452	0.04662 (0.2929)
n = 2	0.809	0.362	119.03	0.00840 (0.0528)
n = 3	1.180	0.373	367.31	0.00272 (0.0171)
n = 4	1.556	0.377	841.75	0.00119 (0.0075)
Wenner - Schlumberger				
n = 1	0.519	0.173	6.2832	0.15915 (1.0000)
n = 2	0.925	0.186	18.850	0.05305 (0.3333)
n = 3	1.318	0.189	37.699	0.02653 (0.1667)
n = 4	1.706	0.190	62.832	0.01592 (0.1000)
n = 5	2.093	0.190	94.248	0.01061 (0.0667)
n = 6	2.478	0.191	131.95	0.00758 (0.0476)
n = 7	2.863	0.191	175.93	0.00568 (0.0357)
n = 8	3.247	0.191	226.19	0.00442 (0.0278)
n = 9	3.632	0.191	282.74	0.00354 (0.0222)
n = 10	4.015	0.191	345.58	0.00289 (0.0182)
Pole-dipole				
n = 1	0.519		12.566	0.07958 (0.5000)
n = 2	0.925		37.699	0.02653 (0.1667)
n = 3	1.318		75.398	0.01326 (0.0833)
n = 4	1.706		125.66	0.00796 (0.0500)
n = 5	2.093		188.50	0.00531 (0.0334)
n = 6	2.478		263.89	0.00379 (0.0238)
n = 7	2.863		351.86	0.00284 (0.0178)
n = 8	3.247		452.39	0.00221 (0.0139)
Pole-Pole				
	0.867		6.28319	0.15915 (1.0000)

Tab. 2 - Rapporti Z_e/a . da Loke M.H., 2000. A practical guide to 2D & 3D electrical imaging surveys. Material, Vols. 321-323, pp. 1411-1414, Trans Tech Publications, Switzerland.

	<h1>DIMMS CONTROL</h1>	Revisione: 00 Data: 23/08/2018 Pagina 9 di 9
	<p>“Progettazione esecutiva ed esecuzione dei lavori per la realizzazione della linea ferroviaria Napoli – Bari, tratta Cancellino - Frasso”</p>	

Riferendosi alla tabella 2, in particolare per il dispositivo polo dipolo si riportano i valori fino a n=8. Come si può notare però i rapporti sono identici a quelli per il dispositivo Wenner – Schlumberger ed in particolare il valore da prendere in considerazione per il calcolo della profondità massima è pari a **4.015**. Applicando la formula inversa si può facilmente calcolare che

$$Z_e = F \cdot a$$

cioè nel nostro caso con spaziatura elettrodica pari a 10m

$$Z_e = 4.015 \cdot 50 \text{ m} = 200.6 \text{ m}$$

Nel caso delle linee con spaziatura elettrodica pari a 5m

$$Z_e = 4.015 \cdot 25 \text{ m} = 100.3 \text{ m}$$

Il risultato qui riportato è perfettamente in linea con quanto mostrato negli elaborati.

3 Elaborazione dei dati

3.1 Sorting dei dati

Come descritto in precedenza le linee ERT sono state acquisite in varie sezioni fino al totale ricoprimento dell'area di indagine. In fase di elaborazione i dati di ciascuna sezione sono stati combinati in un unico dataset in modo da avere un unico profilo.

Questa operazione, si è resa necessaria anche tra le linee con spaziatura elettrodica diversa 5/10m poiché le acquisizioni sono avvenute in momenti diversi con giorni in cui si sono alternati forti temporali e schiarite. La resistività di fondo variava e, omogeneizzando i dati si è minimizzato questo effetto e si sono mantenuti pressoché inalterati i rapporti di resistività tra le varie litologie.

Si è potuto così ottenere un unico profilo con una sola interruzione in corrispondenza della statale SS265.

Si precisa comunque che, con riferimento a tav. 19 degli elaborati presentati, in cui viene mostrato il profilo geoelettrico unico, comprensivo dei dati passo 5m e passo 10 m, i soli valori di resistività nei primi 500 m della sezione, a profondità superiori a 100 m sono meno attendibili in quanto derivati dall'interpolazione del software di elaborazione. Tuttavia in questa zona, nella profondità di indagine prevista, i dati “misurati” coprono ampiamente le richieste progettuali.

3.2 Elaborazione

Per le fasi di elaborazione si rimanda al rapporto interpretativo presentato insieme agli elaborati grafici.