

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



LINEA LAMEZIA T. – CATANZARO L.

U.O. COORDINAMENTO PROGETTI CAPTIVE

PROGETTO FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

INDAGINI GEOFISICHE

SCALA:

-

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

R C 0 Y 0 0 R 6 9 I G G E 0 0 0 5 0 0 2 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	P. Chiara	Marzo 2021	E. M. Carli	Marzo 2021	I D'Amore	Marzo 2021	M. Comedini Marzo 2021

File: RC0Y00R69IGGE0005002A.doc

n. Elab.: 88

INDICE

1. INTRODUZIONE.....	4
1.1 PREMESSA E SCOPI DELL'INDAGINE GEOFISICA.....	4
2. METODOLOGIE IMPIEGATE	5
2.1 INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT	5
2.1.2 Principi base della tecnica tomografica elettrica (ERT)	6
2.1.3 Proprietà elettriche del suolo ed interpretazione dei valori di resistività.....	6
2.1.4 Configurazione delle misure ed elaborazione dati	8
2.1 INDAGINE SISMICA TOMOGRAFICA A RIFRAZIONE	8
2.1.2 Principi base della tecnica sismica a rifrazione e limiti del metodo.....	9
2.1.3 Configurazione delle misure ed elaborazione dati	11
2.2 INDAGINE DOWN HOLE	13
2.2.2 Metodologia di misura e strumentazione utilizzata	14
2.2.3 Principi teorici	16
3. RISULTATI.....	17
3.1 PREMESSA.....	17
3.2 RISULTATI TOMOGRAFIE ELETTRICHE E SISMICHE A RIFRAZIONE – ALLEGATO 1.....	17
3.2.1 Linea ERT2/L1.....	17
3.2.2 Linea ERT2bis/L1	17
3.2.3 Linea ERT3/L1.....	17
3.2.4 Linea ERT3/L2.....	18
3.2.5 Linea ERT7/L2.....	18
3.2.6 Linee ERT10/L2 e 11/L2.....	19
3.2.7 Linea ERT14/L2 e RIFR 14/L2	20
3.2.8 Linea ERT15/L2 e RIFR 15/L2	21
3.2.9 Linee ERT16/L2 e RIFR 16/L2	21
3.2.10 Linea ERT20/L2.....	22
3.2.11 Linea ERT21/L2.....	23

3.2.12	Linee ERT17/L2, 18/L2 e 19/L2.....	24
3.3	RISULTATI INDAGINI DOWN HOLE – ALLEGATO 2.....	27
3.3.1	Prova Down Hole su foro SN14/L2 DH.....	27
3.3.2	Prova Down Hole su foro SN11/L2 DH.....	29
3.3.3	Prova Down Hole su foro SN16/L2 DH.....	31
4.	BIBLIOGRAFIA	33
5.	ALLEGATO N.1 – RISULTATI TOMOGRAFIE ELETTRICHE E SISMICHE A RIFRAZIONE	37
6.	ALLEGATO N.4 – RISULTATI INDAGINE DOWN HOLE	67

1. INTRODUZIONE

1.1 Premessa e scopi dell'indagine geofisica

La presente relazione illustra i risultati della campagna di prospezioni geofisiche, condotte secondo le modalità previste nelle specifiche tecniche Italferr ed eseguite a supporto del progetto di fattibilità tecnico economica per la velocizzazione mediante rettifiche di tracciato lungo il tratto del collegamento Lamezia T. - Settingiano.

Le indagini sono state eseguite utilizzando le seguenti metodologie:

- indagini elettriche tomografiche ERT.
- indagini sismiche tomografiche a rifrazione;
- indagini sismiche Down Hole;

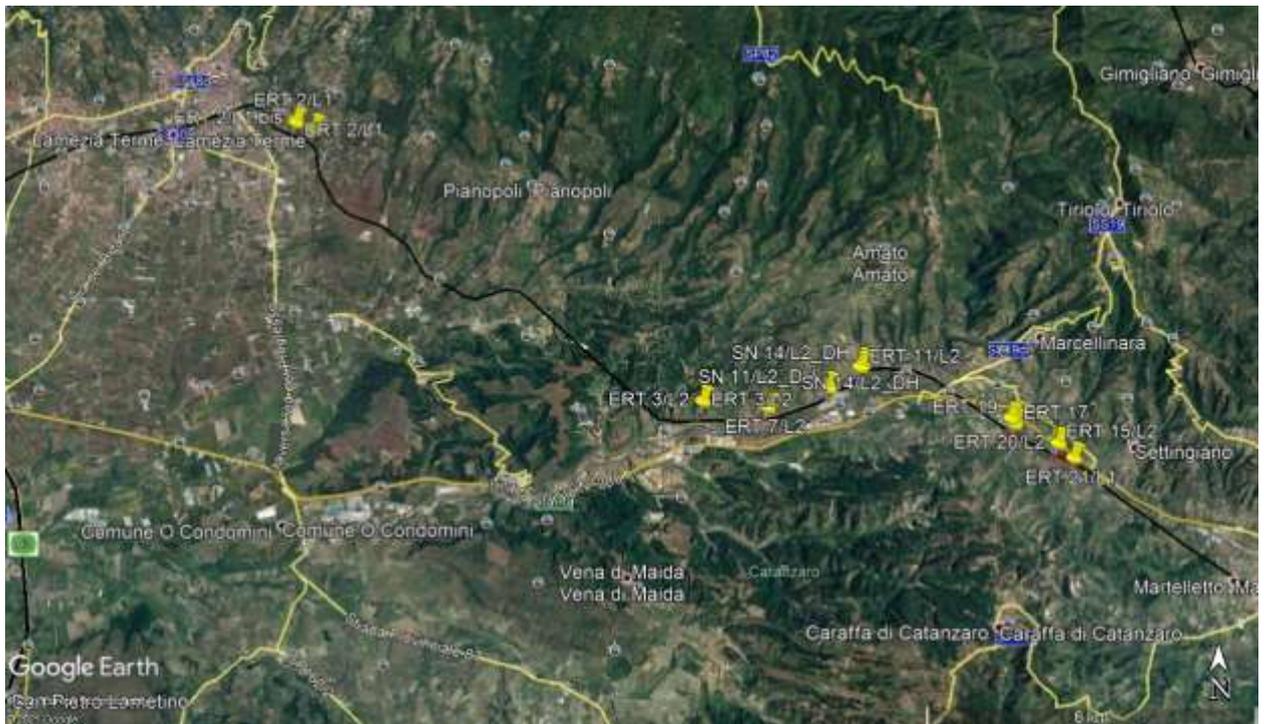


Figura 1.1.1: Posizioni delle indagini eseguite – foto satellitare

La tomografia elettrica bidimensionale, attraverso la misura della distribuzione del parametro di resistività estesa al volume di terreno soggetto ad indagine, è stata eseguita al fine di ottenere un dettaglio diagnostico elettrostratigrafico con lo scopo di ricostruire la stratigrafia e di identificare eventuali zone di anomalia presenti nel sottosuolo.

L'indagine sismica a rifrazione con interpretazione tomografica è stata impiegata al fine di definire, nei limiti delle metodologie impiegate, gli spessori e le velocità delle onde di compressione e di taglio dei terreni indagati e fornire le relative sezioni bidimensionali.

L'indagine sismica in foro di tipo Down Hole, è stata condotta all'interno di sondaggi

opportunamente attrezzati; tale metodologia d'indagine consente la caratterizzazione di dettaglio e l'approfondimento necessario ai fini geotecnici su aree localizzate, laddove sia necessario valutare il comportamento dei terreni di fondazione, caratterizzandone i parametri dinamici relativi, oltreché a determinare, con grande risoluzione, la categoria dei terreni ai fini della valutazione della risposta sismica locale mediante il parametro $V_{s,eq}$.

Il presente documento, oltre a riportare le evidenze dei risultati emersi dalle campagne di acquisizione dati condotte in sito, contiene una descrizione sintetica delle metodologie geofisiche utilizzate.

2. METODOLOGIE IMPIEGATE

2.1 Indagine tomografica elettrica ERT

2.1.1 Strumentazione

La strumentazione adottata (Syscal Pro fino a 96 canali a commutazione concentrata, prodotto da IRIS Instruments, Francia), ha permesso di eseguire misure di alta precisione, con correnti indotte fino ad oltre 2 Ampere. Fondamentale in fase di acquisizione dati è stata la continua ed automatica compensazione del potenziale spontaneo, specie nei casi in cui tale valore è risultato essere dell'ordine di qualche decina di milliVolts.



Figura 2.1.1.1: Georesistivimetro - Syscal Pro (Iris Instruments- FRA).

Il Syscal-Pro utilizzato, 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.

2.1.2 Principi base della tecnica tomografica elettrica (ERT)

Il metodo della tomografia elettrica (ERT, Electrical Resistivity Tomography), si basa sulla misura eseguita sulla sequenza di migliaia di quadripoli, ciascuno di essi caratterizzato da due elettrodi di potenziale (detti convenzionalmente MN) che misurano la caduta di potenziale “ ΔV ” a seguito di una corrente elettrica “ I ” immessa nel sottosuolo da una diversa coppia di elettrodi, detti AB. I diversi valori di resistività elettrica misurati (resistività apparenti ρ_a), ciascuno aggregato ad un punto diverso nel volume del terreno, in profondità, dipendono pertanto da “ ΔV ” e “ I ” secondo la seguente relazione generale:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

che è funzione, oltre che della posizione reciproca dei quattro elettrodi anzidetti (dipendenza contenuta nella costante K , che ne definisce il fattore geometrico), della distribuzione del valore del parametro di resistività elettrica nel sottosuolo interessato dalla propagazione della corrente “ I ”; il parametro citato della resistività elettrica è quello che permette di caratterizzare il diverso comportamento elettrico dei materiali indagati. Esso fornisce un supporto in termini di caratterizzazione del sottosuolo, nonché informazioni estensive per integrare le conoscenze derivanti dalle informazioni stratigrafiche provenienti dalle indagini dirette puntuali, quali sondaggi geognostici, allo scopo di estendere sensibilmente la conoscenza della stratigrafia e di altri attributi geologici, geomorfologici e idrogeologica dei terreni all’intera area oggetto di indagine geofisica.

2.1.3 Proprietà elettriche del suolo ed interpretazione dei valori di resistività

La resistività dei sedimenti è controllata principalmente dai seguenti fattori:

- grado di saturazione dei pori,
- porosità,
- fluidi,
- 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 le miche, minerali metalli),
- grado di compattazione.

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

$$\rho_s = \rho_f a \phi^{-n} S^{-m}$$

dove:

- ρ_s : resistività ($\Omega \cdot m$) del suolo parzialmente saturo di fluido,
- ρ_f : resistività ($\Omega \cdot m$) del fluido presente nei pori,
- S : frazione del volume di pori occupata dal fluido,
- m : coefficiente di saturazione (solitamente assunto essere pari a 2),
- a : costante empirica, detta di Winsaur (tipico per sabbia : 0.62)
- n : coefficiente empirico, detto di "tortuosità" (tipico per sabbia: 2.15),
- ϕ : porosità del suolo .

La resistività del fluido ρ_f è calcolabile qualora si conoscano le concentrazioni di ioni in soluzione (ad es. Cl^- , $SO_4^{=}$, NO_3^- , ecc.) utilizzando la formula

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

dove C è la somma delle concentrazioni (pesate da opportuni coefficienti ricavati sperimentalmente per ciascun ione) di tutti gli ioni presenti.

In linea generale, la distribuzione della resistività elettrica consente di discriminare eventuali variazioni dei/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.

Rispetto al modello elettrostratigrafico medio rappresentativo di un sito d'indagine, le variazioni di resistività verso valori più alti sono rappresentate da viraggi verso il colore rosso (così come sono rappresentate le scale di rappresentazione della resistività nelle tavole degli allegati grafici); oppure nel caso di variazioni di umidità, circolazione d'acqua, maggior contenuto in componenti limo-argillose o fini, le resistività si evidenziano graficamente con viraggi verso valori relativamente più bassi (rappresentati dal colore viola-blu-azzurro nelle medesime tavole degli allegati grafici succitati).

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 porteremo in questo contesto.

Terreni sabbio-limosi o ghiaioso-sabbiosi, se saturi, risultano sempre più conduttivi rispetto ai medesimi asciutti.

Nell'ambito del presente lavoro, i depositi argillosi, limo-argillosi e limo sabbiosi, specie se umidi, manifestano valori di resistività elettrica estremamente bassi, in certe circostanze inferiori alla decina di $Ohm \cdot m$ e fino a pochi $Ohm \cdot m$.

La presenza di materiali consistenti litoidi superficiali ("trovanti") con litotipi



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	8 di 76

riconducibili ad arenarie presentano comportamento maggiormente resistivo rispetto alle marne argillose od argilliti; ghiaie poligeniche asciutte con scarsa o nulla matrice limosa o limo-argillosa rispondono in modo maggiormente resistivo; qualora sia presente abbondante matrice limo-argillosa e naturalmente in presenza di acque di circolazione, anche tali formazioni possono manifestare comportamenti maggiormente e talvolta marcatamente conduttivi.

2.1.4 Configurazione delle misure ed elaborazione dati

Per l'esecuzione delle varie linee sono stati utilizzati array base da 48 fino a 96 elettrodi, con cavi multiconduttori posti in sequenza (con tecniche roll-along) al fine di ottenere sezioni bidimensionali di resistività con allineamenti di oltre 200 elettrodi e profili di lunghezza fino a 500m, come successivamente precisato nei risultati delle varie sezioni.

La spaziatura elettrodica parimenti è variata da a 1 m a 3 m a seconda del dettaglio e della profondità di indagine richiesta fornendo una risoluzione ed un dettaglio ottimale per gli scopi prefissati.

Nel profili d'indagine sono state impiegate configurazioni miste Wenner-Schlumberger e Dipolo-Dipolo, in modo da sfruttare, di ognuna, le diverse sensibilità intrinseche laterali e verticali.

L'elaborazione bidimensionale delle misure di campagna, è stata effettuata con software proprietario a discretizzazione FEM (elementi finiti), correzione topografica, procedura di inversione robusta con possibile inserimento di vincoli complessi, capace di ricostruire la distribuzione di resistività reale in due e tre dimensioni attraverso inversione completa dei dati (basata sulla "Occam inversion").

Le sezioni geoelettriche sono rappresentate nelle figure degli allegati grafici seguendo un criterio di presentazione sinottica. La rappresentazione dei dati consiste in immagini o viste tomografiche del parametro di resistività elettrica.

I risultati grafici di resistività elettrica presentati nell'allegato, sono visualizzati con campiture a colori caratterizzate da una scala cromatica rappresentativa della dinamica dei valori di resistività elettrica incontrati (espressi in Ohm·m); tale rappresentazione consente di identificare aree elettricamente omogenee (medesimo comportamento cromatico). Queste zone di isovalori di resistività elettrica sono anche correlabili ad ammassi di materiale con caratteristiche affini.

2.1 Indagine sismica tomografica a rifrazione

2.1.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo

Per il presente lavoro è stato utilizzato un sismografo ECHO 48/2014. Lo strumento (v. Figura 2.1.1.1 riportata di seguito), prodotto dalla Ambrogeo (Piacenza, Italia), è un sistema di acquisizione sistema a 48 canali (espandibile a 96), impiegato con le seguenti caratteristiche tecniche principali:

- Numero di canali 48+1;
- Convertitore analogico digitale A/D a 24-bits;
- intervalli di campionamento: 32, 64, 128, 256, 480 e 960 us;
- Filtri in acquisizione passa basso: 10-15-25-35-50-70-100-200-280-400 Hz;
- Accuratezza nel trigger di 1/32 dell'intervallo di campionamento.



Figura 2.1.1.1: Sismografo digitale a 24 bit.

Per la rilevazione delle onde di compressione e di taglio sono stati utilizzati rispettivamente geofoni ad azione verticale ed orizzontale, entrambi con frequenza propria di oscillazione di 10 Hz.

2.1.2 Principi base della tecnica sismica a rifrazione e limiti del metodo

La sismica a rifrazione consiste in una serie di tecniche basate sul principio fisico del fenomeno della rifrazione di un'onda sismica che incide su una discontinuità individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifratore). Sulla superficie da investigare si posizionano i trasduttori del moto del suolo (geofoni) ad una certa distanza dalla sorgente sismica che può essere una massa battente (diversamente applicata e guidata) 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 la ricostruzione e l'analisi delle curve tempo-distanza (dromocrone) con i metodi descritti al successivo paragrafo, si possono determinare i campi di velocità delle onde di compressione P e delle onde di taglio



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	10 di 76

Sh che caratterizzano i vari strati interessati dall'indagine; da qui produrre una stratigrafia sismica da correlare alle formazioni geologiche o discontinuità presenti nella serie investigata nel sottosuolo.

In fase di elaborazione è importato considerare che per uno stesso tipo di roccia, la velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo diminuisce col grado di fratturazione-alterazione e aumenta con la profondità. Anche la giacitura della stratificazione gioca un ruolo fondamentale sui risultati delle indagini sismiche a rifrazione in quanto, in rocce stratificate e/o deformate duttilmente (piegate), tra le velocità rilevate lungo i piani di strato o di clivaggio e quelle rilevate perpendicolarmente agli stessi si possono manifestare sensibili differenze. La velocità delle onde di compressione, in particolare modo nelle formazioni terrigene, è fortemente influenzata dalla presenza della falda acquifera e quindi dal grado di saturazione dei terreni, diversamente da quelle trasversali che non si trasmettono nell'acqua.

Sulla base di tali considerazioni deriva che una roccia fortemente fratturata e del materiale detritico saturo, pur trattandosi di litotipi differenti, possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali, per cui l'interpretazione sismostratigrafica non necessariamente corrisponderà con il reale assetto stratigrafico.

Il metodo sismico a rifrazione pur essendo un sistema di valenza generalmente riconosciuta presenta comunque delle limitazioni:

- un livello di spessore minore di 1/3 del passo intergeofonico ed in relazione alla sua profondità può non essere rilevabile;
- in una successione stratigrafica uno strato potrà essere rilevato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali al suo interno risulterà maggiore di quella dei livelli soprastanti;
- un livello di velocità intermedia vincolato sopra e sotto rispettivamente da uno strato a velocità minore e da uno a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile in quanto i primi arrivi possono essere mascherati dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto);
- all'aumentare della distanza intergeofonica si registra un aumento della profondità di investigazione ma, allo stesso tempo, può ridursi la precisione nella determinazione della profondità delle interfacce tra i diversi livelli individuati;
- all'interno di una formazione geologica caratterizzata da incrementi graduali di velocità con la profondità le forme delle dromocrone consentono più schemi



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO
PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	11 di 76

interpretativi. Per tale motivazione, ai fini di ridurre quanto più possibile l'errore interpretativo, diviene necessario il disporre di sondaggi di taratura.

I metodi di elaborazione dei dati di più recente pubblicazione (la metodologia sismica tomografica ad esempio) consentono almeno in parte di risolvere tali limitazioni permettendo l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un alto potere risolutivo ed offrono la possibilità di ricostruire anomalie e discontinuità stratigrafiche anche particolarmente complesse.

2.1.3 Configurazione delle misure ed elaborazione dati

Per l'esecuzione dei profili sismici sono stati utilizzati n. 2 cavi sismici multiconduttori a 24 geofoni ciascuno, impiegati simultaneamente per ottenere allineamenti (basi sismiche) a 48 stazioni (geofoni).

Lungo ogni base sismica sono state utilizzate 10 postazioni di energizzazione; per ogni postazione sono state acquisite molteplici registrazioni al fine di ottimizzare il segnale in risposta. Il sistema di energizzazione impiegato è una massa battente (mazza da 10 kg) per entrambi i tipi di onde; l'energizzazione delle onde Sh è stata effettuata per ognuna delle postazioni con doppia polarità (+ e -) agendo lateralmente su una piastra collegata al terreno.

Per ogni linea i dati di campagna relativi alle onde P ed SH sono stati acquisiti nel corso della medesima giornata.

Per il processing dei dati è stato utilizzato il Software RAYFRACT (ver. 3.35) della Intelligent Resources Inc. (Canada), creato per l'elaborazione di dati tomografici sismici a rifrazione, realizzabili sia con acquisizioni per onde di compressione P che di taglio Sh, per scopi geologici, geotecnico-ingegneristici, ambientali, nonché per l'esplorazione nel campo delle georisorse.

Il software citato consente la realizzazione di dettagliati modelli di velocità del sottosuolo con le più evolute tecniche tomografiche, al fine di caratterizzarne gli orizzonti presenti in termini sismo-stratigrafici.

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 "Volumi di Fresnel" (Watanabe 1999) al fine di elaborare un primo modello di partenza con una tecnica del Gradiente "smooth" 1D, a partire dal modello sopraccitato; il codice di calcolo per la modellazione tomografica utilizza, nell'algoritmo d'inversione, un "raytracing" con raggi curvilinei e metodi di calcolo ai minimi quadrati attraverso il metodo Delta t-v (Gebrande and Miller 1985), al fine di migliorare il riconoscimento e la localizzazione di strutture di forma anomala, stabilizzando la soluzione dell'algoritmo d'iterazione.

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

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

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

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

dove l_{ik} rappresenta la porzione dell' i -esima dromocrona nella cella k -esima.

Considerando tutte le dromocrone disponibili si ottiene il seguente sistema

$$\mathbf{t} = \mathbf{M} \cdot \mathbf{u} \quad (4)$$

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

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

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 (5) è un problema non-lineare che deve essere risolto iterativamente partendo da una soluzione iniziale (modello di partenza). L'equazione da considerare è pertanto la seguente

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

dove $\Delta \mathbf{t} = \mathbf{t} - \mathbf{t}(\mathbf{u}_0)$ è la differenza tra i tempi sperimentali e i tempi calcolati per il modello di lentezze iniziale \mathbf{u}_0 ; $\Delta \mathbf{u}$ è la perturbazione del modello iniziale; e \mathbf{J} è la matrice jacobiana contenente le derivate parziali delle dromocrone rispetto alle lentezze nelle celle $\frac{\partial t_i}{\partial u_k}$.

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

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

dove λ è il fattore di smorzamento e la matrice \mathbf{L}_2 è una matrice derivata seconda (operatore laplaciano) che forza la soluzione verso la soluzione più regolare possibile (smoothest solution).

L'affinamento della soluzione è stato ottenuto attraverso un processo tomografico di inversione basato sul metodo WET (Wavepath Eikonal Traveltime inversion: Theory,



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO
PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	13 di 76

1993, Geophysics, Volume 58, Issue 9, pp. 1314-1323), spinto fino a 100 iterazioni per ottimizzarne il risultato finale e risolvere al meglio le zone con inversioni di velocità.

I risultati grafici che rappresentano la distribuzione delle velocità delle onde di compressione (V_p) e di taglio (V_s) nei terreni indagati, sono visualizzati nell'allegato con campiture a colori caratterizzate da una scala cromatica rappresentativa della dinamica dei valori di velocità incontrati (espressi in m/s, metri al secondo). Tale rappresentazione consente di identificare aree omogenee (medesimo comportamento cromatico) in termini sismo-stratigrafici. Queste zone di isovalori, di V_p per le onde di compressione, e di V_s , per quelle di taglio, sono correlabili ad ammassi di materiale con caratteristiche affini.

2.2 Indagine DOWN HOLE

2.2.1 Principi di funzionamento e cenni sul metodo

La prova sismica tipo Down Hole è un metodo di indagine finalizzato alla determinazione dei profili di velocità delle onde sismiche di volume di taglio SH e di compressione P di depositi di terreno.

I profili di velocità ottenuti dalle misure DH rappresentano valori di velocità medi sullo spessore degli strati poiché sono calcolati lungo percorsi dei raggi sismici inclinati. Tali percorsi sono poi stati corretti, considerando una distanza boccaforo-sorgente di 2 m, per essere riportati ad un percorso rettilineo lungo la verticale.

L'importante particolarità di tale metodo è quella di studiare i parametri di stato e di comportamento riferendoli a volumi di terreno rappresentativi dei caratteri megastrutturali dei depositi, attraverso misure capaci di dare valori medi e non solo puntuali dei parametri geotecnici dei geomateriali.

Caratteristica essenziale del metodo sismico utilizzato è quella di consentire la determinazione dei parametri di deformabilità riferendoli a valori molto bassi dei livelli di deformazione ($<10^{-5}$ m), al di sotto della soglia di deformazione lineare ciclica.

Per l'interpretazione dei dati è stato usato metodo denominato "Intervallo" in cui vengono misurati i tempi di tragitto dell'onda sismica fra due ricevitori posti a differente profondità (velocità intervallo). Nel nostro caso le misurazioni sono state eseguite ogni metro.

I parametri calcolabili con l'ausilio del metodo DH sono:

- il Coefficiente di Poisson dinamico,
- il modulo di elasticità dinamico longitudinale (o di Young),
- il modulo di taglio dinamico (o modulo di rigidità),
- il Bulk modulus (modulo di incompressibilità) e pertanto
- il modulo di compressibilità dinamico.

I valori dinamici calcolati con tali tecniche possono risultare differenti dai valori

provenienti da prove di tipo statico puntuali (normalmente anche di un ordine di grandezza), specie in tipologie di materiali quali quelli in oggetto.

Il 22 marzo 2018 è entrato in vigore il D.M. 17 gennaio 2018 “Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni” (NTC 2018) pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n° 42 del 20.2.2018 che prevede nell’impiego, nell’approccio semplificato nella progettazione, della classificazione del sottosuolo in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall’espressione riportata di seguito:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

Il parametro $V_{S,eq}$ è calcolato mediante la media pesata delle velocità degli strati fino alla profondità in cui si incontra la $V_s = 800$ m/s entro i 30 metri. Nel caso in cui tale profondità sia maggiore di 30 m la $V_{S,eq}$ è uguale alla $V_{s,30}$.

Dal valore del parametro $V_{S,eq}$ è possibile risalire alla categoria di sottosuolo secondo il D.M. 2018 dal quale è tratta la successiva tabella.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l’utilizzo dell’approccio semplificato.	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

2.2.2 Metodologia di misura e strumentazione utilizzata

Nella fase di acquisizione dati, la sorgente del segnale sismico per onde SH è costituita da barre in teflon, di circa 2 m di lunghezza complessiva, assicurate al terreno applicando un carico verticale adeguato.

Lo sforzo di taglio è trasmesso colpendo orizzontalmente con una massa battente la barra, in successione sui due lati opposti (con lo scopo di trasmettere impulsi a

polarità invertite). Alternativamente, attraverso la realizzazione di un scasso nel terreno ove alloggiare verticalmente una piastra in alluminio, è possibile generare sul terreno gli sforzi di taglio necessari sulle due direzioni opposte (sempre con lo scopo di trasmettere impulsi a polarità invertite e successivamente sommarli per l'eliminazione del contributo delle onde P dai sismogrammi da avviare ad elaborazione).

Lo sforzo di compressione è invece trasmesso attraverso una massa battente ad azione verticale su di una piastra in alluminio.

I sistemi di energizzazione sono posizionati, in prossimità del boccaforo. I ricevitori, all'interno del foro di sondaggio, sono stati posti in modo tale che la velocità di propagazione delle onde di volume, caratteristica dei vari strati di terreno, potesse essere misurata ogni metro.



Figura 2.2.2.1: configurazione standard per le indagini Down Hole

Spostando i ricevitori (geofoni triassiali solidali da foro) a diverse profondità, è possibile ottenere un dettagliato profilo di velocità delle onde SH e P.

L'accoppiamento meccanico tra le pareti del foro attrezzato e i ricevitori all'interno del foro stesso, nell'indagine in oggetto, è stato reso possibile con appositi sistemi di ancoraggio pneumatico.

I ricevitori utilizzati sono costituiti da un sistema tridimensionale composto da tre geofoni, a frequenza propria di 10 Hz, della Geospace (USA), orientati nelle tre dimensioni dello spazio.

Il sismografo utilizzato per le misure sismiche Down hole è stato il medesimo descritto nel precedente paragrafo § 2.1.1., impiegato per la tomografia sismica a rifrazione.

2.2.3 Principi teorici

Per la determinazione dei moduli dinamici a partire dalla distribuzione di velocità delle onde di compressione P e di taglio SH, occorre assumere che il geomateriale indagato sia un mezzo omogeneo, elastico ed isotropo.

Nel nostro caso, come per la maggior parte, tale assunzione risulta un'approssimazione.

In ogni caso, facendo riferimento alle supposizioni introdotte, è possibile risalire al coefficiente di Poisson (in tale contesto denominato con σ , in altri comunemente definito con ν), tramite la seguente relazione:

$$\sigma = \frac{\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 2}{2\left[\left(\frac{V_P}{V_S}\right)^2 - 1\right]}$$

e al modulo di Young tramite l'equazione riportata di seguito:

$$E = \frac{(1-2\sigma)(1+\sigma)}{(1-\sigma)} \rho V_P^2$$

I valori dinamici calcolati con tali tecniche possono risultare differenti dai valori provenienti da prove di tipo statico puntuali (normalmente anche di un ordine di grandezza), specie in tipologie di materiali quali quelli in oggetto.

Sono inoltre esprimibili come funzioni dalle costanti elastiche dinamiche E e σ la compressibilità β e di conseguenza il *Bulk modulus* ($k = 1/\beta$) (Milton B. et alii, 1988), cioè come relazione tra le costanti di dilatazione cubica, risultanti dalla combinazione degli sforzi lineari di compressione e di taglio in dipendenza delle relative costanti:

$$k = \frac{E}{3(1-2\sigma)}$$

e il modulo di rigidità o di taglio μ (altrimenti indicato con la lettera G) :

$$\mu = \frac{E}{2(1+\sigma)}$$

	COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO. VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO				
	PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA				
RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE	COMMESSA RC0Y	LOTTO 00 F 69	CODIFICA IG	DOCUMENTO GE0005 002	REV. FOGGIO A 17 di 76

3. RISULTATI

3.1 Premessa

I risultati relativi alle indagini geofisiche eseguite a supporto del Progetto di Fattibilità tecnico economica per la velocizzazione mediante rettifiche di tracciato lungo il tratto di collegamento Lamezia T. – Settingiano, sono esposti nei paragrafi a seguire.

3.2 Risultati tomografie elettriche e sismiche a rifrazione – Allegato 1

Le localizzazioni dei vari profili indagati sono riportate su immagini satellitari nelle tavole dell'Allegato grafico 1. I principali risultati sono descritti di seguito.

3.2.1 Linea ERT2/L1

Il profilo, eseguito con 48 elettrodi a passo interelettrodico costante di 2,5 m, ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 15 m dal piano campagna (v. Tavole 1 e 2 dell'Allegato 1).

Nella parte superficiale della sezione elettrica si individua un primo elettrostrato con valori di resistività minori di 75 Ohm·m, attribuibile al detrito di versante eterogeneo con possibile circolazione di acqua. Lo spessore di tale orizzonte è mediamente di 3m ma lungo la stesa sono presenti locali ispessimenti in corrispondenza delle progressive 45 m e tra 68 m e 77 m.

Il secondo elettrostrato, con valori di resistività maggiori di 75 Ohm·m, è rappresentativo della formazione geologica degli scisti filladici.

3.2.2 Linea ERT2bis/L1

Il profilo, eseguito con 48 elettrodi a passo interelettrodico costante di 1 m e con una lunghezza totale di 42 m, ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 6/7 m dal piano campagna (v. Tavole 1 e 3 dell'Allegato 1). Il profilo è dislocato pochi metri ad Ovest della linea ERT2/L1, in una zona nella quale le alzate di terrazzo raggiungono altezze e pendenze apprezzabili.

Nella parte superficiale della sezione elettrica si individua un primo elettrostrato con valori di resistività minori di 75 Ohm·m attribuibile al detrito di versante eterogeneo con possibile circolazione di acqua. Lo spessore di tale orizzonte è variabile con massimi di 5/6 m in corrispondenza delle progressive 7 m e 22 m e di 4 m alla progressiva 31 m.

Il secondo elettrostrato, con valori di resistività maggiori di 75 Ohm·m, è rappresentativo della formazione geologica degli scisti filladici.

3.2.3 Linea ERT3/L1

Il profilo, eseguito con 72 elettrodi a passo interelettrodico costante di 2 m e con una lunghezza totale di 135 m, ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di

circa 20 m dal piano campagna (v. Tavole 4 e 5 dell'Allegato 1).

Nella parte superficiale della sezione elettrica si individua un primo elettrostrato con valori di resistività mediamente minori 50 Ohm·m attribuibile al detrito di versante. Nella porzione più superficiale di tale livello più areata e rimaneggiata si osservano incrementi di resistività localizzati, mentre in profondità, i bassi valori di resistività indicano un maggiore contenuto in materiali fini ed una probabile circolazione in acqua.

Lo spessore di tale orizzonte è piuttosto variabile. Da un massimo di 5/6 m ad inizio sezione, tra le progressive 0 m e 40 m, esso tende progressivamente ad assottigliarsi fino ad un minimo di 1/1,5 m a fine sezione.

Il secondo elettrostrato, con valori di resistività maggiori di 50 Ohm·m, è rappresentativo della formazione geologica degli scisti filladici. Lungo la sezione tale elettrostrato presenta variazioni laterali di resistività con aumento nei valori verso monte.

3.2.4 Linea ERT3/L2

Il profilo, eseguito con 96 elettrodi a passo interelettrodico costante di 1 m, ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 12/13 m dal piano campagna (v. Tavole 6 e 7 dell'Allegato 1).

Nella parte superficiale della sezione elettrica si individua un primo elettrostrato il cui spessore rimane costante e pari ad 1 m tra le progressive 0 m e 51/52 m. Di seguito l'elettrostrato aumenta progressivamente di potenza fino a un massimo di circa 4 m a fine sezione. I bassi valori di resistività elettrica suggeriscono l'attribuzione ad un detrito di versante eterogeneo a matrice fine.

Il secondo elettrostrato individuato nella parte alta del versante, presenta valori di resistività maggiori di 35 Ohm·m ed è attribuibile a depositi da medio a grossolani a diverso grado di addensamento/diagenizzazione.

Nella porzione finale della sezione i valori di resistività elettrica compresi tra 25 Ohm·m e 35 Ohm·m possono essere attribuiti alla presenza di depositi a granulometria medio fine.

3.2.5 Linea ERT7/L2

Il profilo ERT7/L2 ha una lunghezza di 128 m ed ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 15 m dal piano campagna (v. Tavole 8 e 8 dell'Allegato 1).

La linea elettrica è stata opportunamente tarata attraverso la stratigrafia derivata dal sondaggio a carotaggio continuo SN 09 L2.

Lungo la sezione, in superficie, è delimitato un primo elettrostrato. I valori di resistività elettrica sono maggiori di 30 Ohm·m e lo spessore, dai 2/2,5 m ad inizio sezione, tende a ridursi fino alla progressiva 114 m dove l'elettrostrato va a scomparire. Il medesimo è attribuito al riporto/terreni rimaneggiati.



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO
PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	19 di 76

Segue un secondo elettrostrato dello spessore medio di circa 2/3 m caratterizzato da bassi valori di resistività, mediamente compresi tra 20 Ohm·m e 25 Ohm·m ed è attribuibile ai limi sabbiosi/limi argillosi.

L'elettrostrato sottostante (elettrostrato 3) manifesta una risposta elettrica con valori di resistività compresi tra 35 Ohm·m e 60 Ohm·m ed ha uno spessore variabile lungo l'intera sezione. L'elettrostrato è attribuibile alle sabbie limose.

Nella porzione profonda della sezione i valori di resistività elettrica compresi tra 25 Ohm·m e 35 Ohm·m possono essere attribuiti alla presenza di depositi di limi sabbiosi.

3.2.6 Linee ERT10/L2 e 11/L2

I profili ERT10/L2 ed ERT11/L2 sono stati acquisiti parallelamente al tracciato ferroviario, ai lati Nord Ovest e Sud Est, ognuno ad una distanza di circa 1 m dai binari. La lunghezza di ciascuna linea è pari a 142 m e la profondità massima investigata è di 16 m (v. Tavole 10, 11 e 12 dell'Allegato 1).

Nella prima fase della campagna di acquisizione, durante il sopralluogo generale è stata riscontrata la presenza a valle, sul lato Sud Est dei binari, di un muro di contenimento privo di correttivi idraulici (v. Foto 1 e 2 di Tavola 11). L'opera di contenimento nei pressi del ponticello in adiacenza al limite Ovest degli stendimenti, presenta un dissesto tra gli elementi strutturali ortogonali (v. Foto 3 e 4 di Tavola 11).

Inoltre, i materiali granulari di cui è composta la massicciata ferroviaria, sono disposti ad alto angolo, privi di coesione e quindi facilmente dissestabili.

La linea elettrica ERT 10/L2 è stata opportunamente tarata attraverso la stratigrafia derivata dal sondaggio a carotaggio continuo SN14/L2_DH.

Le sezioni tomografiche elettriche elaborate sono illustrate nella Tavola 12 dell'Allegato 1.

Lungo la sezione ERT10/L2, in superficie, è delimitato un primo elettrostrato. I valori di resistività elettrica sono maggiori di 30 Ohm·m e lo spessore dell'elettrostrato, mediamente di 1,5/2 m tra le progressive 0 m e 60 m, tende ad aumentare a 2/3 m verso la fine della sezione con massimo alla progressiva 124 m. Tra la progressiva 124 m e la fine della sezione tende ad assottigliarsi nuovamente.

Segue un secondo elettrostrato (elettrostrato 2), di spessore variabile lungo l'intera sezione, caratterizzato da bassi valori di resistività, mediamente compresi tra 5 Ohm·m e 15 Ohm·m e con massimi locali 50 Ohm·m. Il massimo spessore dell'elettrostrato è localizzato tra le progressive 24 m e 116 m lungo la sezione. Sulla base dei valori di resistività elettrica e della stratigrafia del sondaggio di taratura SN 14/L2 DH, tale elettrostrato è attribuibile a depositi a granulometria variabile a matrice fine saturi.

Nella porzione profonda della sezione (elettrostrato 3) i valori di resistività elettrica compresi tra 15 Ohm·m e 25 Ohm·m possono essere attribuiti alla presenza di depositi di sabbie fini limose.



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO
PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	20 di 76

Lungo la linea elettrica ERT 11/L2, i valori di resistività generalmente maggiori rispetto alla sezione ERT 10/L2, sono probabilmente dovuti a maggiori resistenze di contatto tra gli elettrodi e la massicciata ferroviaria. Sebbene non vi sia una perfetta corrispondenza nei valori la sezione può essere esaminata attraverso i contrasti di resistività in termini di spessore.

Lungo la medesima sono stati distinti i tre elettrostrati precedentemente individuati e per confronto in entrambe le sezioni è riportato il profilo del terreno lato monte (lato sondaggio).

Le sezioni evidenziano un aumento di spessore verso valle dell'elettrostrato 2 conduttivo, sia nella parte iniziale della sezione ERT 11/L2 che nella porzione centrale, probabilmente attribuibile ad un incremento di potenza dei depositi a granulometria variabile a matrice fine saturi.

3.2.7 Linea ERT14/L2 e RIFR 14/L2

Il profilo ERT14/L2 ha una lunghezza di 95 m ed ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 13/14 m dal piano campagna (v. Tavole 13 e 14 dell'Allegato 1). Il medesimo è stato acquisito con direzione lungo la massima pendenza.

Lungo la sezione, in superficie, è delimitato un primo elettrostrato i cui valori di resistività elettrica sono maggiori di 15 Ohm·m con minimi localizzati sia sulle porzioni più superficiali e che localmente all'interno. Lo spessore varia dai 5/6 m ad inizio sezione e tende a ridursi a partire dalla progressiva 18 m e stabilizzarsi su una potenza di 3/4 m fino a fine linea. Questo livello è attribuibile al detrito di versante eterogeneo localmente saturo in acqua con porzioni superficiali di terreno rimaneggiato.

Segue in profondità un secondo elettrostrato entro il quale si distinguono due porzioni, l'elettrostrato 2a e l'elettrostrato 2b. L'elettrostrato 2b ad inizio sezione ha valori di resistività compresi tra 8 e 12 Ohm·m ed è attribuibile probabilmente a depositi con gessi mentre l'elettrostrato 2°, con valori tra 5 e 8 Ohm·m, è correlabile a dei terreni argillosi volgenti in profondità a marne argillose.

La rifrazione tomografica RIFR 14/L2 (v. Tavola 15) per onde di compressione e di taglio eseguita in sovrapposizione della ERT 14/L2 ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 25/30 m dal piano campagna con entrambi i tipi di onde.

Lungo la sezione si individua un primo sismostrato nel quale le onde di compressione e di taglio si propagano rispettivamente con velocità comprese negli intervalli 200 – 600/800 m/s e 100 – 150/250 m/s. Tale sismostrato è attribuibile al detrito di versante eterogeneo localmente saturo in acqua con porzioni superficiali di terreno rimaneggiato.

Segue un secondo sismostrato nel quale le onde di compressione assumono una distribuzione piuttosto caotica, con valori di velocità compresi tra 600/800 m/s ed i 2.000 m/se con presenza di numerose inversioni di velocità. Nella parte più profonda della sezione e verso monte il gradiente di velocità si regolarizza e le velocità



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	21 di 76

divengono maggiori di 2.000 m/s. Nella sezione per le onde di taglio le velocità sono comprese tra 150/250 m/s ed i 650 m/s.

3.2.8 Linea ERT15/L2 e RIFR 15/L2

Il profilo ERT15/L2 ha una lunghezza di 95 m ed ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 13/14 m dal piano campagna (v. Tavole 16 e 17 dell'Allegato 1). Il medesimo è stato acquisito con direzione lungo la massima pendenza, circa parallelamente alla linea ERT14/L2.

Lungo la sezione, in superficie, è delimitato un primo elettrostrato di spessore variabile tra i 3 m ed i 5 m. I valori di resistività elettrica sono maggiori di 9-10 Ohm·m con locali minimi sulle porzioni più superficiali e localmente nella zona centrale. L'elettrostrato è attribuibile al detrito di versante eterogeneo localmente saturo in acqua e con porzioni superficiali di terreno rimaneggiato.

Segue in profondità un secondo elettrostrato entro il quale si distinguono due porzioni, l'elettrostrato 2a e l'elettrostrato 2b. L'elettrostrato 2b ad inizio sezione ha valori di resistività compresi tra 8 e 10 Ohm·m ed è attribuibile probabilmente a depositi con gessi mentre l'elettrostrato 2a con valori tra 5 e 8 Ohm·m è correlabile a dei terreni argillosi volgenti in profondità a marne argillose.

La rifrazione tomografica RIFR 15/L2 per onde di compressione e di taglio eseguita in sovrapposizione della ERT 15/L2 ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 30/35 m dal piano campagna con entrambi i tipi di onde.

Lungo la sezione si individua un primo sismostrato nel quale le onde di compressione e di taglio si propagano rispettivamente con velocità comprese negli intervalli 200 – 600/800 m/s e 100 – 150/200 m/s. Tale sismostrato è attribuibile al detrito di versante eterogeneo localmente saturo in acqua con porzioni superficiali di terreno rimaneggiato.

Segue un secondo sismostrato nel quale le onde di compressione si propagano con velocità comprese tra 600/800 m/s e 2.800 m/se con presenza di una inversione di velocità nella parte centrale profonda.

Le onde di taglio assumono velocità comprese tra i 150/200 m/s ed i 700 m/s.

3.2.9 Linee ERT16/L2 e RIFR 16/L2

Il profilo ERT16/L2, per una lunghezza di 95 m, è stato acquisito circa parallelamente al tracciato ferroviario ed ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 14/15 m dal piano campagna (v. Tavole 19 e 20 dell'Allegato 1). Il medesimo è stato acquisito ad intersecare le linee ERT14/L2 ed ERT15/L2 descritte in precedenza.

Lungo la sezione, il primo elettrostrato ha uno spessore variabile da inizio linea a fine tra i 4 m ed i 5/5,5 m. I valori di resistività elettrica sono maggiori di 9-10 Ohm·m con locali minimi sulle porzioni più superficiali e localmente nella zona terminale, tra le



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO
PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	22 di 76

progressive 78-92 m. L'elettrostrato è attribuibile al detrito di versante eterogeneo localmente saturo in acqua con porzioni superficiali di terreno rimaneggiato.

Segue in profondità un secondo elettrostrato entro il quale si distinguono due porzioni, l'elettrostrato 2a e l'elettrostrato 2b. L'elettrostrato 2a, compreso tra le progressive 0 m e 56 m, con valori tra 5 e 10 Ohm·m è correlabile a dei terreni argillosi volgenti in profondità a marne argillose. L'elettrostrato 2b tra le progressive 56 m e 95 m ha valori di resistività compresi tra 10 e 25/30 Ohm·m ed è attribuibile probabilmente a depositi con gessi.

La rifrazione tomografica RIFR 16/L2 per onde di compressione e di taglio eseguita in sovrapposizione della ERT 16/L2 ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 25/30 m dal piano campagna con entrambi i tipi di onde (v. Tavola 21 dell'Allegato 1).

Lungo la sezione si individua un primo sismostrato nel quale le onde di compressione e di taglio si propagano rispettivamente con velocità comprese negli intervalli 200 – 500/600 m/s e 100 – 200 m/s. Tale sismostrato, in accordo con i risultati ERT, è attribuibile al detrito di versante eterogeneo localmente saturo in acqua con porzioni superficiali di terreno rimaneggiato.

Segue un secondo sismostrato nel quale le onde di compressione si propagano con velocità comprese tra 500/600 m/s e 2.400 m/se con presenza nella zona centrale della sezione di un gradiente attenuato rispetto alle porzioni iniziale e finale. Nella parte centrale della sezione le onde di compressione raggiungono un massimo in profondità di 1.600/1.800 m/s.

Le onde di taglio assumono velocità comprese tra i 200 m/s ed i 600 m/s.

Lungo la sezione sismica delle onde di taglio elaborata è riportata una curva bianca tratteggiata la quale ricalca il limite che, nella sezione ERT, delimita le porzioni 2a e 2b: si riscontra infatti, nello specifico, una certa correlazione tra l'aumento di resistività e il maggiore gradiente di velocità delle onde di taglio nel settore compreso tra le progressive 56 m e 95 m, attribuibile alla presenza dei gessi.

3.2.10 Linea ERT20/L2

La linea ERT20/L2, per una lunghezza di 500 m, è stata acquisita circa parallelamente al tracciato ferroviario, in prosecuzione in direzione Est della linea ERT 16/L2. La linea ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 45 m dal piano campagna (v. Tavole 22 e 24 dell'Allegato 1).

La linea elettrica è stata opportunamente tarata attraverso la stratigrafia derivata dal sondaggio a carotaggio continuo SN 17 L2.

Lungo la sezione, il primo elettrostrato ha uno spessore estremamente variabile. Tra le progressive 0 m e 140 m la potenza dello strato varia tra i 6 m ed i 10 m; il massimo ispessimento è registrato alla progressiva 58 m. Tra la progressiva 140 m e la fine della sezione lo spessore dell'elettrostrato si riduce notevolmente e tende ad impostarsi mediamente sui 3/4 m.



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	23 di 76

I valori di resistività elettrica sono compresi tra 8-18 Ohm·m, con locali minimi sulle porzioni più superficiali, nella parte profonda tra le progressive 0 m e 140 m, e, per l'intero spessore, nella zona compresa tra le progressive 300 m e 360 m.

Tale elettrostrato è attribuito al detrito di versante eterogeneo localmente saturo in acqua con porzioni superficiali di terreno rimaneggiato.

Segue in profondità un secondo elettrostrato entro il quale si distinguono tre settori: gli elettrostrati 2a, 2b e 2c. Al di sotto dell'elettrostrato 1, procedendo da sinistra verso destra lungo la sezione, vengono intercettati nell'ordine gli elettrostrati 2b, 2a e 2c.

L'elettrostrato 2b visibile tra le progressive 0 m e 295 m ha valori di resistività compresi tra 8 e 25/30 Ohm·m ed è attribuibile probabilmente a depositi con gessi. Alla base dell'elettrostrato 2b si sviluppa l'elettrostrato 2a.

L'elettrostrato 2a, è presente lungo l'intera sezione e tra le progressive 90 m e 360 m risulta particolarmente conduttivo. Tale elettrostrato è correlabile a dei terreni argillosi volgenti in profondità a marne argillose.

L'elettrostrato 2c è rintracciato nella parte finale della sezione, tra le progressive 360 m e 500 m. I valori di resistività sono paragonabili a quelli registrati per l'elettrostrato 2b, compresi tra 10 e 25/30 Ohm·m, ma la cartografia geologica disponibile in rete consente di distinguerli e di attribuire l'elettrostrato 2c ai depositi grossolani derivati dal disfacimento di conglomerato e/o da conoide.

Per un confronto ed una più facile lettura dei risultati ottenuti per le ERT 16/L2 ed ERT 20/L2 nella Tavola 24 le due sezioni sono state unite ed invertite assieme (elaborate congiuntamente).

3.2.11 Linea ERT21/L2

La linea ERT21/L2, per una lunghezza di 285 m, è stata acquisita circa ortogonalmente al tracciato ferroviario e alla ERT20/L2. La linea ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 48 m dal piano campagna (v. Tavole 23 e 25 dell'Allegato 1).

La linea elettrica è stata opportunamente tarata attraverso la stratigrafia derivata dal sondaggio a carotaggio continuo SN 17 L2.

Lungo la sezione, il primo elettrostrato ha uno spessore pressoché costante e pari a 2 m ed i valori di resistività elettrica sono compresi tra 8-18 Ohm·m.

Nella parte centrale della sezione, in superficie è riportato l'ingombro della sezione del ponte ferroviario. A seguire, tra le progressive 152 m e 168 m, l'ispessimento annotato nell'elettrostrato 1 è dovuto al sistema briglia in cemento armato ed alveo del fiume.

L'elettrostrato 1 è attribuito al detrito di versante eterogeneo localmente saturo in acqua con porzioni superficiali di terreno rimaneggiato.

Segue in profondità un secondo elettrostrato entro il quale, come per la ERT 20/L2,



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	24 di 76

si distinguono tre porzioni, gli elettrostrati 2a, 2b e 2c. Al di sotto dell'elettrostrato 1, procedendo da sinistra verso destra lungo la sezione vengono intercettati nell'ordine gli elettrostrati 2b, 2a e 2c.

L'elettrostrato 2b tra le progressive 0 m e 105 m ha valori di resistività compresi tra 8 e 25/30 Ohm·m ed è attribuibile probabilmente ai gessi. Alla base l'elettrostrato 2b interfaccia con il 2a e tra le progressive 50 m e 105 m i due sono interdigitati.

L'elettrostrato 2a, è presente lungo l'intera sezione. I bassi valori di resistività, compresi tra 5 e 10 Ohm·m rendono il medesimo correlabile a dei terreni argillosi volgenti in profondità a marne argillose.

L'elettrostrato 2c è rintracciato tra il ponte ferroviario e la fine della sezione con spessore variabile da 18 m a 15 m. I valori di resistività sono compresi tra 10 e 75/80 Ohm·m sono decisamente superiori rispetto a quanto registrato per i gessi, e sulla base della stratigrafia del sondaggio SN 17 L2 e della cartografia geologica disponibile in rete, possono essere attribuiti ai depositi grossolani derivati dal disfacimento di conglomerato e/o da conoide.

La zona compresa tra le progressive 120 m e 142 m al di sotto del ponte ferroviario, con valori di resistività compresi tra i 10 ed i 14 Ohm·m sono attribuiti a materiale caotico tra gessi e conglomerato.

3.2.12 Linee ERT17/L2, 18/L2 e 19/L2

Le linee ERT17/L2, ERT 18/L2 e ERT 19/L2 sono state acquisite parallelamente al tracciato ferroviario (linee ERT 18/L2 e ERT 19/L2) ed ortogonalmente al medesimo (linea ERT 17/L2).

La disposizione degli allineamenti è visibile nelle Tavole 26, 27 e 28 dell'Allegato grafico 1. All'interno dell'area di indagine ed in un congruo intorno sono presenti vari affioramenti dei gessi. Lo scopo dell'indagine consiste nella ricostruzione dell'assetto elettrostratigrafico dell'area, con particolare ricerca di eventuali anomalie correlabili ai processi di dissoluzione che generalmente sono attivi nelle successioni in cui sono presenti depositi contenenti bancate di gesso.

ERT 18/L2

La sezione ERT18/L2 rappresenta lo stendimento più lungo tra le tre ed è stato acquisito sul lato Nord Est del tracciato ferroviario. La linea, con una lunghezza totale di 280 m, ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 45 m dal piano campagna (v. Tavola 29 dell'Allegato 1).

La linea elettrica è stata opportunamente tarata attraverso la stratigrafia derivata dal sondaggio a carotaggio continuo SN 16/L2 DH.

Lungo la sezione, il primo elettrostrato (elettrostrato 1) ha uno spessore pressoché costante e pari a 1/2 m e valori di resistività elettrica compresi tra 10 e 20 Ohm·m. Esso è correlabile con il terreno rimaneggiato.

Segue l'elettrostrato 2 tra le progressive 0 m e 105 m, caratterizzato da valori di



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO
PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	25 di 76

resistività generalmente bassi, inferiori ai 10 Ohm·m, e attribuibile a terreni argillosi.

L'elettrostrato successivo è il 3. Esso è posto al di sotto dell'elettrostrato 2 tra le progressive 0 m e 105 m e sotto l'elettrostrato 1 nel resto della sezione. I valori di resistività sono alti, compresi tra 20/25 Ohm·m e 100 Ohm·m in particolare tra le progressive 75 – 110 m e nella zona di affioramento tra le progressive 130 e 180 m. Tale livello è costituito da banchi di gesso o da depositi molto ricchi in gesso.

La parte profonda della sezione, l'elettrostrato 4, mostra valori di resistività compresi tra 15 e 20/25 Ohm·m ed è correlabile con una alternanza tra le argille e gessi.

In varie zone all'interfaccia tra i gessi (elettrostrato 3) e l'alternanza tra argille e gessi (elettrostrato 4), lungo la sezione, sono individuabili anomalie generalmente conduttive. Le anomalie individuate sono da mettere in relazione probabilmente a cavità, umide o con acqua o con riempimento argilloso, prodotte dai processi di dissoluzione nei gessi.

ERT 19/L2

La sezione ERT19/L2 è stata acquisita sul lato Sud Ovest del tracciato ferroviario per una lunghezza di 210 m. La linea ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 35 m dal piano campagna (v. Tavola 29 dell'Allegato 1).

Lungo la sezione, il primo elettrostrato (elettrostrato 1) ha uno spessore pressoché costante e pari a 2/4 m con uno sviluppo dalla progressiva 0 m alla 170 m. I valori di resistività elettrica sono compresi tra 10 e 20 Ohm·m. L'elettrostrato è correlabile con il terreno rimaneggiato.

Segue l'elettrostrato 2, individuato tra le progressive 44 m e 90 m, caratterizzato da valori di resistività generalmente bassi, inferiori ai 10 Ohm·m, e attribuibile a terreni argillosi.

L'elettrostrato 3 successivo ha una distribuzione piuttosto caotica; è interdigitato con le argille nella prima parte della sezione mentre risulta dominante nella seconda parte, tra le progressive 140 m – 210 m. I valori di resistività sono compresi tra 20/25 Ohm·m e 100 Ohm·m.

La parte centrale profonda della sezione, l'elettrostrato 4, mostra valori di resistività compresi tra 15 e 20/25 Ohm·m ed è correlabile con una alternanza tra le argille e gessi.

Lungo la sezione 19/L2, come nel caso della 18/L2, in varie zone all'interfaccia tra i gessi (elettrostrato 3) e l'alternanza tra argille e gessi (elettrostrato 4) lungo la sezione tra le progressive 95 m e 105 m, sono individuabili anomalie generalmente conduttive. Nel caso specifico una ulteriore anomalia è individuata all'interno dei gessi alla progressiva 170 m. Le anomalie individuate sono da mettere in relazione probabilmente a cavità, umide o con acqua o con riempimento argilloso, prodotte dai processi di dissoluzione nei gessi.



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	26 di 76

ERT 17/L2

La sezione ERT17/L2 è stata acquisita con direzione circa ortogonale al tracciato ferroviario ed alle linee ERT 18/L2 e 19/L2. Con una lunghezza di 140 m la linea ha consentito di indagare i terreni fino alla profondità di circa 22 m dal piano campagna (v. Tavola 29 dell'Allegato 1).

Il primo elettrostrato (elettrostrato 1) individuato lungo la sezione ha uno spessore pressoché costante di circa 2 m con uno sviluppo dalla progressiva 0 m alla 68 m e tra le progressive 78 m e 122 m. Nell'ultimo tratto della sezione, tra le progressive 122 m e 140 m l'elettrostrato presenta il massimo spessore pari a 3/4 m.

I valori di resistività elettrica sono compresi tra 10 e 20 Ohm·m. L'elettrostrato è correlabile con il terreno rimaneggiato.

Lungo la sezione l'assetto elettrostratigrafico subisce importanti variazioni sia verticali che laterali.

Tra le progressive 0 m – 44 m, al di sotto dell'elettrostrato 1 è presente l'elettrostrato 5, con spessore più o meno costante di 5/6 m e valori di resistività compresi tra 15 e 25 Ohm·m, attribuibile a probabili depositi alluvionali.

Nello stesso intervallo di progressive, andando in profondità, seguono l'elettrostrato 2 di natura argillosa e l'elettrostrato 4 rappresentativo dell'alternanza gessi-argille.

Tra le progressive 44 m e 78 m l'assetto elettrostratigrafico è differente. Al di sotto dei gessi (elettrostrato 3), affioranti nella zona centrale della sezione, si individua l'elettrostrato 4 in accordo con le linee ERT 18/L2 e 19/L2 nella zona di incrocio.

Nell'ultima parte della sezione, tra le progressive 78 m e 140 m, l'elettrostrato 1 è seguito dall'elettrostrato 2 argilloso ed in profondità da un importante spessore dell'elettrostrato 3 relativo ai gessi. Anche lungo la sezione in oggetto le anomalie sono individuate nella zona centrale all'interfaccia tra i gessi (elettrostrato 3) e l'alternanza tra argille e gessi (elettrostrato 4). Le anomalie individuate sono da mettere in relazione probabilmente a cavità, umide o con acqua o con riempimento argilloso, prodotte dai processi di dissoluzione nei gessi.

3.3 Risultati indagini DOWN HOLE – Allegato 2

Nell'Allegato grafico 2, oltre l'ubicazione del foro di sondaggio opportunamente attrezzato per le prove in foro, sono riportati i sismogrammi onde P ed SH ottenuti i tempi dei primi arrivi osservati e corretti secondo una distanza bocca pozzo–sorgente pari a 2 m, i profili di velocità e le tabelle dei parametri dinamici.

Attraverso il profilo di velocità ottenuto dalla prova Down Hole sono stati calcolati i valori del parametro $V_{s,eq}$ e attribuita una specifica classe di sottosuolo. Si ricorda che, per la progettazione di opere civili, il DM 2018 non prevede l'applicabilità del metodo semplificato con attribuzione della categoria di suolo nei casi siano presenti inversioni di velocità lungo il profilo verticale.

3.3.1 Prova Down Hole su foro SN14/L2 DH

I risultati completi della prova, la sua ubicazione e la sua interpretazione, sono reperibili nell'Allegato 2. Di seguito sono riportati i valori delle velocità delle onde P ed S.

Strato	Profondità	Spessore (m)	Velocità Vp media	Velocità Vs media
	(m dal p.c.)		(m/s)	(m/s)
1	da -1 a -2 m	1	348	97
2	da -2 a -3 m	1	529	107
3	da -3 a -4 m	1	637	171
4	da -4 a -5 m	1	882	189
5	da -5 a -6 m	1	980	199
6	da -6 a -7 m	1	1208	201
7	da -7 a -8 m	1	1656	300
8	da -8 a -9 m	1	1741	539
9	da -9 a -10 m	1	2187	578
10	da -10 a -11 m	1	1845	406
11	da -11 a -12 m	1	1877	302
12	da -12 a -13 m	1	1900	300
13	da -13 a -14 m	1	1918	275
14	da -14 a -15 m	1	1763	319
15	da -15 a -16 m	1	1772	427
16	da -16 a -17 m	1	1951	456
17	da -17 a -18 m	1	1958	443
18	da -18 a -19 m	1	1964	394
19	da -19 a -20 m	1	1646	330
20	da -20 a -21 m	1	1523	380
21	da -21 a -22 m	1	1650	337
22	da -22 a -23 m	1	1708	337
23	da -23 a -24 m	1	1740	448
24	da -24 a -25 m	1	1804	449
25	da -25 a -26 m	1	1805	475
26	da -26 a -27 m	1	1910	262
27	da -27 a -28 m	1	2027	450
28	da -28 a -29 m	1	2028	500
29	da -29 a -30 m	1	1989	497

Tabella 3.3.1.1: Velocità delle onde P ed SH.

Nella Tabella 3.3.1.2, si riportano i valori dinamici del Coefficiente di Poisson (qui indicato col simbolo σ), del Modulo di Young dinamico (E), del Modulo di Rigidità o di Taglio (μ), nonché del Bulk Modulus (inverso della compressibilità), calcolati così

come descritto precedentemente.

Strato	Profondità (m dal p.c.)	Spessore (m)	γ (kN/m ³)	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	Vseq (da 0 m per H=30 m)
1	da -1 a -2 m	1	16.70	0.46	44.61	15.30	177.62	269
2	da -2 a -3 m	1	17.06	0.48	56.23	19.01	443.88	
3	da -3 a -4 m	1	17.27	0.46	144.08	49.30	621.36	
4	da -4 a -5 m	1	17.76	0.48	184.17	62.39	1270.60	
5	da -5 a -6 m	1	17.96	0.48	205.72	69.57	1597.53	
6	da -6 a -7 m	1	18.42	0.49	216.68	72.92	2536.99	
7	da -7 a -8 m	1	19.31	0.48	507.20	171.01	4963.01	
8	da -8 a -9 m	1	19.48	0.45	1604.27	554.33	5048.71	
9	da -9 a -10 m	1	20.37	0.46	1952.42	667.52	8666.05	
10	da -10 a -11 m	1	19.69	0.47	939.57	318.60	6150.20	
11	da -11 a -12 m	1	19.75	0.49	524.18	176.28	6588.43	
12	da -12 a -13 m	1	19.80	0.49	520.28	174.92	6779.11	
13	da -13 a -14 m	1	19.84	0.49	438.71	147.27	6961.36	
14	da -14 a -15 m	1	19.53	0.48	577.87	194.82	5693.17	
15	da -15 a -16 m	1	19.54	0.47	1025.85	349.12	5551.44	
16	da -16 a -17 m	1	19.90	0.47	1195.59	406.37	8887.89	
17	da -17 a -18 m	1	19.92	0.47	1129.22	383.30	6976.76	
18	da -18 a -19 m	1	19.93	0.48	897.74	303.49	7130.83	
19	da -19 a -20 m	1	19.29	0.48	609.46	206.03	4850.81	
20	da -20 a -21 m	1	19.05	0.47	792.43	270.13	3974.79	
21	da -21 a -22 m	1	19.30	0.48	634.45	214.59	4869.61	
22	da -22 a -23 m	1	19.42	0.48	639.98	216.25	5289.29	
23	da -23 a -24 m	1	19.48	0.46	1123.31	383.52	5270.22	
24	da -24 a -25 m	1	19.61	0.47	1134.97	386.82	5740.50	
25	da -25 a -26 m	1	19.61	0.46	1269.77	434.02	5688.12	
26	da -26 a -27 m	1	19.82	0.49	397.53	133.36	6909.58	
27	da -27 a -28 m	1	20.05	0.47	1172.44	397.68	7547.42	
28	da -28 a -29 m	1	20.06	0.47	1444.70	492.20	7432.35	
29	da -29 a -30 m	1	19.98	0.47	1418.61	483.60	7104.01	

Tabella 3.3.1.2: Parametri dinamici medi e velocità equivalente.

Il foro di sondaggio attrezzato per la prove Down Hole è risultato con profondità pari a 30 m. Il parametro velocità equivalente $V_{s,eq}$ è stato calcolato tenendo conto di tale limite, imponendo allo strato compreso tra il piano campagna ed il limite -1 m dal p.c. la medesima velocità dello strato sottostante.

Il valore calcolato di $V_{s,eq}$ è riportato di seguito:

$$V_{s,eq} = V_{s,(30)} = 269 \text{ m/s a partire da 0 m dal p.c.}$$

Vista la stratigrafia presente, i profili di velocità delle onde di taglio e i valori di $V_{s,eq}$ indica una categoria di sottosuolo "C".

3.3.2 Prova Down Hole su foro SN11/L2 DH

I risultati completi della prova, la sua ubicazione e la sua interpretazione, sono reperibili nell'Allegato 2. Di seguito sono riportati i valori delle velocità delle onde P ed S.

Strato	Profondità (m dal p.c.)	Spessore (m)	Velocità Vp media (m/s)	Velocità Vs media (m/s)
1	da-1 a-2 m	1	265	92
2	da-2 a-3 m	1	403	101
3	da-3 a-4 m	1	650	175
4	da-4 a-5 m	1	814	199
5	da-5 a-6 m	1	1295	284
6	da-6 a-7 m	1	1385	149
7	da-7 a-8 m	1	1497	310
8	da-8 a-9 m	1	1707	319
9	da-9 a-10 m	1	1633	276
10	da-10 a-11 m	1	1546	171
11	da-11 a-12 m	1	1858	213
12	da-12 a-13 m	1	1885	332
13	da-13 a-14 m	1	2105	401
14	da-14 a-15 m	1	2125	421
15	da-15 a-16 m	1	2187	451
16	da-16 a-17 m	1	2108	357
17	da-17 a-18 m	1	2163	527
18	da-18 a-19 m	1	2434	566
19	da-19 a-20 m	1	2442	484
20	da-20 a-21 m	1	2183	395
21	da-21 a-22 m	1	1973	381
22	da-22 a-23 m	1	1976	413
23	da-23 a-24 m	1	2060	450
24	da-24 a-25 m	1	1906	431
25	da-25 a-26 m	1	2108	495
26	da-26 a-27 m	1	2252	550
27	da-27 a-28 m	1	2360	583
28	da-28 a-29 m	1	2113	580
29	da-29 a-30 m	1	1988	555
30	da-30 a-31 m	1	1810	497
31	da-31 a-32 m	1	1810	497
32	da-32 a-33 m	1	2210	524
33	da-33 a-34 m	1	2486	621
34	da-34 a-35 m	1	2212	324
35	da-35 a-36 m	1	2213	519
36	da-36 a-37 m	1	2316	622
37	da-37 a-38 m	1	2120	622
38	da-38 a-39 m	1	1994	554
39	da-39 a-40 m	1	2215	588
40	da-40 a-41 m	1	1995	579
41	da-41 a-42 m	1	1995	650

Tabella 3.3.2.1: Velocità delle onde P ed SH.

Nella Tabella 3.3.2.2, si riportano i valori dinamici del Coefficiente di Poisson (qui indicato col simbolo σ), del Modulo di Young dinamico (E), del Modulo di Rigidity o di Taglio (μ), nonché del Bulk Modulus (inverso della compressibilità), calcolati così come descritto precedentemente.

Strato	Profondità (m dal p.c.)	Spessore (m)	γ (kNm^3)	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	Vseq (da 0 m per H=30 m)
1	da-1 a-2 m	1	16.53	0.43	39.12	13.66	96.00	288
2	da-2 a-3 m	1	16.81	0.47	48.84	16.65	245.41	
3	da-3 a-4 m	1	17.30	0.46	151.28	51.77	648.58	
4	da-4 a-5 m	1	17.63	0.47	200.55	68.29	1053.98	
5	da-5 a-6 m	1	18.59	0.47	433.94	147.13	2862.37	
6	da-6 a-7 m	1	18.77	0.49	122.29	40.92	3475.67	
7	da-7 a-8 m	1	18.99	0.48	528.58	178.86	3935.51	
8	da-8 a-9 m	1	19.41	0.48	575.79	194.28	5290.88	
9	da-9 a-10 m	1	19.27	0.49	426.39	143.53	4845.17	
10	da-10 a-11 m	1	19.09	0.49	163.58	54.75	4401.05	
11	da-11 a-12 m	1	19.72	0.49	261.67	87.61	6560.39	
12	da-12 a-13 m	1	19.77	0.48	633.73	213.52	6607.87	
13	da-13 a-14 m	1	20.21	0.48	945.14	319.06	8353.40	
14	da-14 a-15 m	1	20.25	0.48	1039.84	351.39	8495.86	
15	da-15 a-16 m	1	20.37	0.48	1199.53	405.85	9013.61	
16	da-16 a-17 m	1	20.22	0.49	751.90	253.13	8470.50	
17	da-17 a-18 m	1	20.33	0.47	1628.67	554.58	8585.19	
18	da-18 a-19 m	1	20.87	0.47	1931.95	656.51	11245.92	
19	da-19 a-20 m	1	20.88	0.48	1417.00	478.84	11580.15	
20	da-20 a-21 m	1	20.37	0.48	925.90	312.16	9106.23	
21	da-21 a-22 m	1	19.95	0.48	840.19	283.72	7237.01	
22	da-22 a-23 m	1	19.95	0.48	984.12	333.10	7196.84	
23	da-23 a-24 m	1	20.12	0.47	1179.03	399.69	7839.66	
24	da-24 a-25 m	1	19.81	0.47	1064.08	361.19	6573.96	
25	da-25 a-26 m	1	20.22	0.47	1431.62	486.69	8158.99	
26	da-26 a-27 m	1	20.50	0.47	1788.35	609.01	9384.13	
27	da-27 a-28 m	1	20.72	0.47	2026.04	690.30	10395.82	
28	da-28 a-29 m	1	20.23	0.46	1947.18	667.18	7965.40	
29	da-29 a-30 m	1	19.98	0.46	1757.48	602.78	6941.43	
30	da-30 a-31 m	1	19.62	0.46	1388.07	475.63	5666.84	
31	da-31 a-32 m	1	19.62	0.46	1389.41	476.10	5671.28	
32	da-32 a-33 m	1	20.42	0.47	1614.68	549.11	9053.39	
33	da-33 a-34 m	1	20.97	0.47	2328.82	793.91	11649.51	
34	da-34 a-35 m	1	20.42	0.49	625.40	210.00	9522.41	
35	da-35 a-36 m	1	20.43	0.47	1588.90	540.13	9089.29	
36	da-36 a-37 m	1	20.63	0.46	2287.57	782.81	9808.78	
37	da-37 a-38 m	1	20.24	0.45	2233.04	768.48	7900.05	
38	da-38 a-39 m	1	19.99	0.46	1751.99	600.72	6994.22	
39	da-39 a-40 m	1	20.43	0.46	2026.92	693.17	8907.17	
40	da-40 a-41 m	1	19.99	0.45	1909.85	656.74	6925.63	
41	da-41 a-42 m	1	19.99	0.44	2383.21	827.09	6701.12	

Tabella 3.3.2.2: Parametri dinamici medi e velocità equivalente.

Il foro di sondaggio attrezzato per la prove Down Hole è risultato con profondità pari a 30 m. Il parametro velocità equivalente $V_{s,eq}$ è stato calcolato tenendo conto di tale limite, imponendo allo strato compreso tra il piano campagna ed il limite -1 m dal p.c. la medesima velocità dello strato sottostante.

Il valore calcolato di $V_{s,eq}$ è riportato di seguito:

$$V_{s,eq} = V_{s,(30)} = 288 \text{ m/s a partire da 0 m dal p.c.}$$

Vista la stratigrafia presente, i profili di velocità delle onde di taglio e i valori di $V_{s,eq}$ indica una categoria di sottosuolo "C".

3.3.3 *Prova Down Hole su foro SN16/L2 DH*

I risultati completi della prova, la sua ubicazione e la sua interpretazione, sono reperibili nell'Allegato 2. Di seguito sono riportati i valori delle velocità delle onde P ed S.

Strato	Profondità	Spessore	Velocità Vp media	Velocità Vs media
	(m dal p.c.)		(m/s)	(m/s)
1	da -1 a -2 m	1	323	119
2	da -2 a -3 m	1	570	216
3	da -3 a -4 m	1	598	408
4	da -4 a -5 m	1	1439	422
5	da -5 a -6 m	1	1418	494
6	da -6 a -7 m	1	1583	603
7	da -7 a -8 m	1	1946	644
8	da -8 a -9 m	1	2126	723
9	da -9 a -10 m	1	2313	749
10	da -10 a -11 m	1	2178	589
11	da -11 a -12 m	1	2321	634
12	da -12 a -13 m	1	2355	538
13	da -13 a -14 m	1	2381	541
14	da -14 a -15 m	1	2146	520
15	da -15 a -16 m	1	2158	488
16	da -16 a -17 m	1	1957	493
17	da -17 a -18 m	1	1963	527
18	da -18 a -19 m	1	1968	606
19	da -19 a -20 m	1	2187	495
20	da -20 a -21 m	1	2099	432
21	da -21 a -22 m	1	2060	457
22	da -22 a -23 m	1	1981	491
23	da -23 a -24 m	1	2200	598
24	da -24 a -25 m	1	2202	450
25	da -25 a -26 m	1	1986	467
26	da -26 a -27 m	1	1987	641
27	da -27 a -28 m	1	2309	407
28	da -28 a -29 m	1	2115	498
29	da -29 a -30 m	1	1990	342

Tabella 3.3.3.1: Velocità delle onde P ed SH.

Nella Tabella 3.3.3.2, si riportano i valori dinamici del Coefficiente di Poisson (qui indicato col simbolo σ), del Modulo di Young dinamico (E), del Modulo di Rigidità o di Taglio (μ), nonché del Bulk Modulus (inverso della compressibilità), calcolati così come descritto precedentemente.

Strato	Profondità	Spessore	γ	Poisson	Young	Share	Bulk	Vseq
	(m dal p.c.)	(m)	(kN/m ³)		(MPa)	(MPa)	(MPa)	
1	da -1 a -2 m	1	16.65	0.42	65.76	23.14	139.09	404
2	da -2 a -3 m	1	17.14	0.42	222.07	78.40	442.14	
3	da -3 a -4 m	1	17.20	0.07	598.09	280.75	229.24	
4	da -4 a -5 m	1	18.88	0.45	957.13	329.37	3392.11	
5	da -5 a -6 m	1	18.84	0.43	1292.30	451.60	3112.65	
6	da -6 a -7 m	1	19.17	0.42	1931.98	682.58	3797.58	
7	da -7 a -8 m	1	19.89	0.44	2331.14	810.31	6310.65	
8	da -8 a -9 m	1	20.25	0.43	2979.55	1038.44	7596.61	
9	da -9 a -10 m	1	20.63	0.44	3268.33	1133.67	9308.16	
10	da -10 a -11 m	1	20.36	0.46	2024.27	693.00	8542.40	
11	da -11 a -12 m	1	20.64	0.46	2373.21	812.90	9818.16	
12	da -12 a -13 m	1	20.71	0.47	1730.42	587.59	10480.98	
13	da -13 a -14 m	1	20.76	0.47	1754.95	595.79	10750.32	
14	da -14 a -15 m	1	20.29	0.47	1582.65	538.77	8445.66	
15	da -15 a -16 m	1	20.32	0.47	1395.81	473.77	8647.27	
16	da -16 a -17 m	1	19.91	0.47	1392.09	474.76	6846.76	
17	da -17 a -18 m	1	19.93	0.46	1583.30	541.77	6808.16	
18	da -18 a -19 m	1	19.94	0.45	2080.77	718.72	6613.71	
19	da -19 a -20 m	1	20.37	0.47	1444.56	490.36	8898.54	
20	da -20 a -21 m	1	20.20	0.48	1092.43	369.59	8237.33	
21	da -21 a -22 m	1	20.12	0.47	1212.82	411.36	7820.24	
22	da -22 a -23 m	1	19.96	0.47	1384.16	471.67	7051.43	
23	da -23 a -24 m	1	20.40	0.46	2091.76	716.32	8729.02	
24	da -24 a -25 m	1	20.40	0.48	1200.22	405.98	9164.89	
25	da -25 a -26 m	1	19.97	0.47	1256.30	427.10	7156.44	
26	da -26 a -27 m	1	19.97	0.44	2317.74	803.63	6665.42	
27	da -27 a -28 m	1	20.62	0.48	994.84	335.20	10334.15	
28	da -28 a -29 m	1	20.23	0.47	1447.85	492.25	8222.81	
29	da -29 a -30 m	1	19.98	0.48	681.97	229.66	7456.79	

Tabella 3.3.3.2: Parametri dinamici medi e velocità equivalente.

Il foro di sondaggio attrezzato per la prove Down Hole è risultato con profondità pari a 30 m. Il parametro velocità equivalente $V_{s,eq}$ è stato calcolato tenendo conto di tale limite, imponendo allo strato compreso tra il piano campagna ed il limite -1 m dal p.c. la medesima velocità dello strato sottostante.

Il valore calcolato di $V_{s,eq}$ è riportato di seguito:

$$V_{s,eq} = V_{s,(30)} = 404 \text{ m/s a partire da 0 m dal p.c.}$$

Vista la stratigrafia presente, i profili di velocità delle onde di taglio e i valori di $V_{s,eq}$ indica una categoria di sottosuolo "B".

4. BIBLIOGRAFIA

Aki K., 1964. A note on the use of microseisms in determining the shallow structures of the earth's crust, *Geophysics*, 29, 665–666.

Archie G.E., 1942. "The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics". *Transaction of the AIME* 146, 54-62.

Ben-Menahem A. E SINGH S.J., 1981. *Seismic Waves and Sources*, Springer-Verlag, New York.

Bindi D., Parolai S., Spallarossa D., Cattaneo M., 2000. Site effects by H/V ratio: comparison of two different procedures, *J. Earthq. Eng.*, 4, 97-113.

Castellaro S., Mulargia F. E Bianconi L., 2005. Stratigrafia sismica passiva: una nuova tecnica accurata, rapida ed economica, *Geologia Tecnica e Ambientale*, vol. 3.

Castellaro, S., and Mulargia, F., 2007. Constrained H/V only estimates of Vs30, *Bull. Seism. Soc. Am.*, submitted.

Castellaro, S., and Mulargia, F., Estimates of Vs30 Based on Constrained H/V Ratio Measurements Alone, in: *Increasing Seismic Safety by Combining Engineering Technologies and Seismological Data*, DORDRECHT, Springer, 2009, pp. 85 – 97

Castellaro, S., and Mulargia, F, The Effect of Velocity Inversions on H/V, «PURE AND APPLIED GEOPHYSICS», 2009, 166, pp. 567 – 592

Castellaro, S., and Mulargia, F., VS30 Estimates Using Constrained H/V Measurements, «BULLETIN OF THE SEISMOLOGICAL SOCIETY OF AMERICA», 2009, 99, pp. 761 – 773

Cavinato, G. P., Di Luzio, E., Moscatelli, M., Vallone, R., Averardi, M., Valente, A., and 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.

Coffeen, J.A., 1978. "Seismic exploration fundamentals". *Pubb. Co.*;

Dahlin, T., Bjelm, L., and Svensson, C. [1999] Use of electrical imaging in site investigations for a railway tunnel through the Hallandsås Horst, Sweden. *Quarterly Journal of Engineering Geology* 32, 163-172.

D. Albarello, S. Castellaro, Tecniche sismiche passive: indagini a stazione singola, «*Ingegneria Sismica*», 2012, 2, pp. 32 – 61

Diebold J.B. and Stoffa P.L. 1981. The travelttime equation, tau-p mapping, and inversion of common midpoint data. *Geophysics*, volume 46, p. 238-254.

Dey A. and Morrison H.F., 1979, Resistivity modeling for arbitrarily shaped two-dimensional structures, *Geophysical Prospecting*, 27(1), 106-136.

Dobrin, M.B., 1976. "Introduction to Geophysical prospecting". McGraw-Hill Book Co.;
 European Commission (2005), User guideline for the implementation of the H/V



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO
PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	34 di 76

spectral ratio technique on ambient vibration: Measurement, processing and interpretation, Res. Gen. Dir. Proj. EVG1-CT-2000- 00026 SESAME, Rep. D23.12, 62 pp., Brussels. (Available at <http://SESAME-fp5.obs.ujf-grenoble.fr>)

Fa`H, D., et al. (2001), A theoretical investigation of average H/V ratios, Geophys. J. Int., 145, 535–549.

Fa`H, D., et al. (2003), Inversion of local S-wave velocity structures from average H/V ratios, and their use for the estimation of site-effects, J. Seismol., 7, 449–467.

Foti S., 2000, Multi-Station Methods for Geotechnical Characterisation Using Surface Waves, PhD Diss., Politecnico di Torino, 229 pp.;

Ganerød, G. V., Rønning, J. S., Dalsegg, E., Elvebakk, H., Holmøy, K., Nilsen, B., and Braathen, A. [2006] Comparison of geophysical methods for sub-surface mapping of faults and fracture zones in a section of the Viggja road tunnel, Norway. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 65, 231-243.

Gebrande H and Miller H., 1985. Refraktionsseismik (in German). In: F. Bender (Editor), Angewandte Geowissenschaften II. Ferdinand Enke, Stuttgart; pp. 226-260. ISBN 3-432-91021-5.

Hagedoorn J.G. 1959. The Plus-Minus Method of Interpreting Seismic Refraction Sections. Geophysical Prospecting, volume 7, p. 158-182.

Herrmann R.B. and Ammon C. J., 2002. “ Computer Programs in Seismology” ver. 3.20.

Kanai, K., Tanaka, T. (1954). Measurement of the microtremor, Bulletin of Earthquake Research Institute 32, 199–209.

Ibs-Von Seht M., and Wohlenberg J., Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 89, No. 1, pp. 250-259, February 1999.

Jansen S. 2010. Parameter investigation for subsurface tomography with refraction seismic data, Master thesis, Niels Bohr Institute, University of Copenhagen.

John m. Reynolds, (1997). “An introduction to applied and environmental geophysics”, pp. 415-488, Wiley, England.

Jones G.M. and Jovanovich D.B. 1985. A ray inversion method for refraction analysis. Geophysics, volume 50, p. 1701-1720.

Jun-Su Choi , Hee-Hwan Ryu, In-Mo Lee , Gye-Chun Cho, (2006). “Rock Mass Classification Using Electrical Resistivity – an Analytical Study”, Key Engineering Material, Vols. 321-323, pp. 1411-1414, Trans Tech Publications, Switzerland.

LaBrecque, D. J., Morelli, G., Daily, W., Ramirez, A. and Lundegard, P. - 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, 1999 .

Lecomte, I.; Gjoystdal, H.; Dahle, A.; Pedersen, O.C., 2000, Improving modeling and inversion in refraction seismics with a first-order Eikonal solver, Geophysical Prospecting, Vol. 48, 437-454.



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO
PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	35 di 76

Lermo J., Chavez-Garcia F.J. (1993). Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, Bulletin of Seismological Society of America, 83, 1574–1594.

Lobkis, O. I. and L. Weaver, R. L., 2001 “On the emergence of the Green’s function in the correlations of a diffuse field”. The Journal of the Acoustical Society of America, 110: 3011-3017.

Loke, M.H., A practical guide to 2D & 3D electrical imaging surveys (10th Aug. 2000).

MacPhail M.R. 1967. The midpoint method of interpreting a refraction survey. In: Musgrave A.W. (Editor), Seismic.

Milton B. Dobrin, Carl H. Savit, 1988, Introduction to Geophysical Prospecting, fourth Edition, McGraw-Hill International Editions e R.E. Goodman, 1989, Introduction to Rock Mechanics, second Edition, John Wiley & Sons.

Morelli, G., Morelli, A., Chiara, P., Pacchini, A., Fischanger, F., 2004. “Characterization of Complex Archaeological Sites Using 3D Electrical Resistivity Tomography”. Proceedings of the SAGEEP 2004, 185-192.

McMechan G.A., Yedlin M.J., 1981, Analysis of dispersive wave by wave field transformation, Geophysics, 46, 869-874;

Morelli G. and LaBrecque D.J., 1996, Advances in ERT modeling, Eur. J. Environ. Eng. Geophys., 1, 171-186.

Mulargia F., Castellaro S., Passive Imaging in Nondiffuse Acoustic Wavefields, «PHYSICAL REVIEW LETTERS», 2008, 100, pp. 218501-1 - 218501-4

Nakamura, Y. (1989), A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Quat. Rep. Railway Tech. Res. Inst., 30 (1), 25–30.

Nazarian S., Stokoe K.H., 1986, Use of surface waves in pavement evaluation, Transp. Res. Rec, 1070, 132-144;

Palmer, D., 2010, Non-uniqueness with refraction inversion – a syncline model study, Geophysical Prospecting, Vol. 58, 203-218.

Park C.B., Miller R.D., Xia J., 2001, Offset and resolution of dispersion curve in multichannel analysis of surface waves (MASW), proc. SAGEEP 2001;

Park S.K. and 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., and LaBrecque D.J., 1999, Electrical impedance tomography of known targets, J. of Environmental and Engineering Geophysics, 4(1), 11-26, 1999.

Sasaki Y., 1994, 3-D resistivity inversion using the finite-element method, Geophysics, 59(11), 1839-1848.

Schuster G T, Aksel Q B. 1993. Wave-path Eikonal travel-time inversion: Theory. Geophysics, 58(9): 1314–1323.

Stokoe K.H., Wright S.G., Bay J., Roesset J.M., 1994, characterization of



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	36 di 76

geotechnical sites by SASW method, in Geophysical characterization of sites, (ISSMFE TC#10) by R.D. Woods (ed), Oxford & IBH Publ., pp. 15-25;

Xia J., Miller R.D., Park C.B., 1999, Estimation of near-surface shear-wave velocity by inversion of Rayleigh waves, Geophysics, 64, 691-700.

Yamanaka, H., Dravinski, M., Kagami, H. (1993). Continuous measurements of microtremors on sediments and basement in Los Angeles, California. Bulletin of the Seismological Society of America, 83,1595–1609.

Watanabe, T.; Matsuoka, T.; Ashida, Y., 1999, Seismic travelttime tomography using Fresnel volume approach, SEG Houston 1999, Expanded Abstracts. <http://dx.doi.org/10.1190/1.1820777>.



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

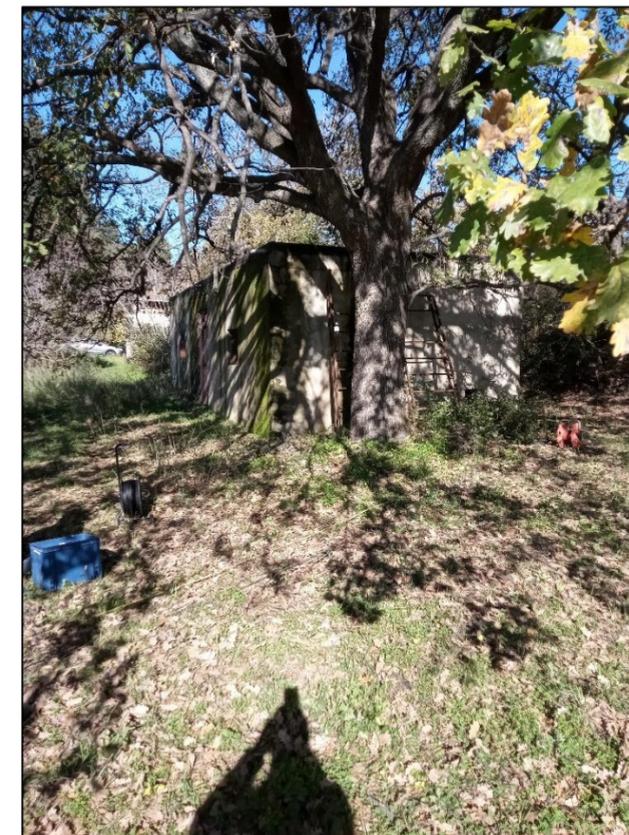
RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	37 di 76

5. ALLEGATO N.1 – Risultati tomografie elettriche e sismiche a rifrazione

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 2/L1 ED ERT 2bis/L1

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati ERT 2 – Lato monte



Fase di acquisizione dati ERT 2/L1bis

TAVOLA

1

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 2/L1

TAVOLA

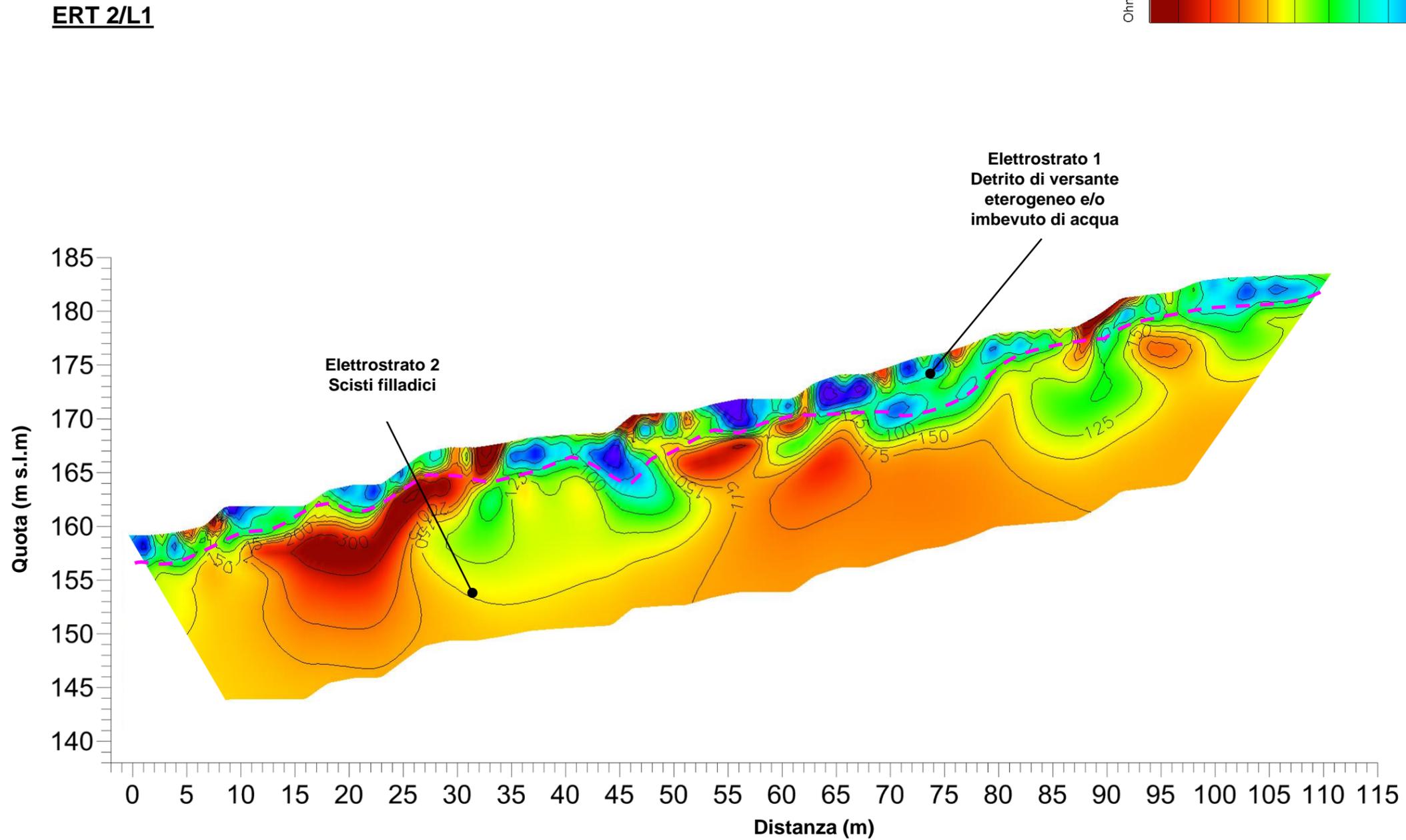
2

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

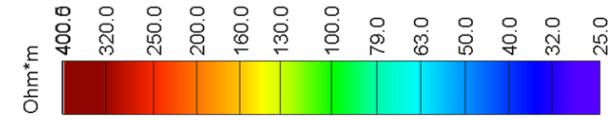
APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 2bis/L1

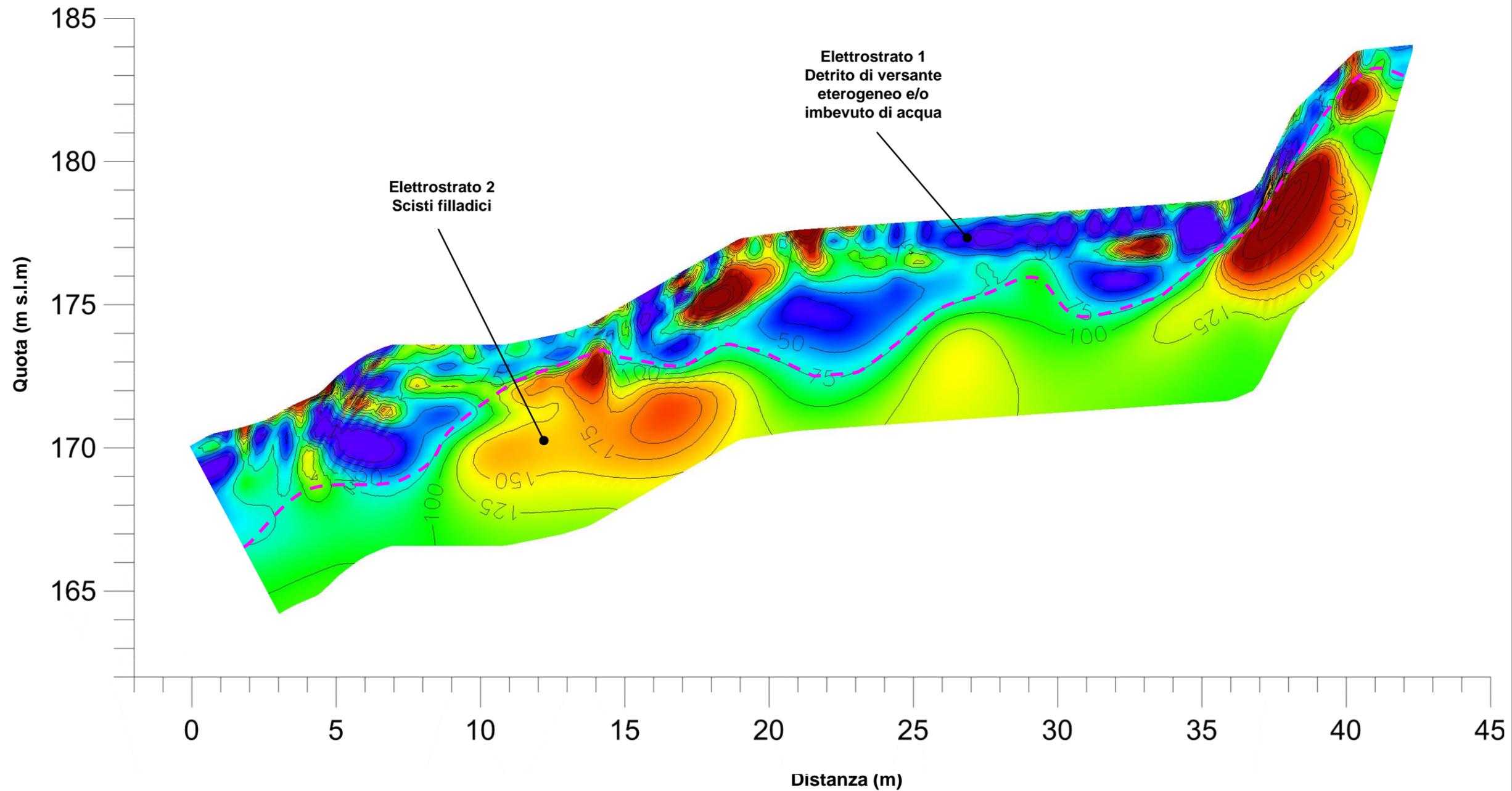
TAVOLA

3

Scala di resistività



ERT 2bis/L1



OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



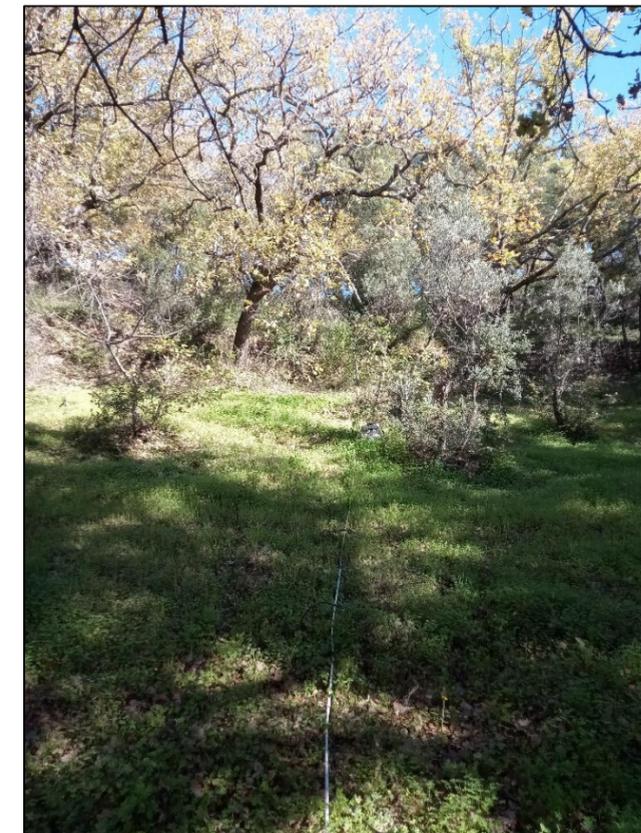
**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

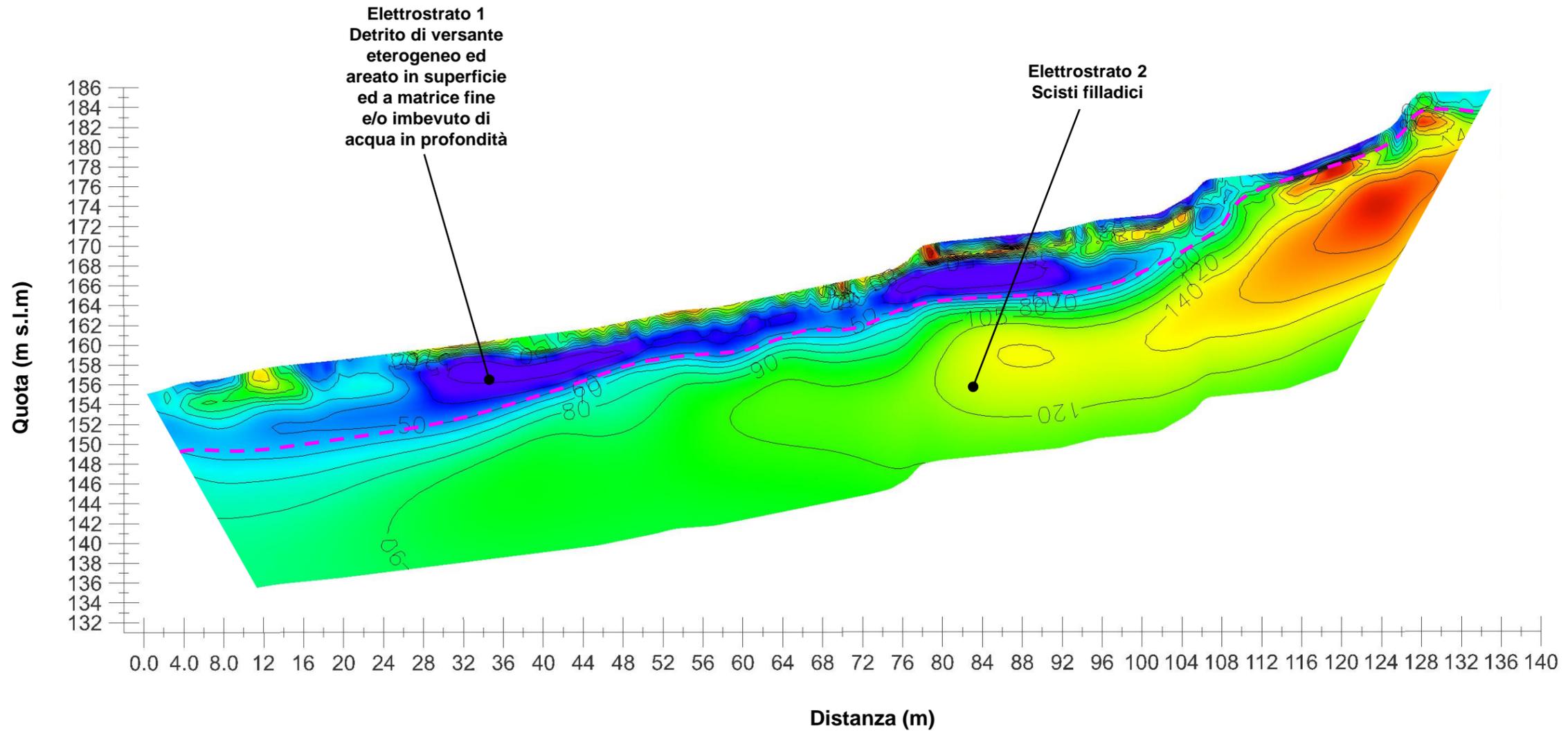
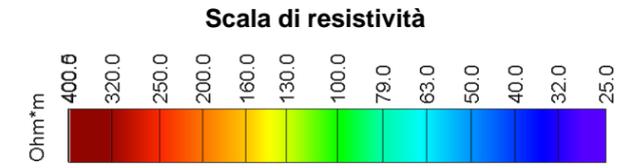
APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 3/L1

TAVOLA

5

ERT 3/L1



OGGETTO:
Indagine geofisica ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 3/L2

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati – Lato monte



Fase di acquisizione dati – Lato valle

TAVOLA

6

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 3/L2

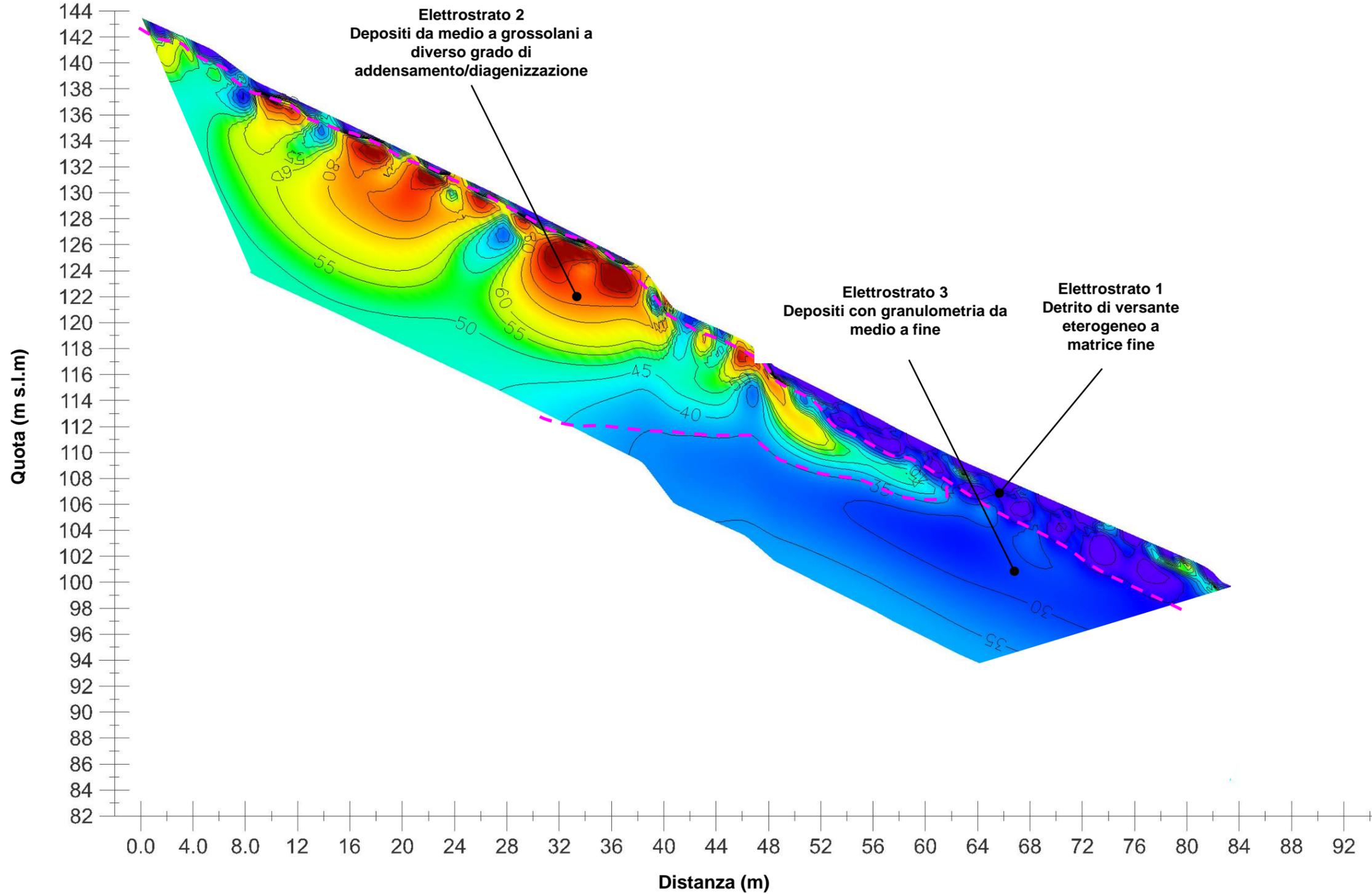
TAVOLA

7

Scala di resistività



ERT 3/L2



OGGETTO:
Indagine geofisica ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 7/L2

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati – ELETTRODI E1/E24



Fase di acquisizione dati – ELETTRODI E25/E48

TAVOLA

8

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 7/L2

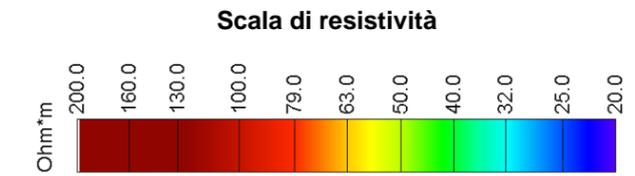


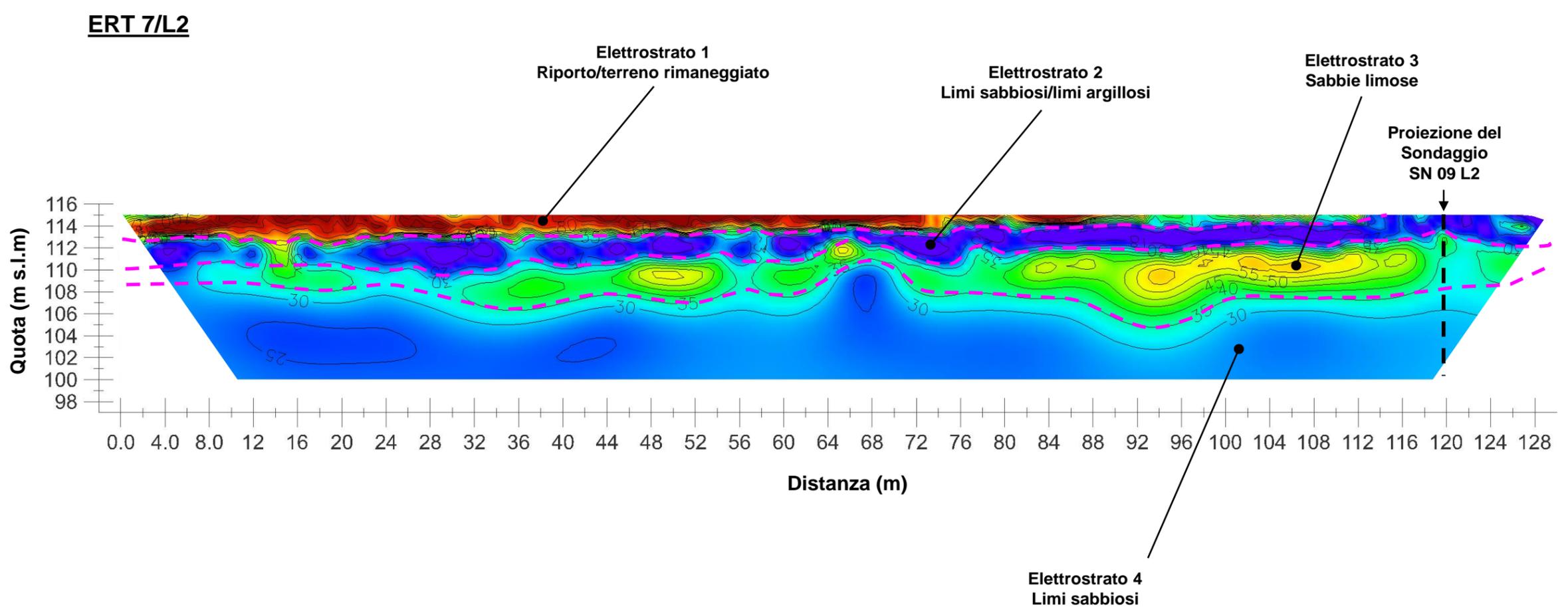
TAVOLA
9

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB	MG. Idili
VERIFICA	A. Morelli
APPROV.	P. Chiara

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati – ERT 10/L2



Fase di acquisizione dati – ERT 11/L2

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



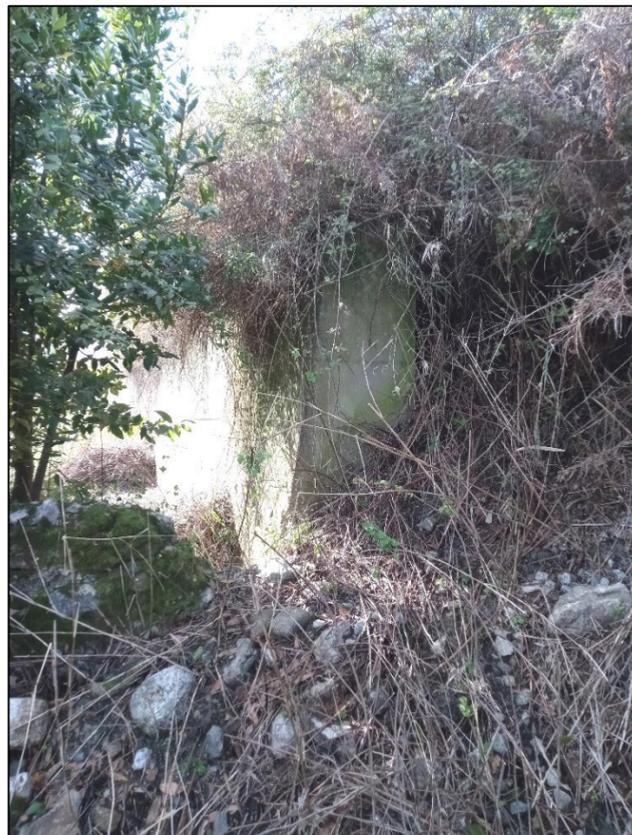
**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINI TOMOGRAFICHE ELETTRICHE ERT 10/L2 ED ERT 11/L2



Inizio muro di contenimento sul lato valle della ferrovia (Foto 1).



Sviluppo del muro di contenimento ubicato a valle del tracciato ferroviario (Foto 2). Il manufatto è privo di correttivi idraulici



Tratto terminale del muro di contenimento (Foto 3).



Particolare del tratto terminale del muro di contenimento con evidente dissesto (Foto 4).



OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

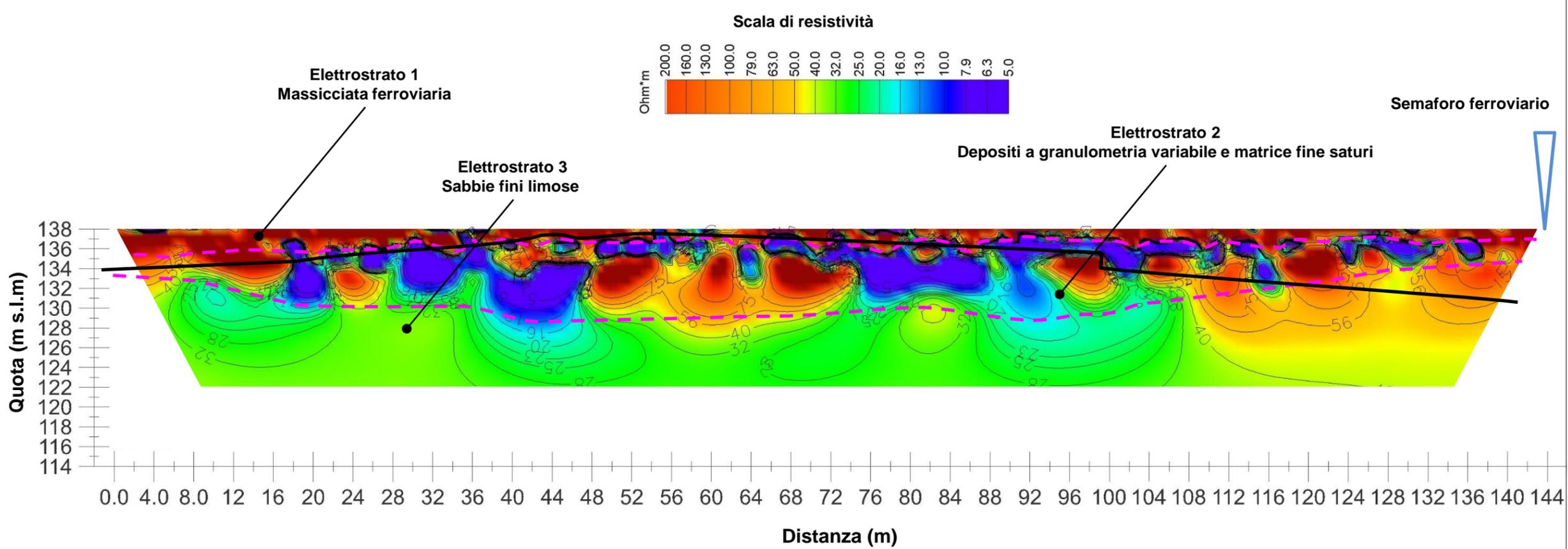
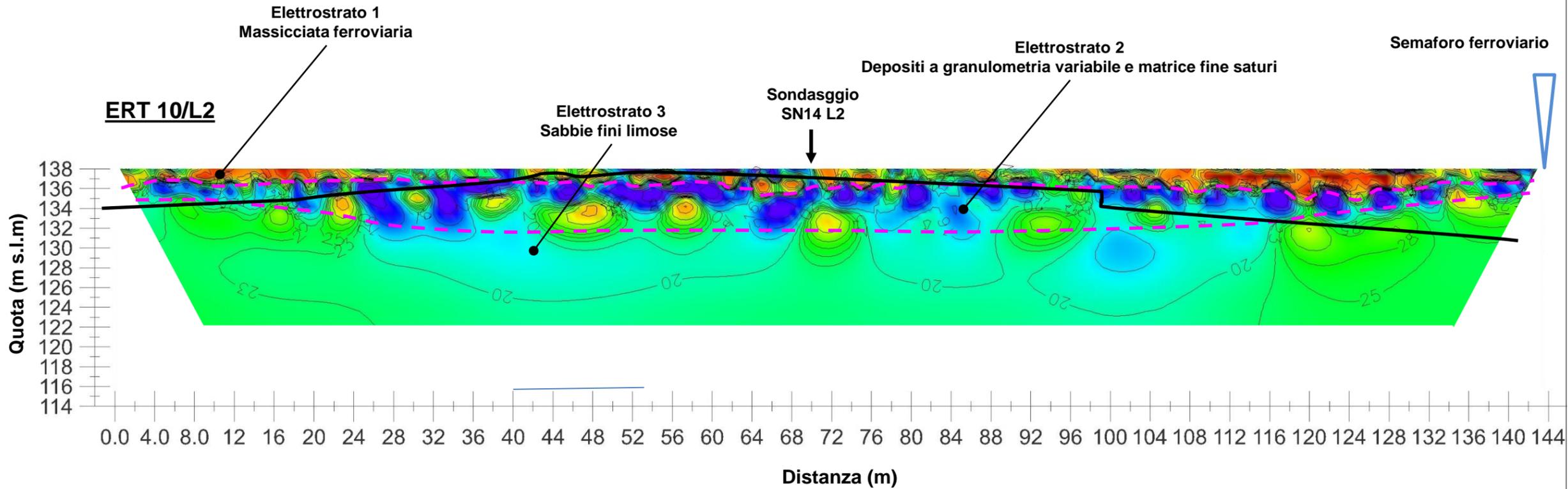
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINI TOMOGRAFICHE ELETTRICHE ERT 10/L2 ED ERT 11/L2

TAVOLA

12



OGGETTO:
Indagine geofisica ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato

Ricostruzione
profilo
morfologico
lato monte
della ferrovia



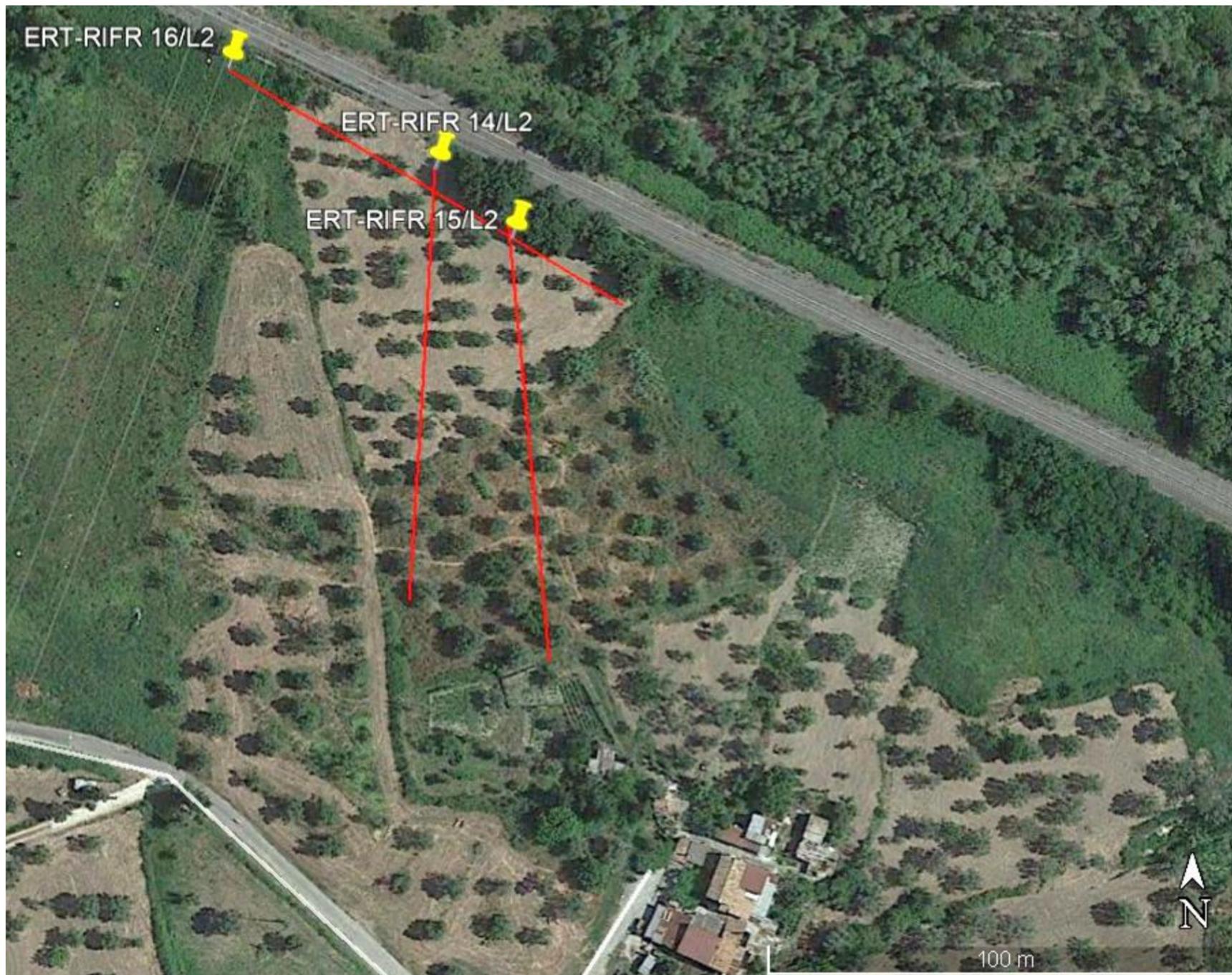
Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl

ELAB MG. Idili

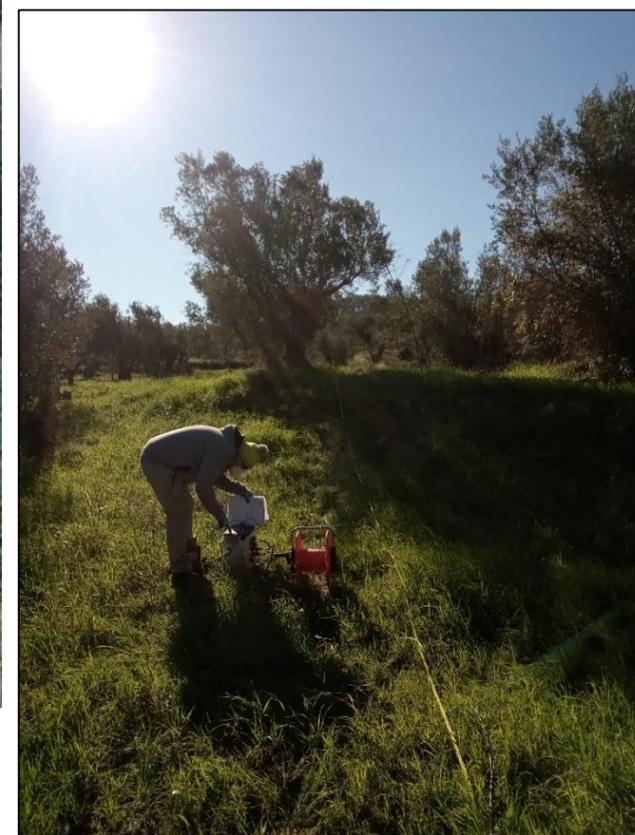
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati sismici



Fase di acquisizione dati elettrici

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT - RIFR

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

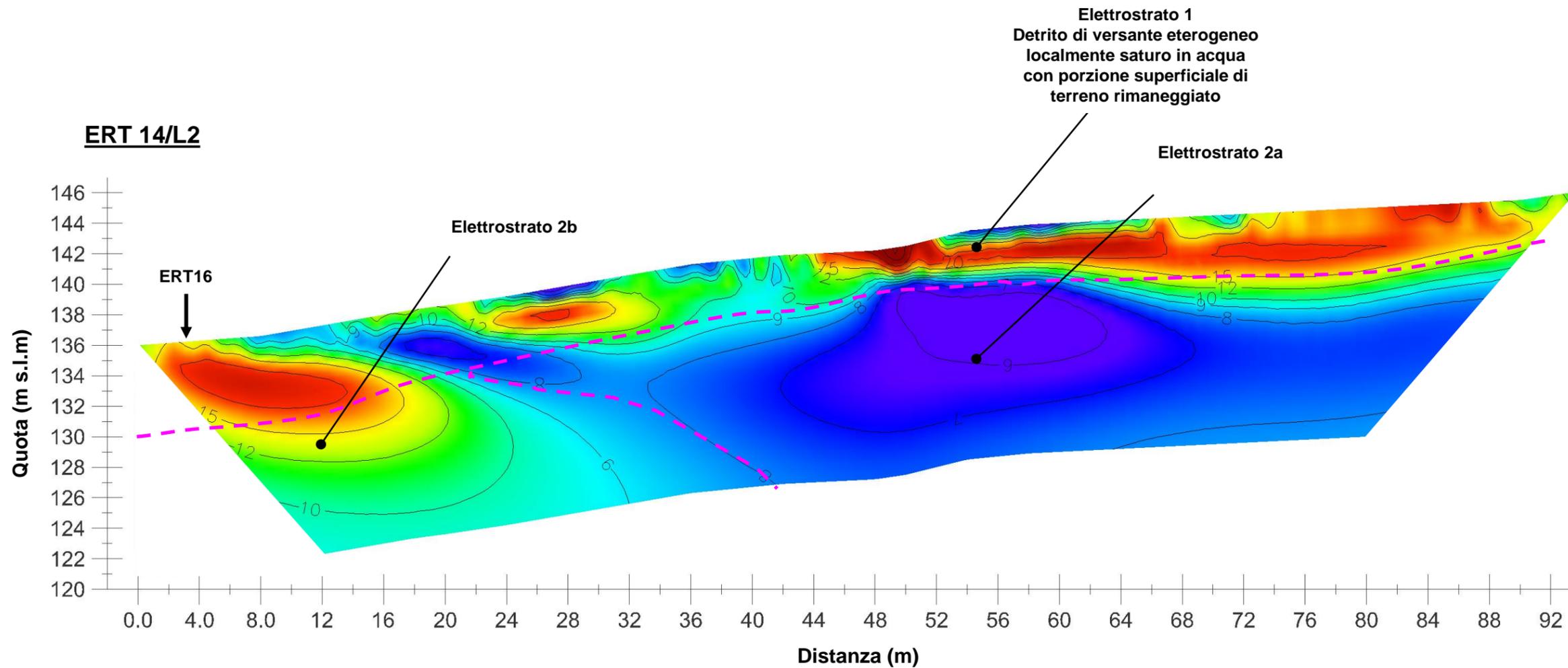
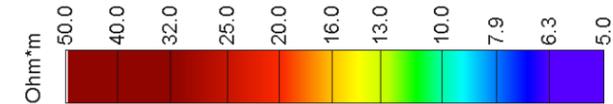
APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 14/L2

TAVOLA

14

Scala di resistività



OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato

LEGENDA

ELETTROSTRATO 1: detrito di versante eterogeneo localmente saturo in acqua con porzione superficiale di terreno rimaneggiato

ELETTROSTRATO 2a: terreni argillosi volgenti in profondità a marne argillose

ELETTROSTRATO 2b: gessi



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

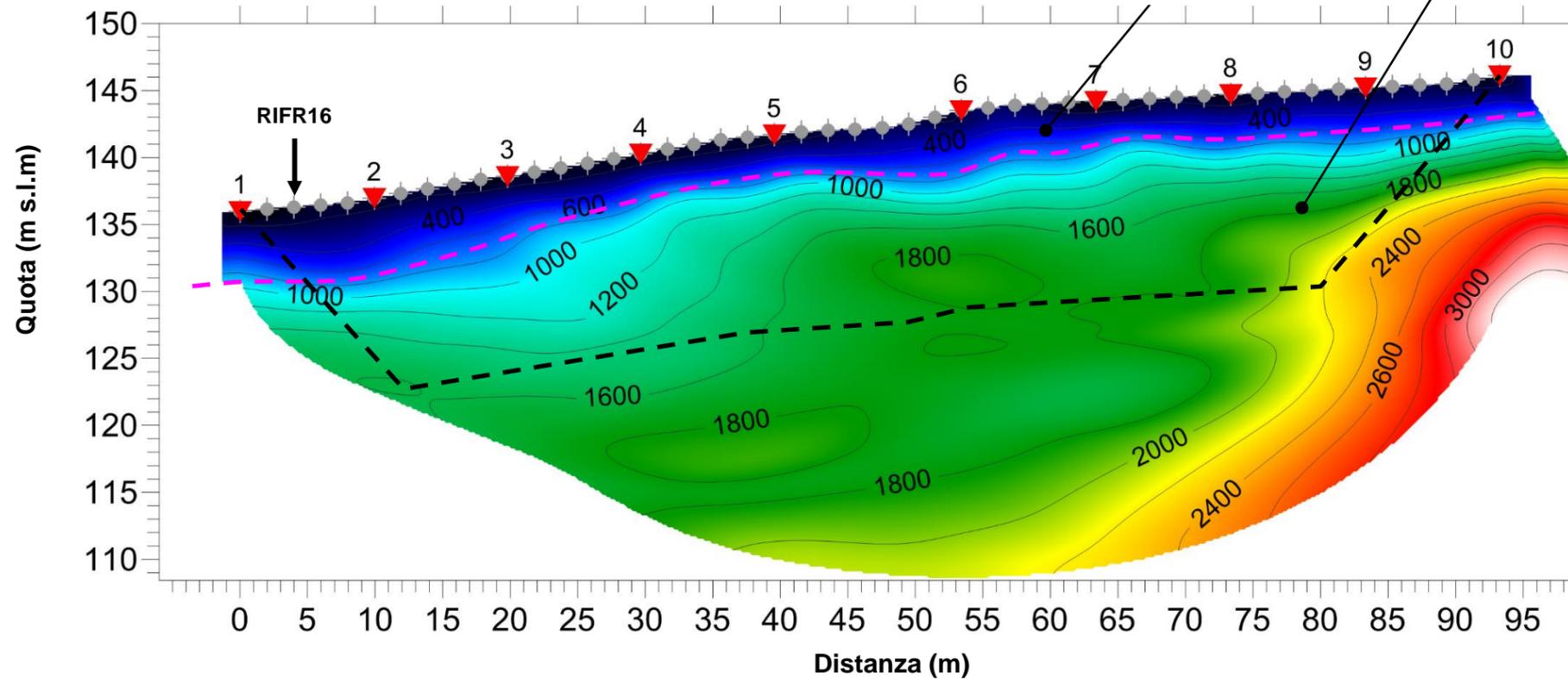
ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

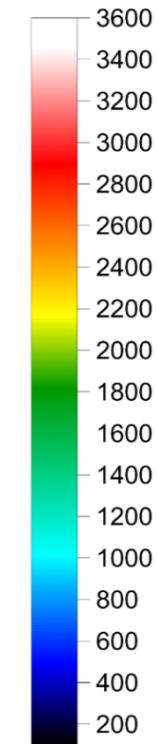
APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA SISMICA RIFR 14/L2

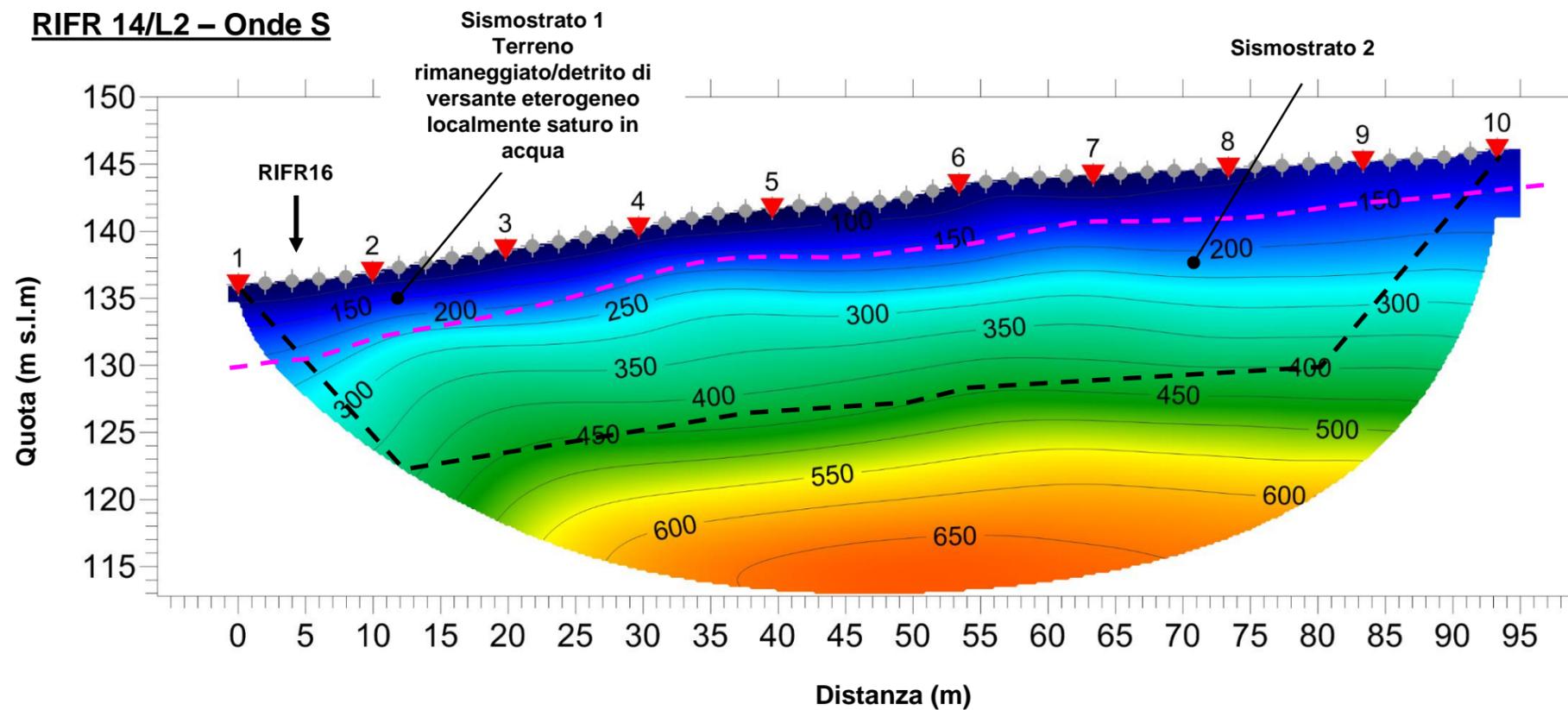
RIFR 14/L2 – Onde P



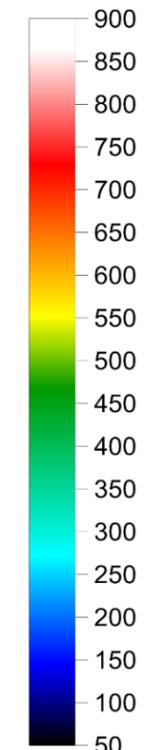
Scala di velocità
Onde P (m/s)



RIFR 14/L2 – Onde S



Scala di velocità
Onde S (m/s)



TAVOLA

15

OGGETTO:
Indagine geofisica
RIFR

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato

Traccia
sezione
elettrica



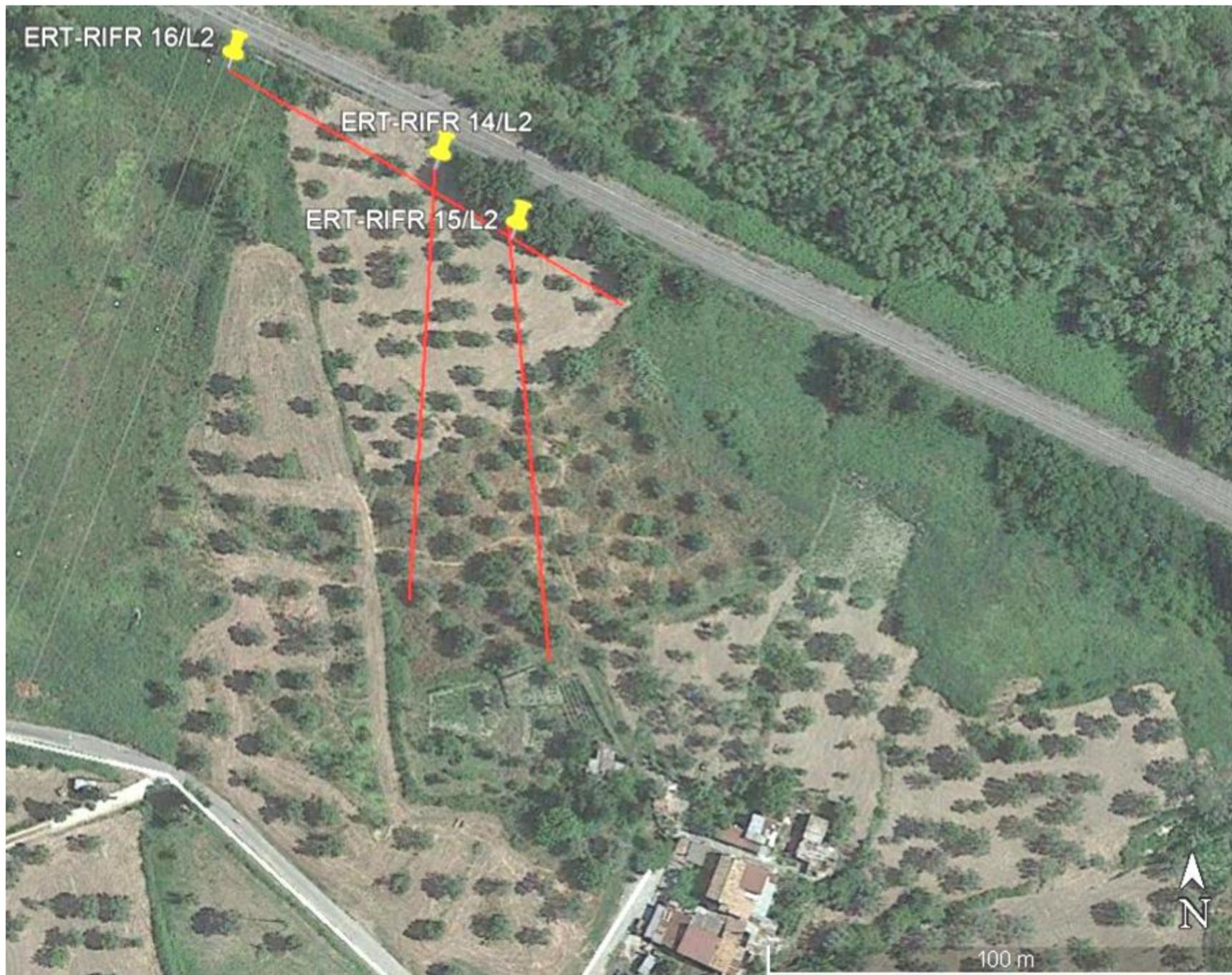
Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl

ELAB E. Benvenuti
G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati sismici



Fase di acquisizione dati elettrici

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT - RIFR

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

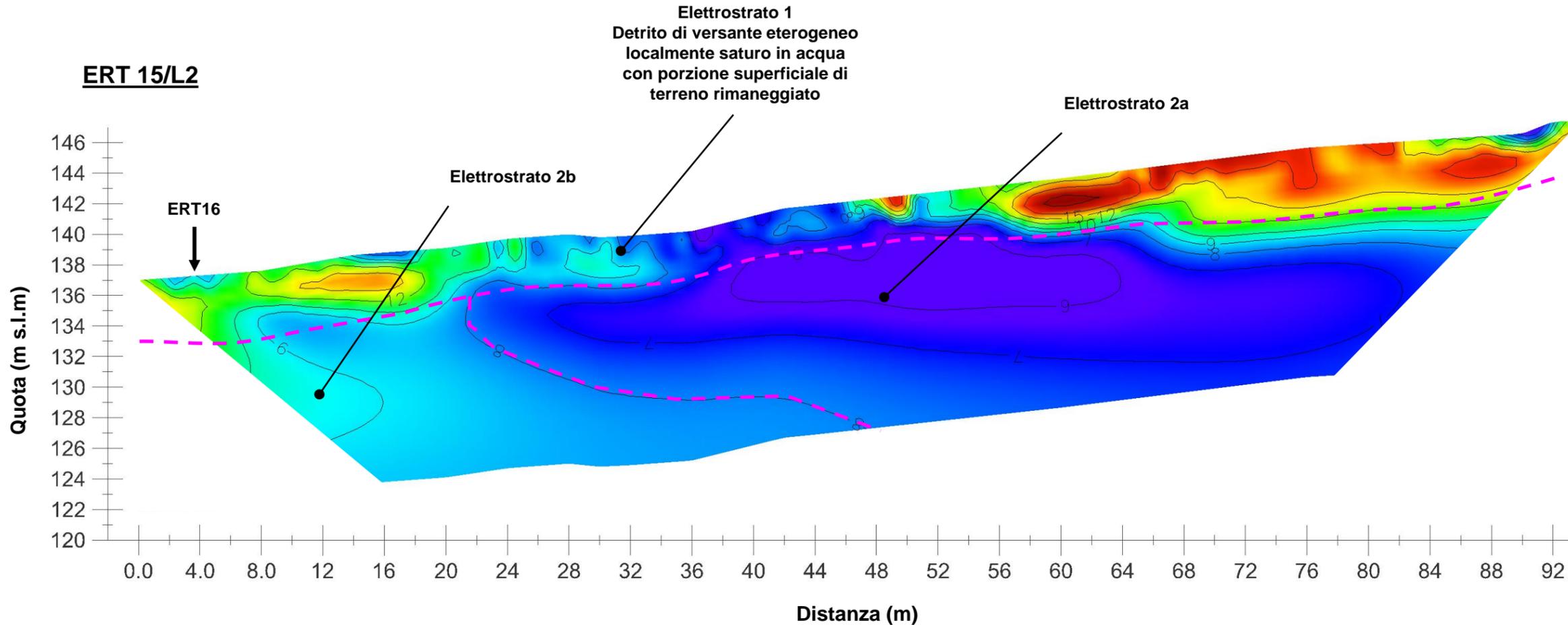
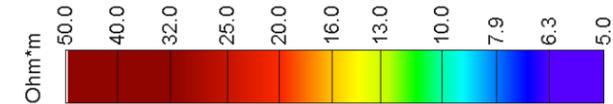
APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 15/L2

TAVOLA

17

Scala di resistività



OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



LEGENDA

ELETTROSTRATO 1: detrito di versante eterogeneo localmente saturo in acqua con porzione superficiale di terreno rimaneggiato

ELETTROSTRATO 2a: terreni argillosi volgenti in profondità a marne argillose

ELETTROSTRATO 2b: gessi

**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

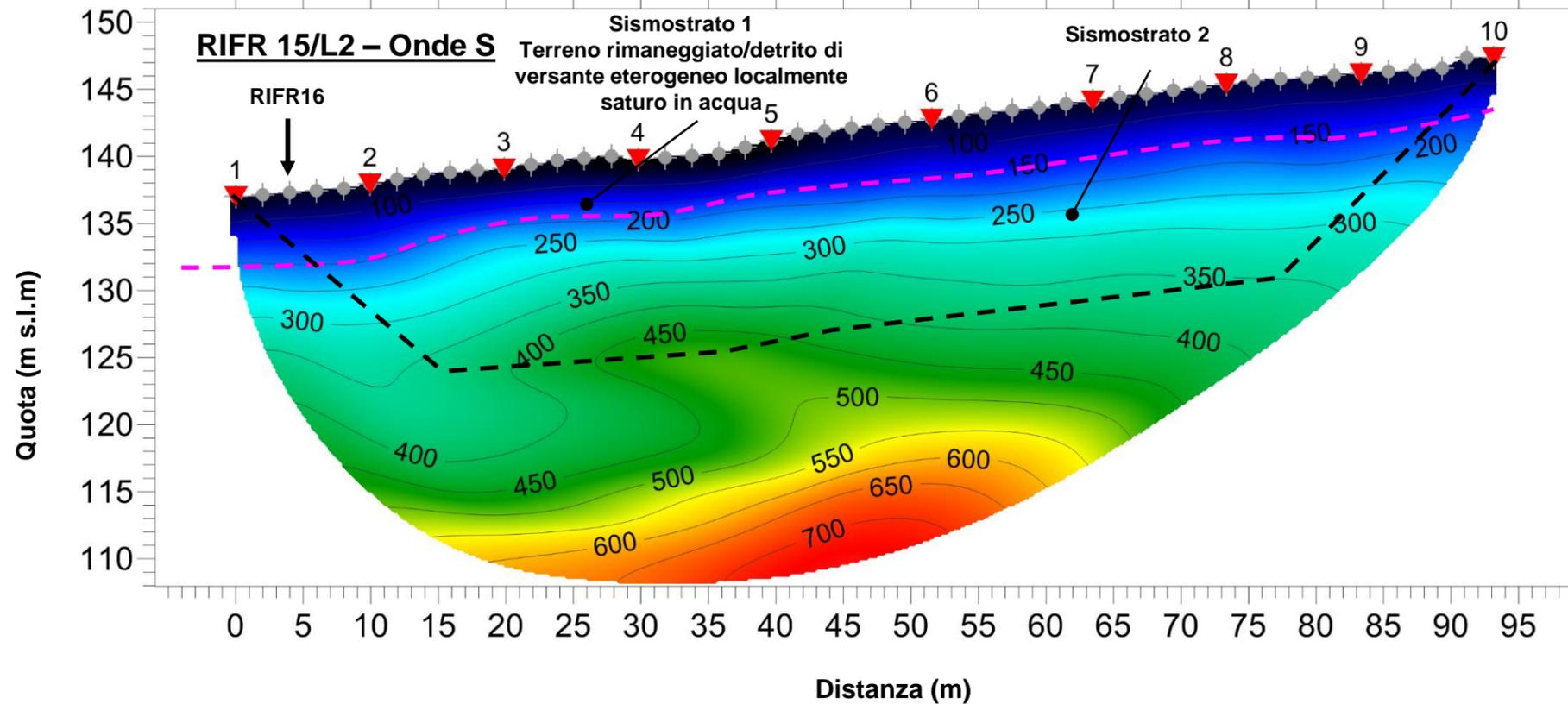
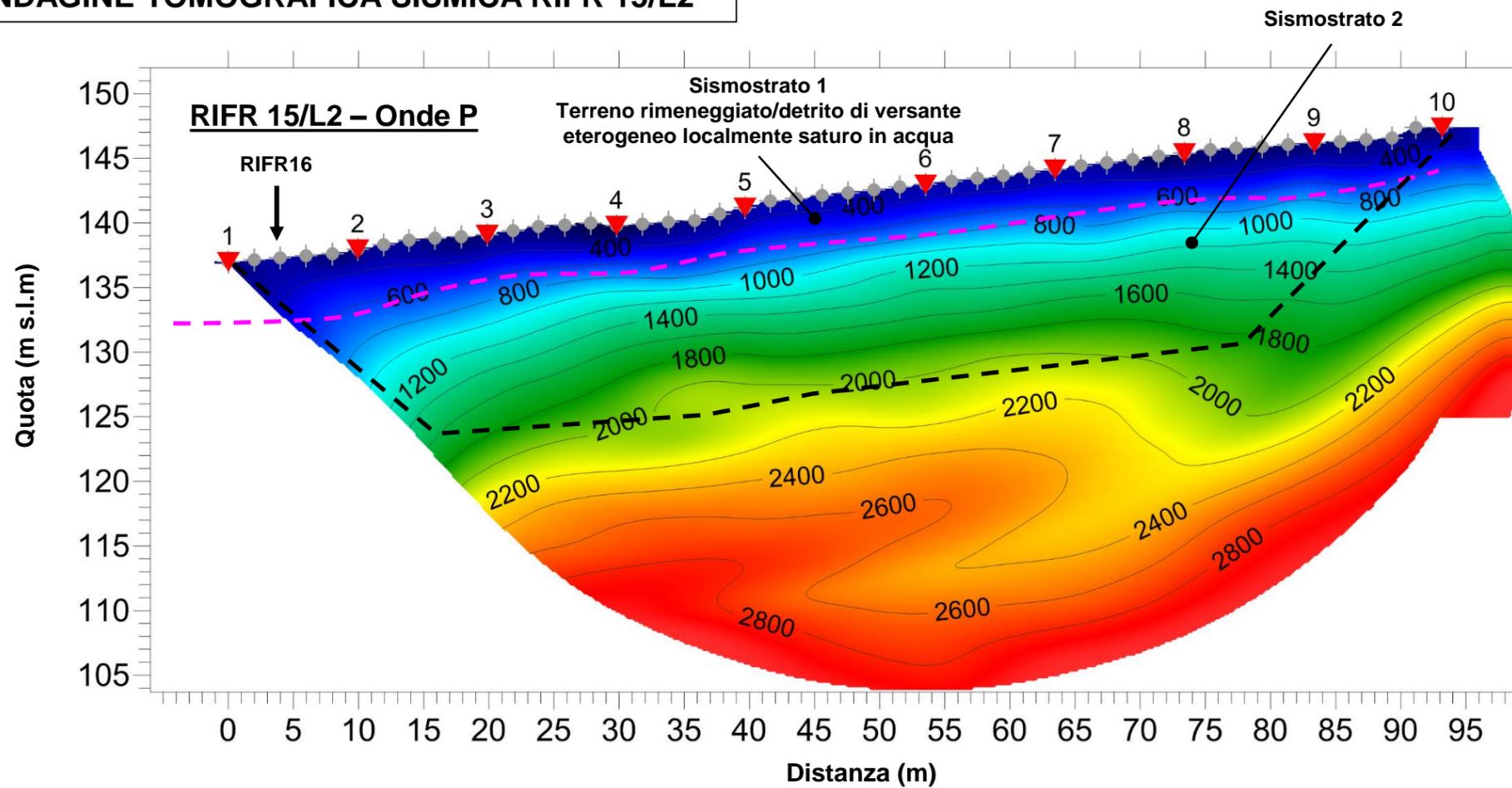
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA SISMICA RIFR 15/L2

TAVOLA

18



OGGETTO:
Indagine geofisica RIFR

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato

Traccia
sezione
elettrica



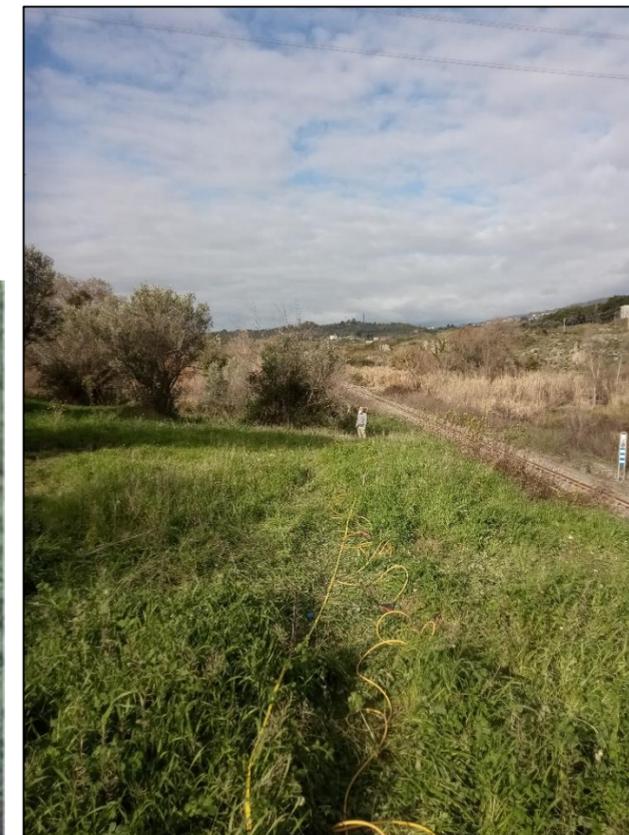
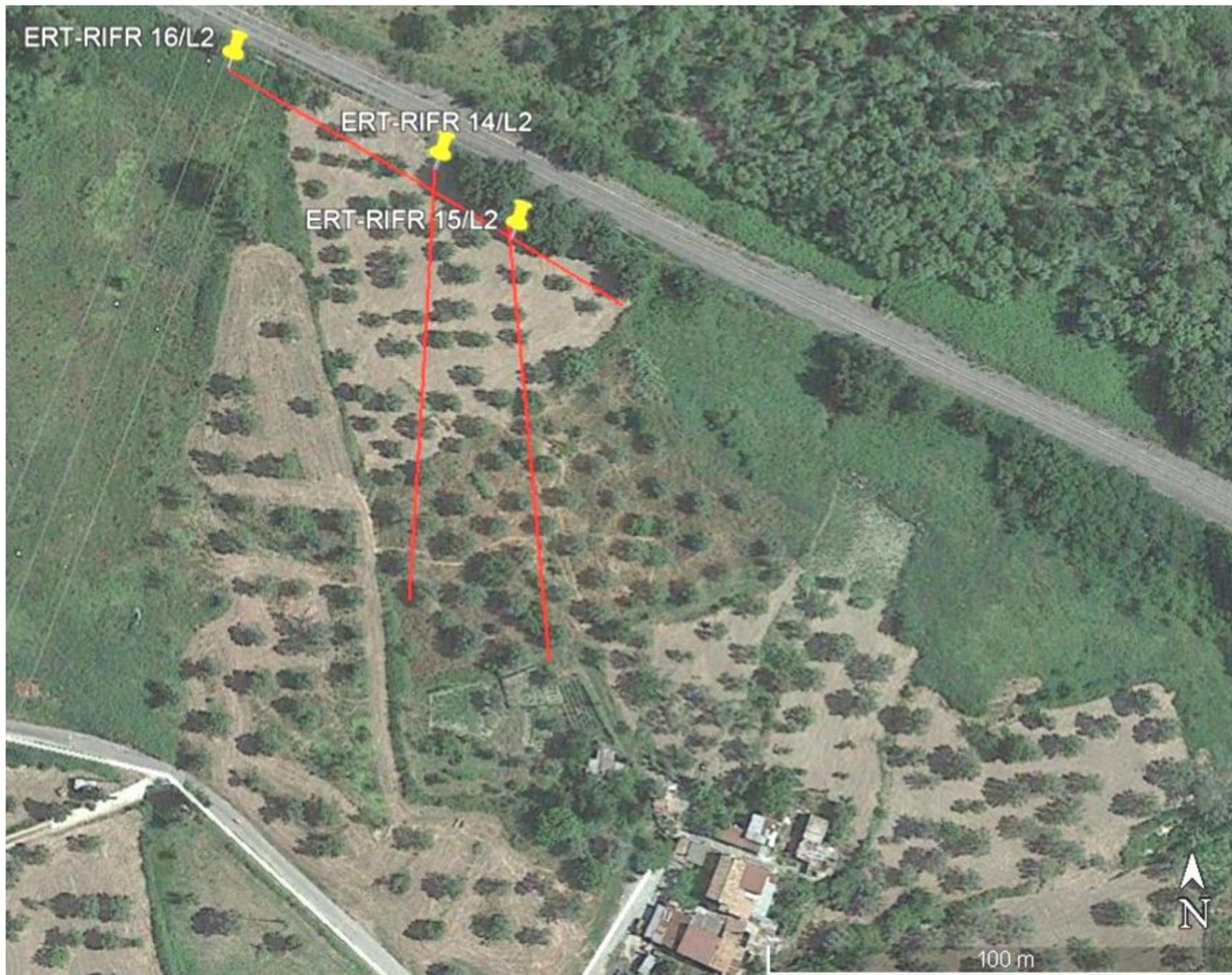
Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl

ELAB E. Benvenuti
G. Luciani

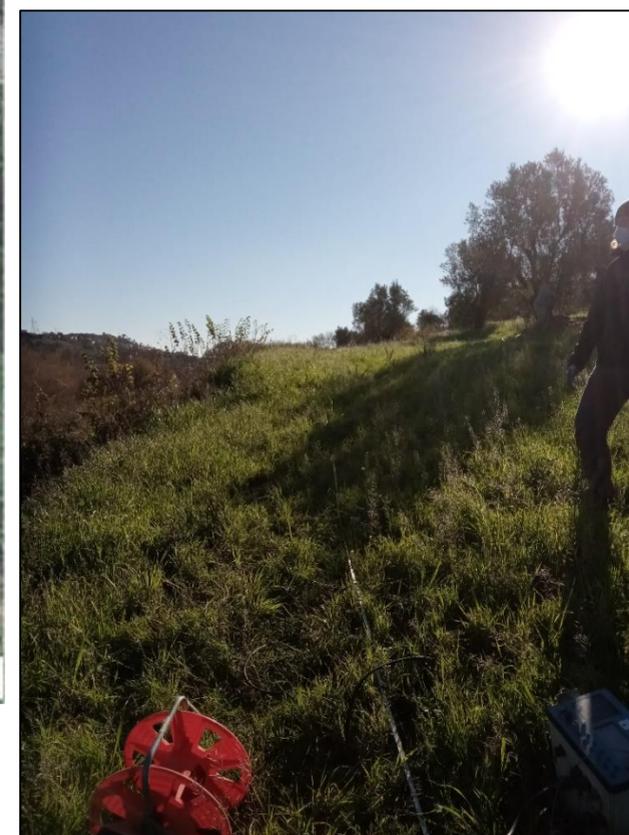
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati sismici



Fase di acquisizione dati elettrici

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT - RIFR

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

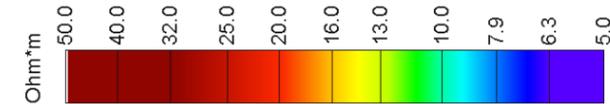
APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 16/L2

TAVOLA

20

Scala di resistività

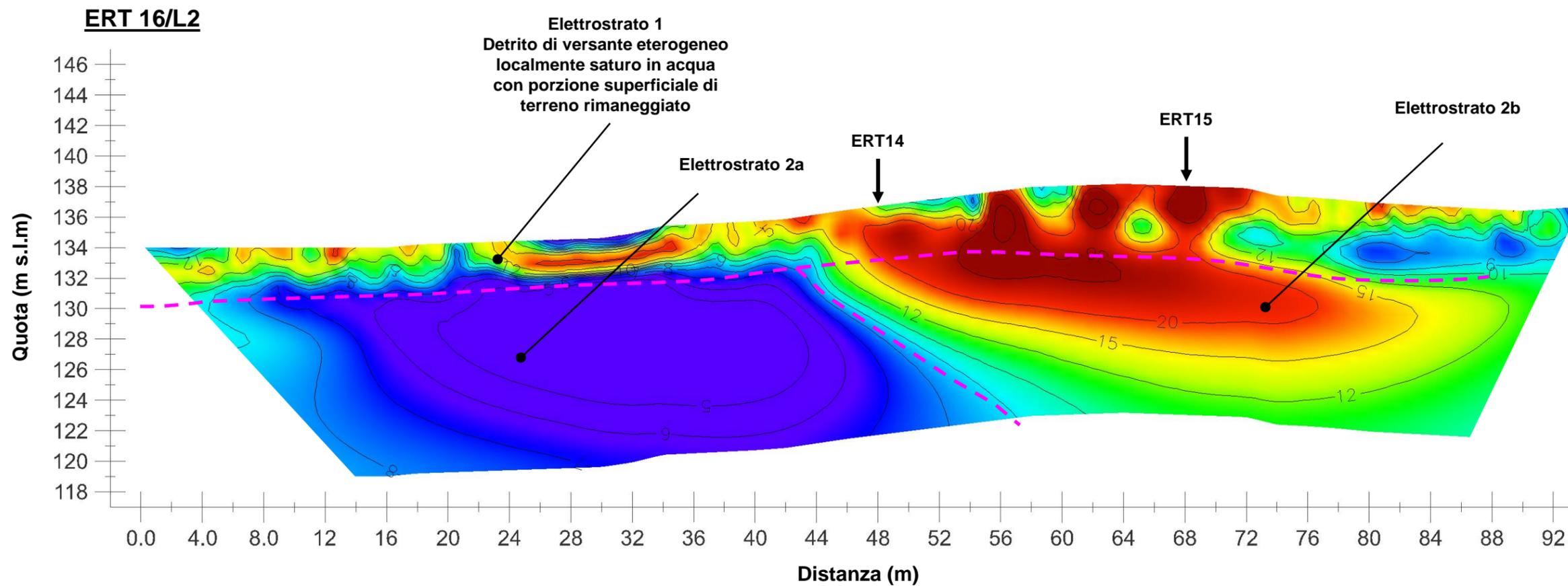


OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



LEGENDA

ELETTROSTRATO 1: detrito di versante eterogeneo localmente saturo in acqua con porzione superficiale di terreno rimaneggiato

ELETTROSTRATO 2a: terreni argillosi volgenti in profondità a marne argillose

ELETTROSTRATO 2b: gessi



Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

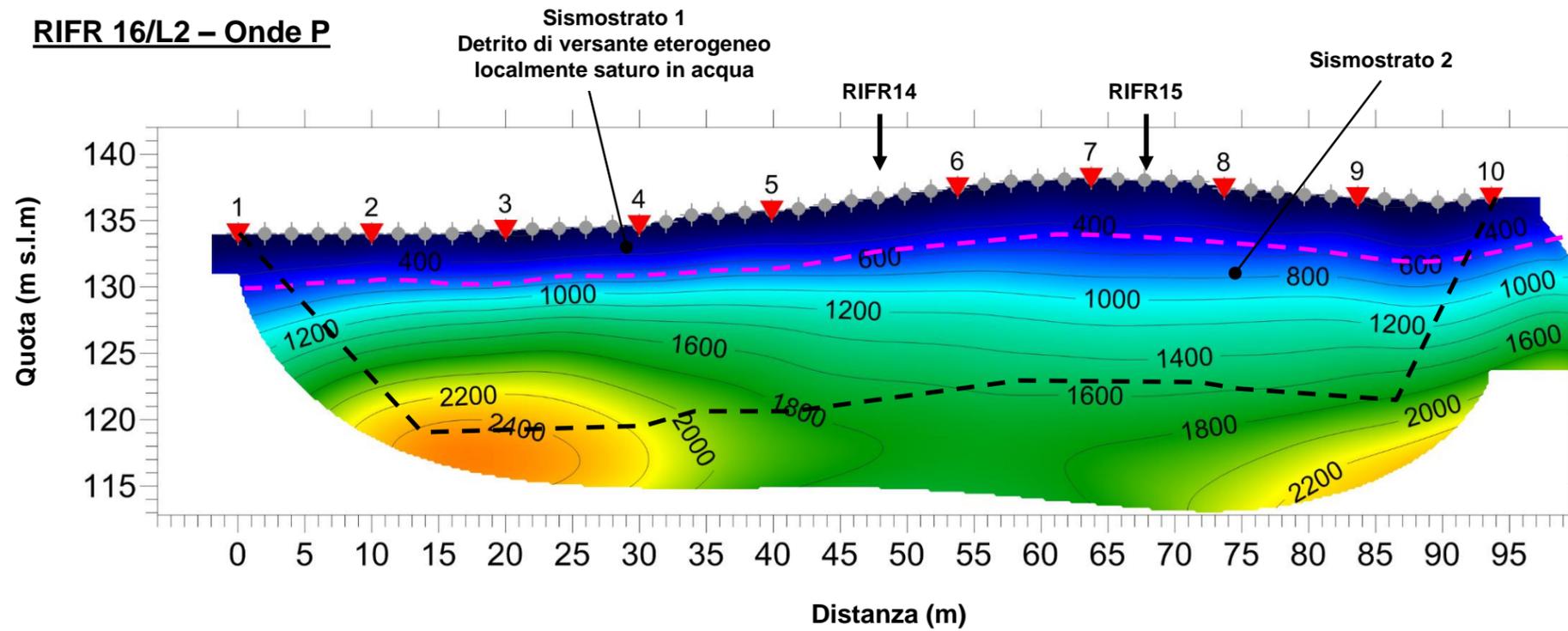
APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA SISMICA RIFR 16/L2

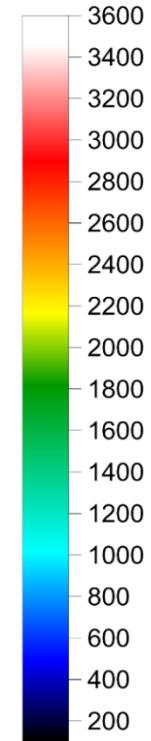
TAVOLA

21

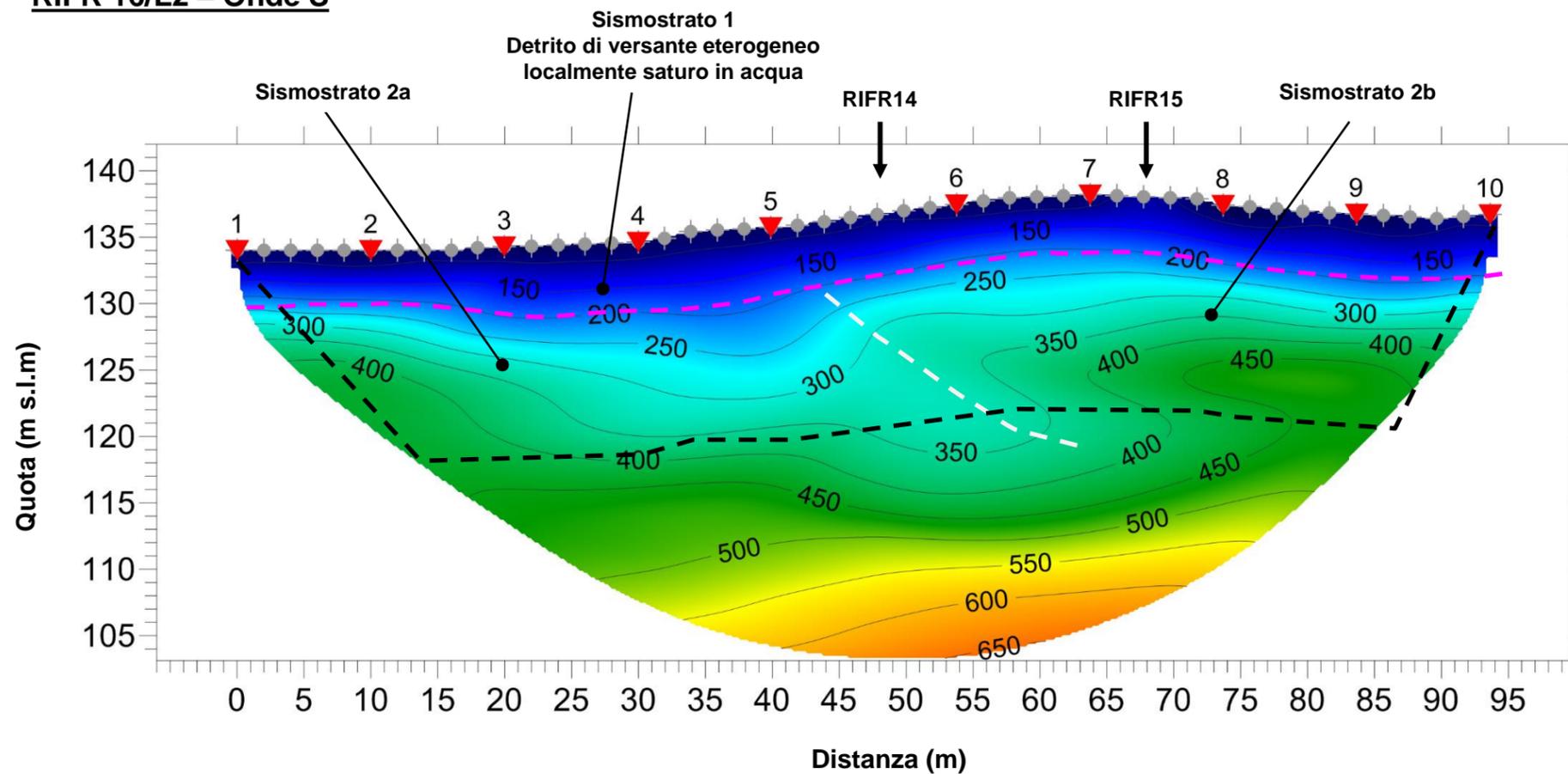
RIFR 16/L2 – Onde P



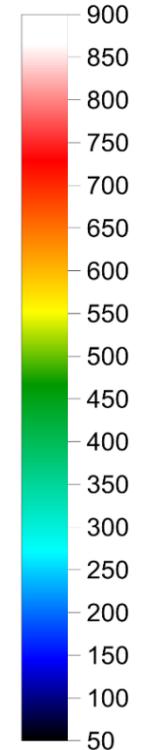
Scala di velocità
Onde P (m/s)



RIFR 16/L2 – Onde S



Scala di velocità
Onde S (m/s)



OGGETTO:
Indagine geofisica RIFR

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato

Traccia
sezione
elettrica



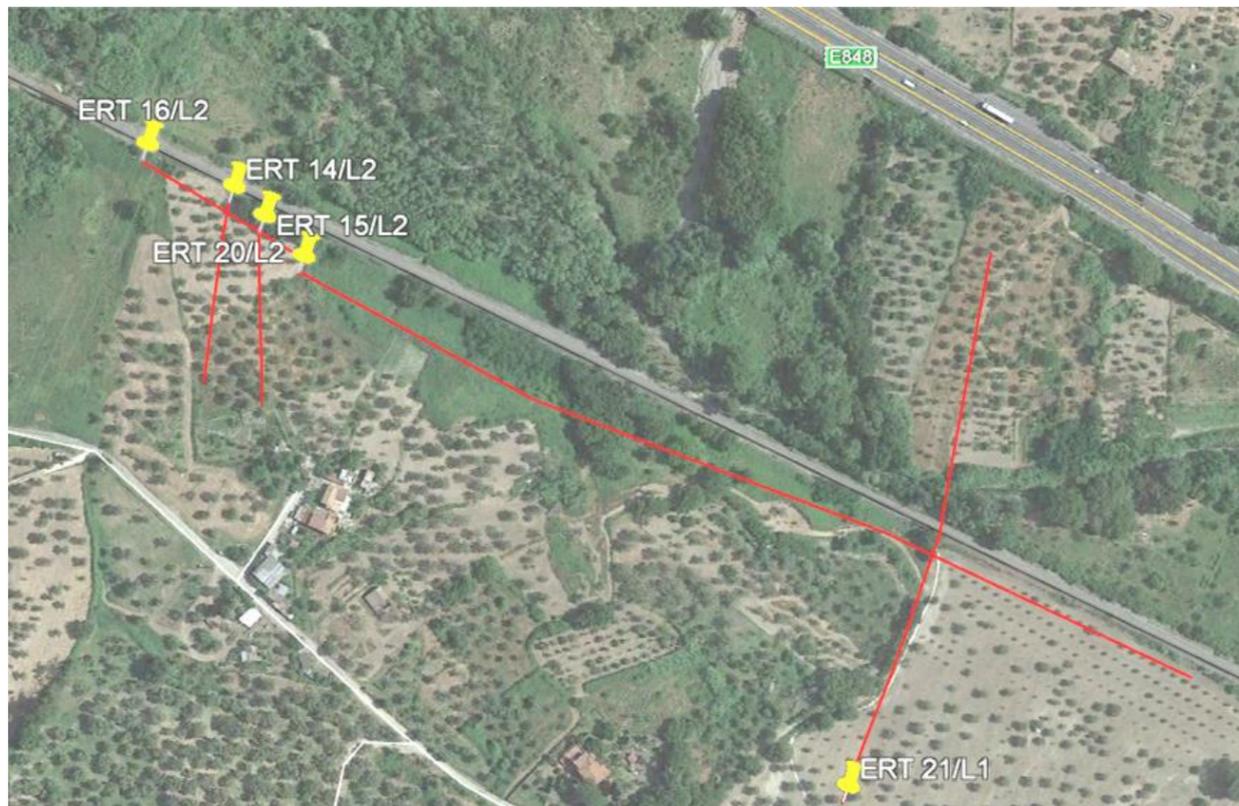
Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl

ELAB E. Benvenuti
G. Luciani

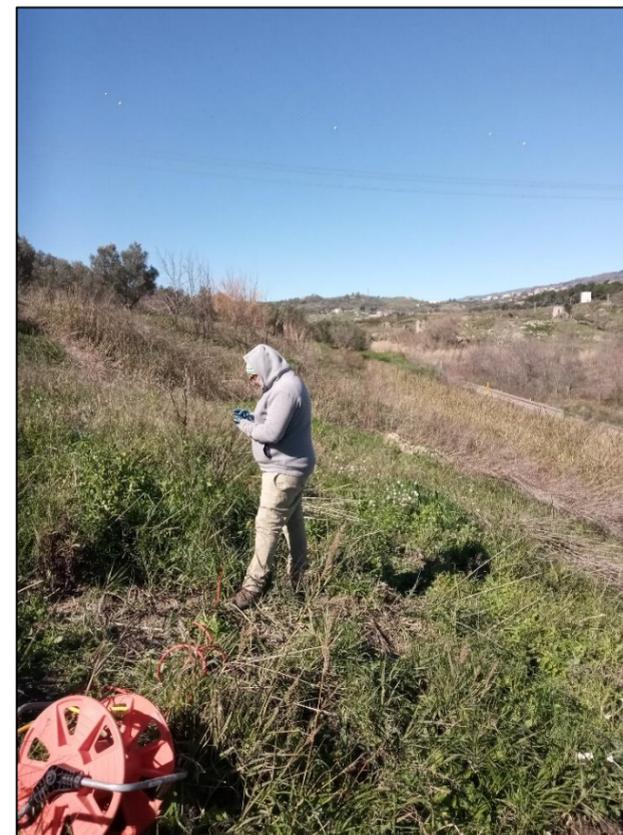
VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINI TOMOGRAFICHE ELETTRICHE ERT 20-21/L2



Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati ERT20/L2



Fase di acquisizione dati ERT20/L2



Fase di acquisizione dati ERT20/L2

TAVOLA

22

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

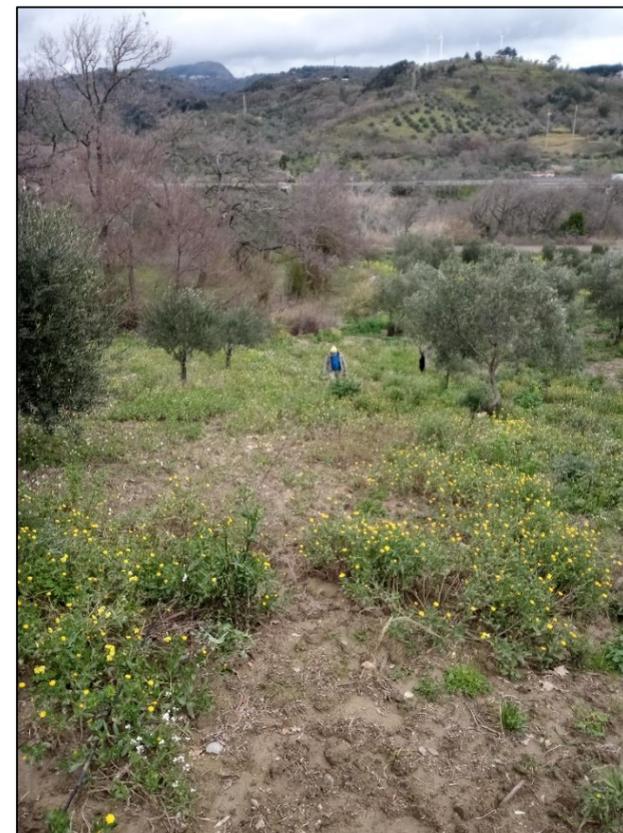
ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINI TOMOGRAFICHE ELETTRICHE ERT 20-21/L2

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati ERT21/L2 – tratto Sud



Fase di acquisizione dati ERT21/L2 – tratto in alveo/briglia



Fase di acquisizione dati ERT21/L2 – tratto centrale



Fase di acquisizione dati ERT21/L2 – tratto Nord

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

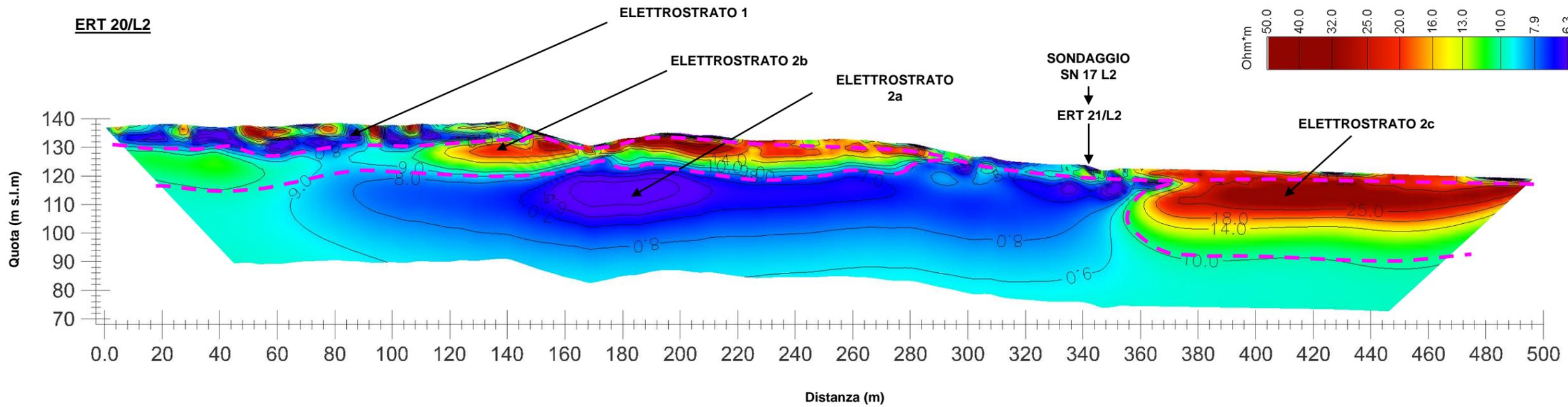
ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 16-20/L2

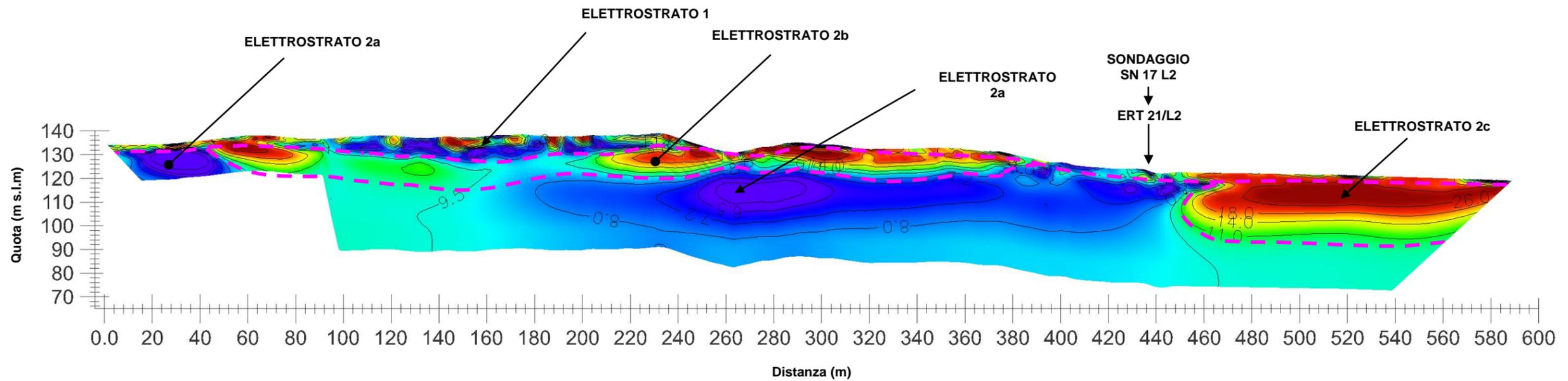
ERT 20/L2



LEGENDA

- ELETTROSTRATO 1: detrito di versante eterogeneo localmente saturo in acqua con porzione superficiale di terreno rimaneggiato
- ELETTROSTRATO 2a: terreni argillosi volgenti in profondità a marne argillose
- ELETTROSTRATO 2b: gessi
- ELETTROSTRATO 2c: depositi grossolani derivati dal disfacimento del conglomerato e/o da conoide

ERT 16/L2 UNITA ALLA ERT 20/L2



OGGETTO:
Indagine geofisica ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. -
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl

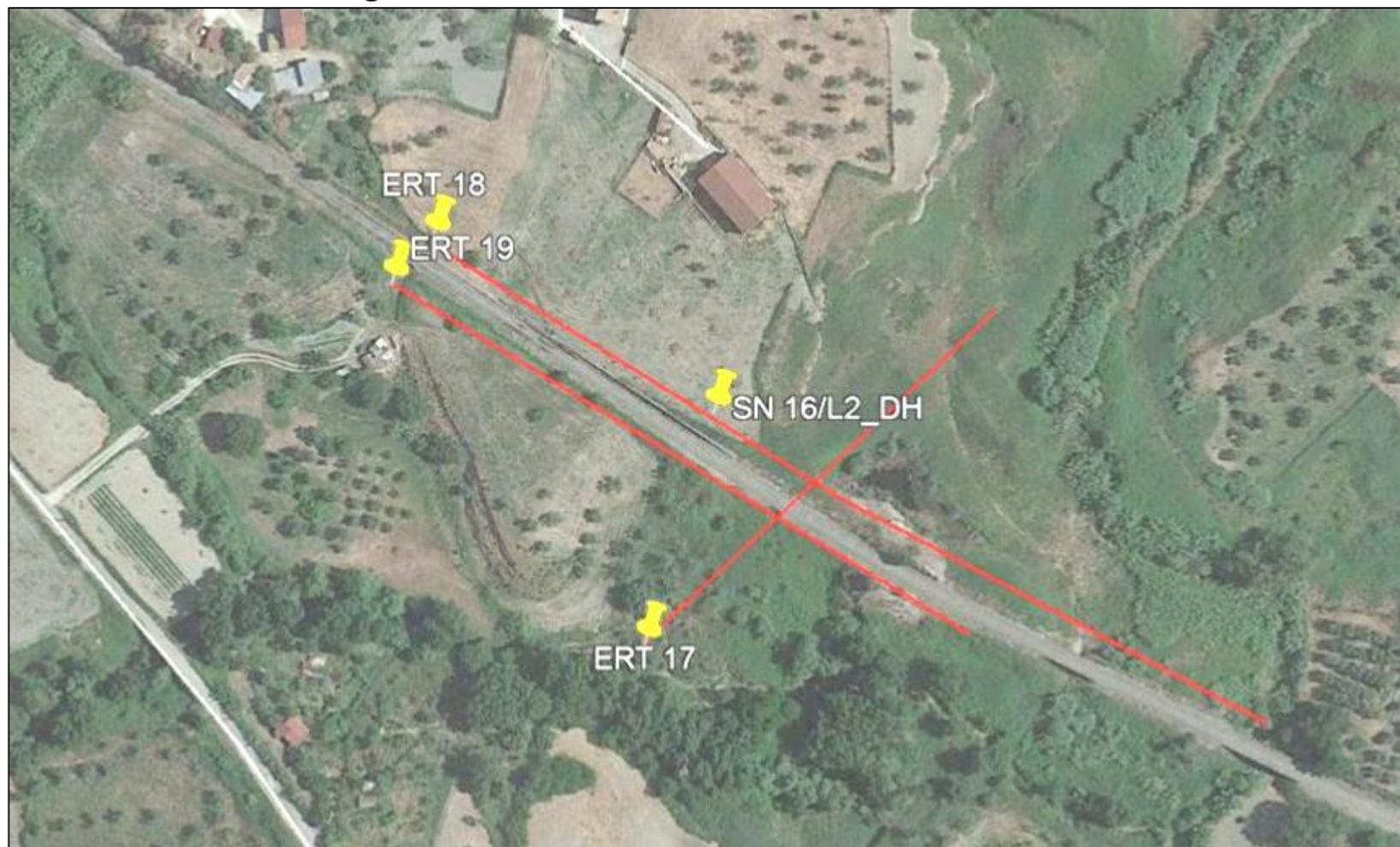
ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINI TOMOGRAFICHE ELETTRICHE ERT 17-18-19/L2

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati ERT 18 – tratto Nord Ovest



Fase di acquisizione dati ERT 18 – tratto Sud Est

TAVOLA

26

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

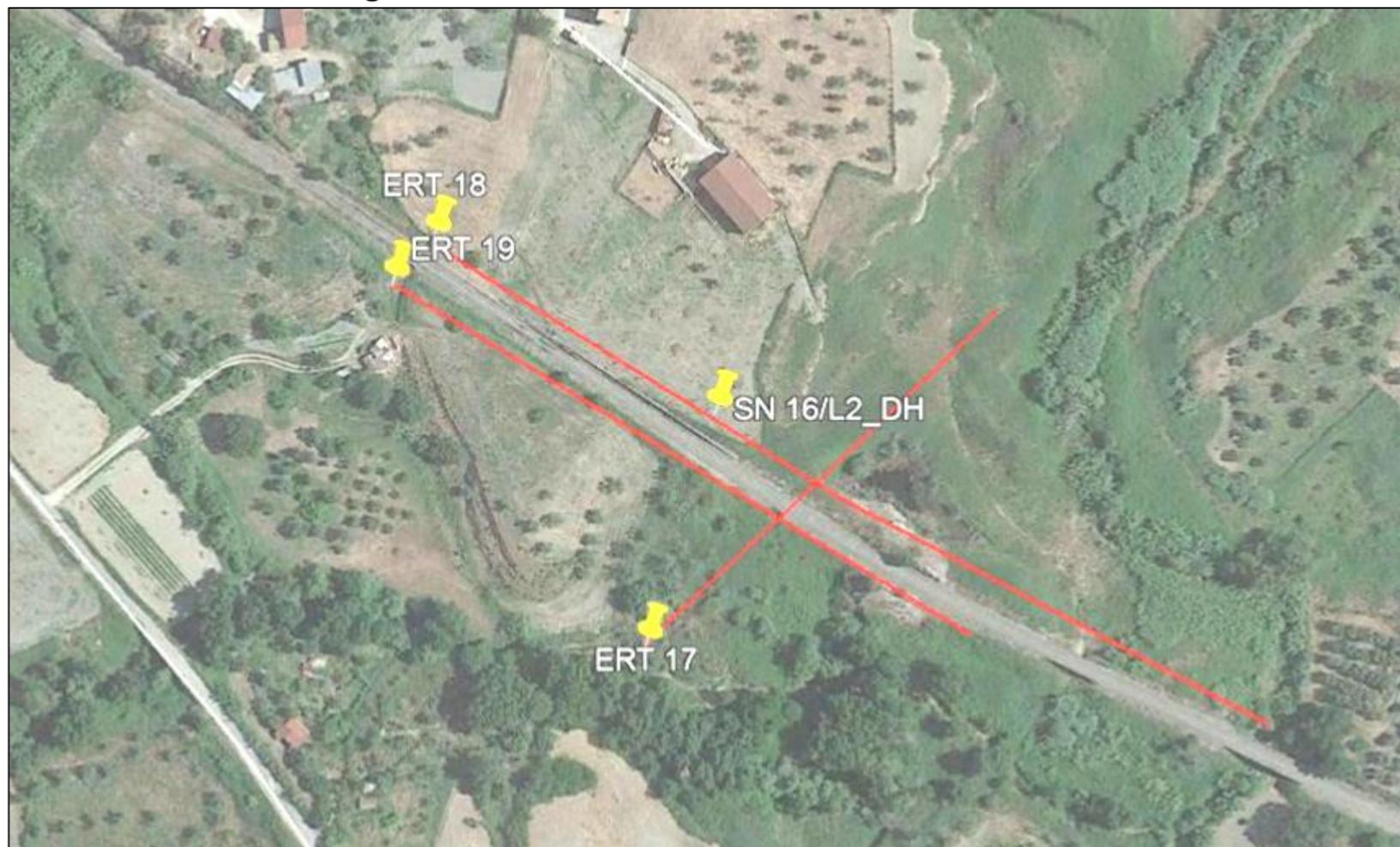
ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINI TOMOGRAFICHE ELETTRICHE ERT 17-18-19/L2

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati ERT 19 – tratto Nord Ovest



Fase di acquisizione dati ERT 19 – tratto Sud Est

TAVOLA

27

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINI TOMOGRAFICHE ELETTRICHE ERT 17-18-19/L2

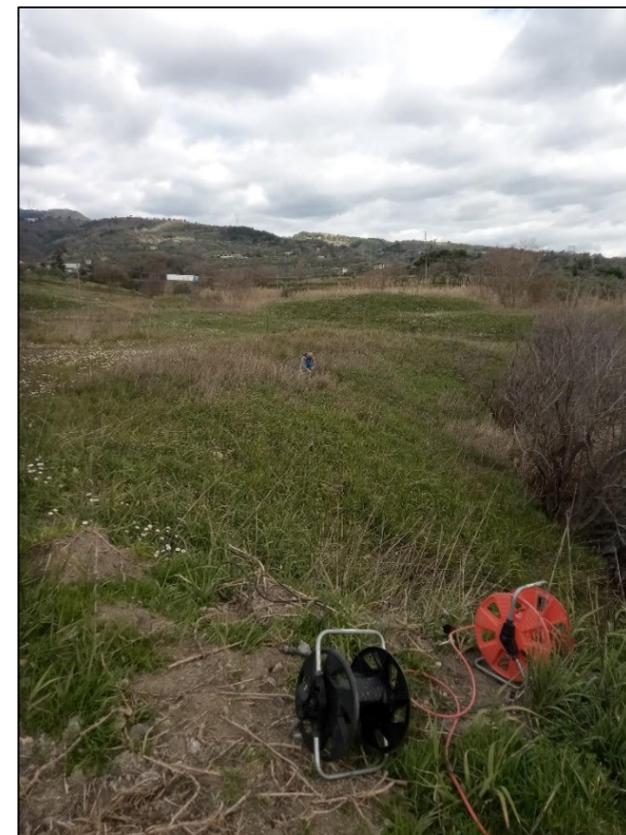
Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati ERT 17 – tratto iniziale sulla sponda del fiume



Fase di acquisizione dati ERT 17 - sottopasso



Fase di acquisizione dati ERT 17 – tratto Nord Est

TAVOLA

28

OGGETTO:
Indagine geofisica
ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



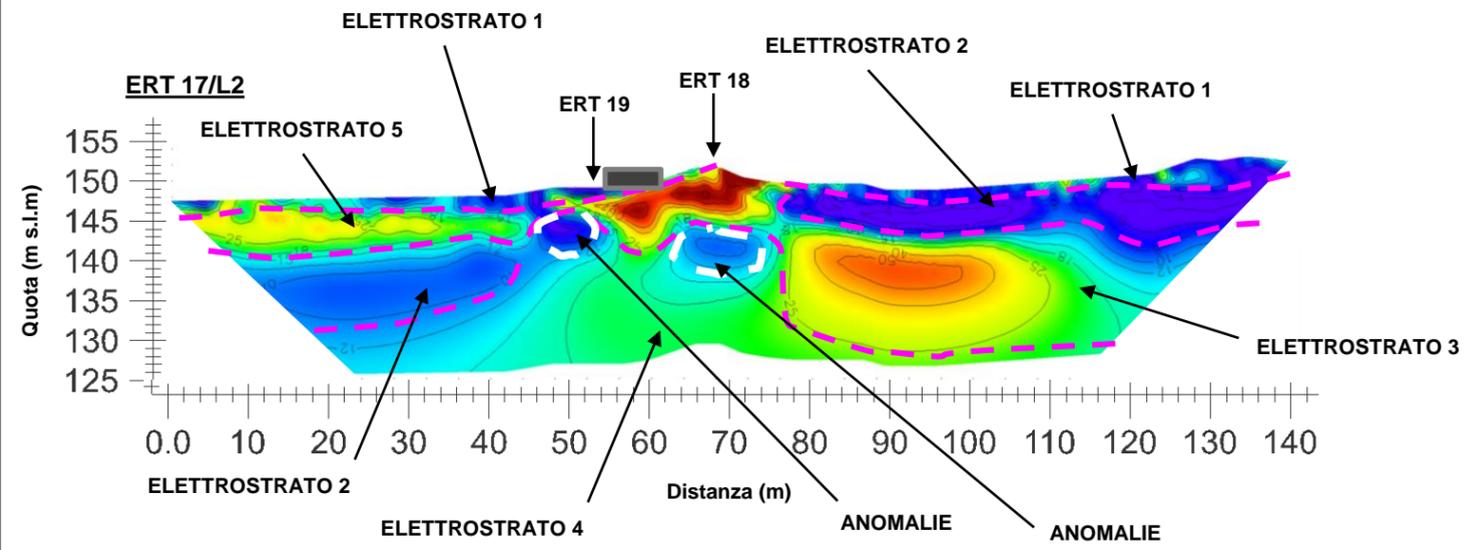
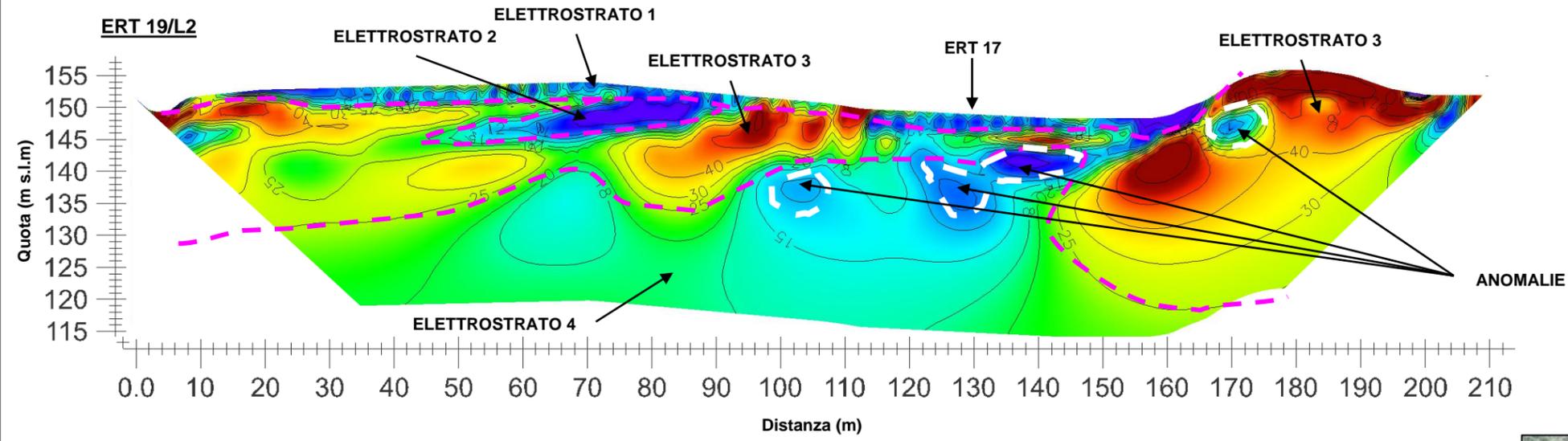
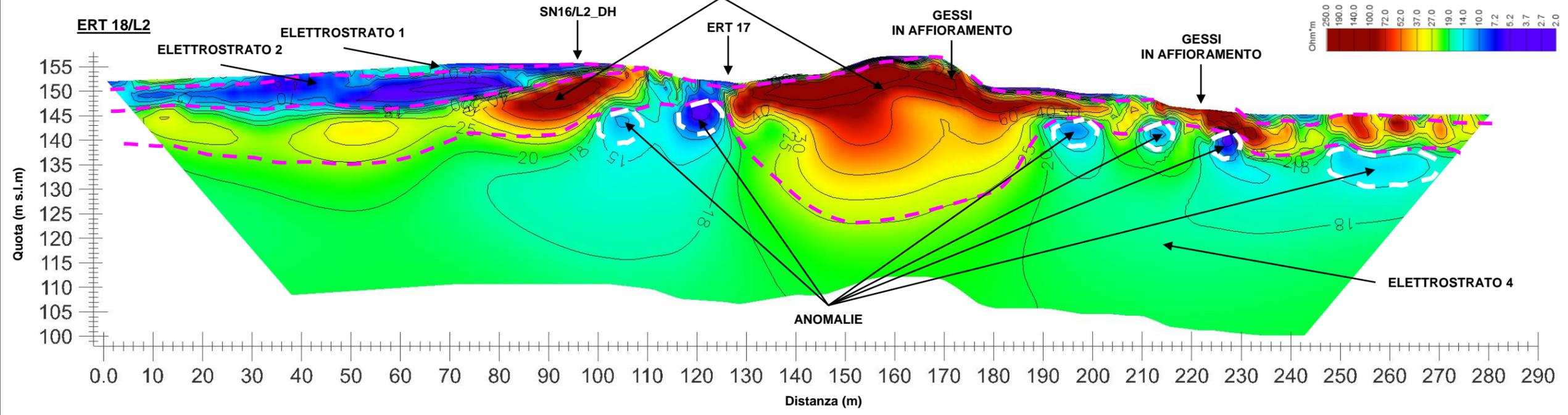
**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB MG. Idili

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA ERT 17-18-19/L2



LEGENDA

ELETTRORSTRATO 1: terreni rimaneggiati

ELETTRORSTRATO 2: terreni argillosi

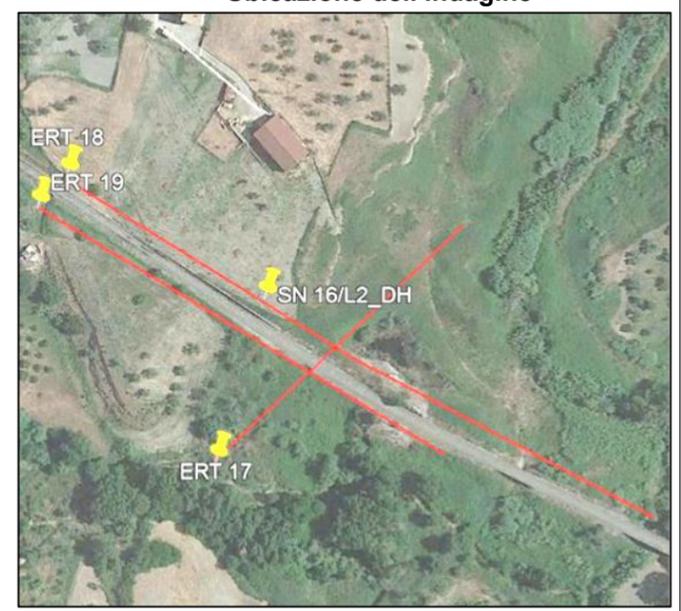
ELETTRORSTRATO 3: gessi

ELETTRORSTRATO 4: alternanze tra argille e gessi

ELETTRORSTRATO 5: probabili depositi alluvionali

ANOMALIE: probabili cavità prodotte dai processi di dissoluzione nei gessi umide o con acqua o con riempimento argilloso

Ubicazione dell'indagine



OGGETTO:
Indagine geofisica ERT

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB. MG. Idili
VERIFICA A. Morelli
APPROV. P. Chiara



**COLLEGAMENTO LAMEZIA T. – SETTINGIANO.
VELOCIZZAZIONE MEDIANTE RETTIFICHE DI TRACCIATO**

PROGETTO FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

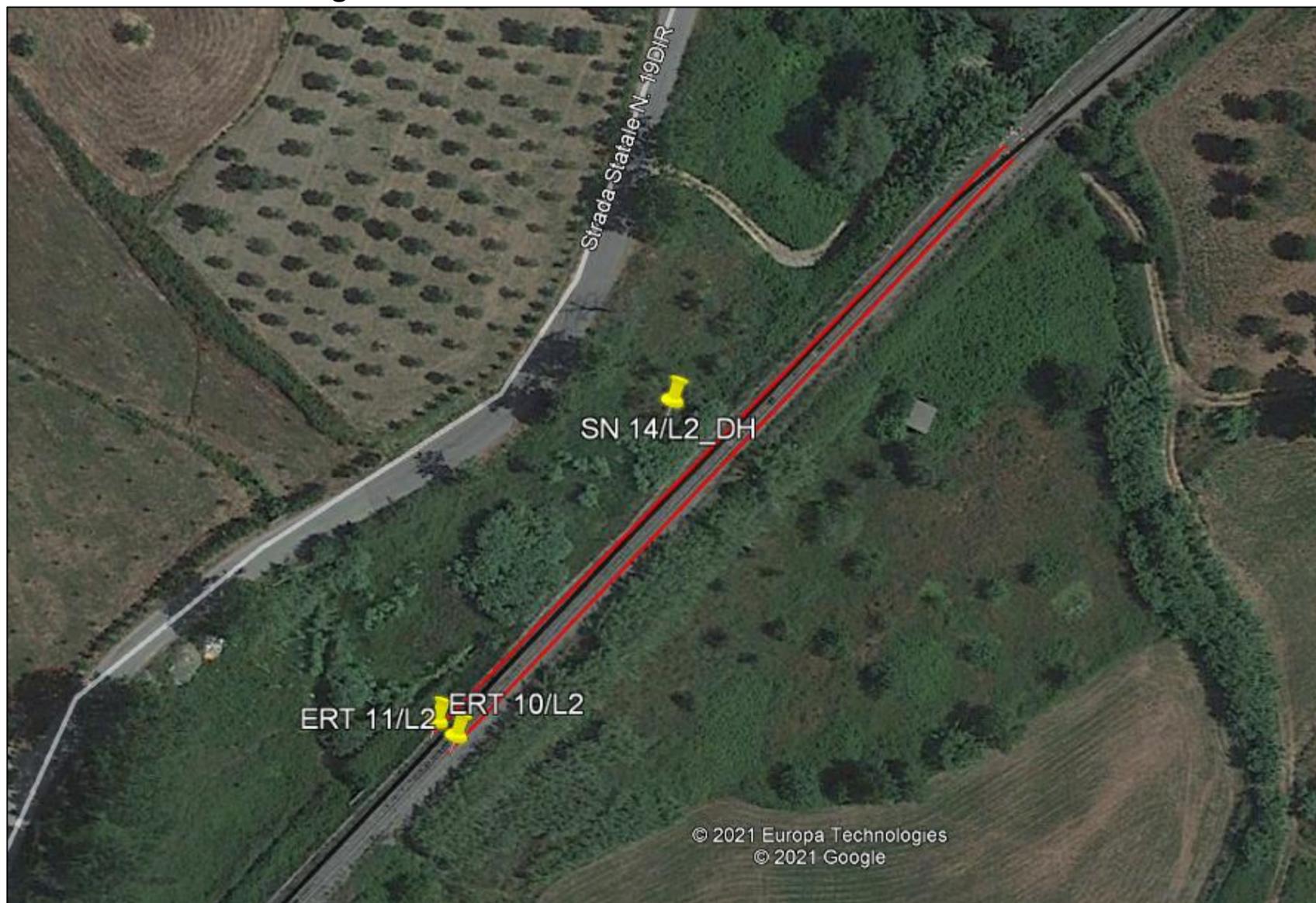
RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RC0Y	00 F 69	IG	GE0005 002	A	67 di 76

6. ALLEGATO N.4 – Risultati indagine Down Hole

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE SN14/L2 DH

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati SN14/L2 DH



TAVOLA

1

OGGETTO:

Indagine geofisica
DOWN HOLE

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

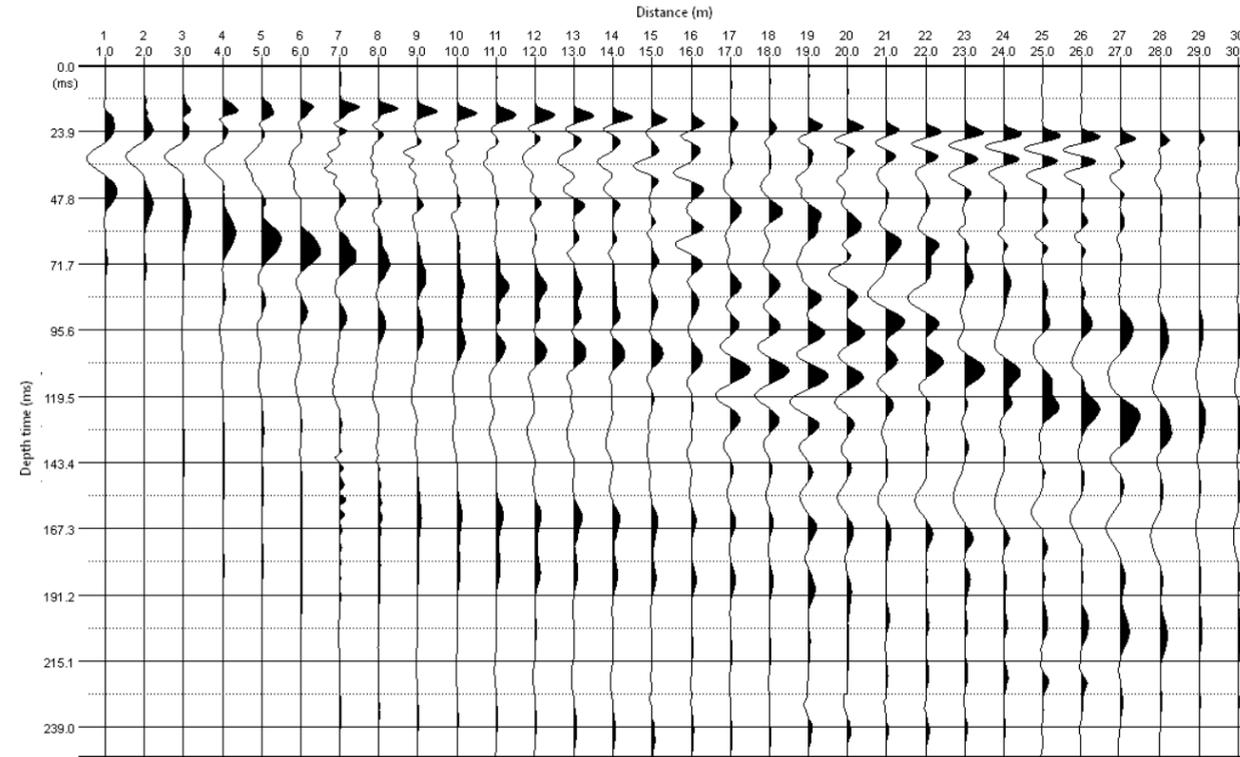
APPROV. P. Chiara

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE SN14/L2 DH

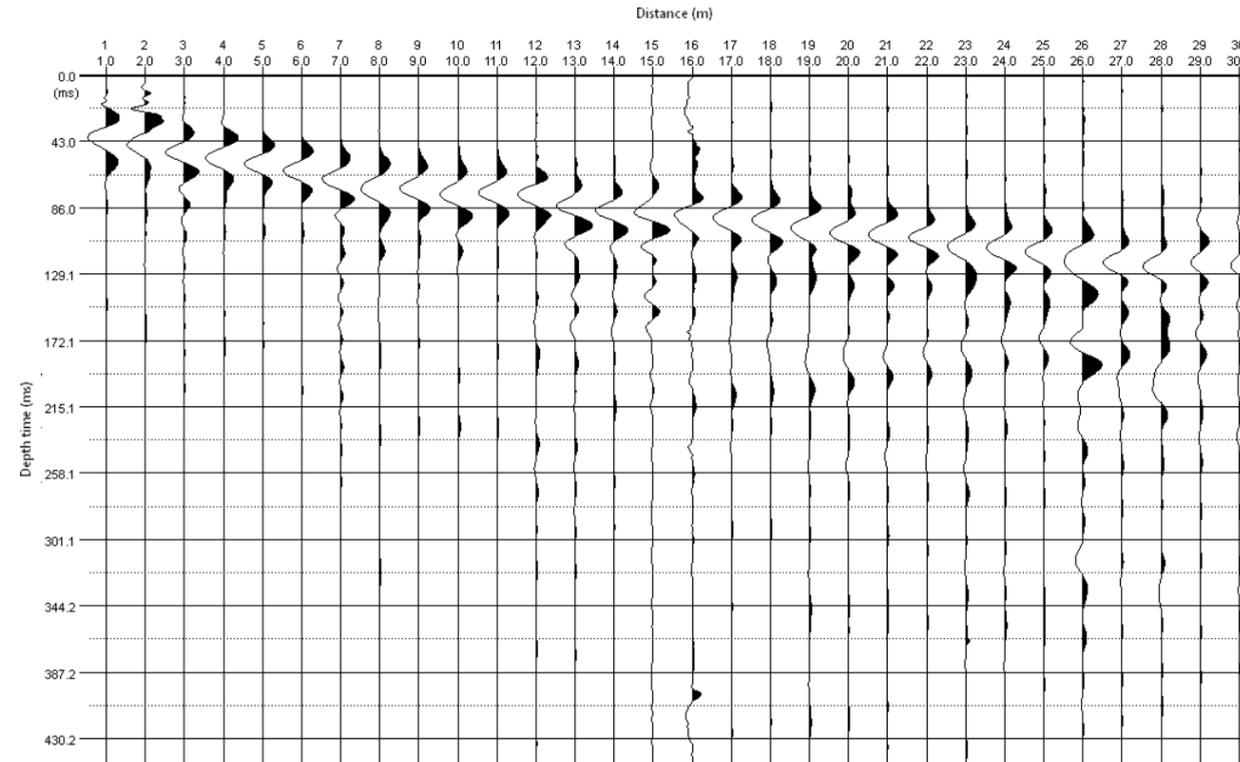
Profondità (m)	Tempi oss (ms)		Tempi corr (ms)	
	P	P	S	S
0	0	0	0	0
1	8.84	3.95	25.78	11.53
2	9.66	6.83	30.94	21.88
3	10.48	8.72	37.57	31.26
4	11.50	10.29	41.50	37.12
5	12.30	11.42	45.67	42.40
6	13.11	12.44	50.00	47.43
7	13.80	13.27	54.51	52.41
8	14.30	13.87	57.45	55.74
9	14.80	14.45	59.00	57.60
10	15.20	14.90	60.50	59.33
11	15.70	15.45	62.80	61.79
12	16.20	15.98	66.00	65.10
13	16.70	16.51	69.24	68.43
14	17.20	17.03	72.80	72.07
15	17.75	17.59	75.87	75.20
16	18.30	18.16	78.15	77.55
17	18.80	18.67	80.29	79.74
18	19.30	19.18	82.50	82.00
19	19.80	19.69	85.00	84.53
20	20.40	20.30	88.00	87.56
21	21.05	20.96	90.60	90.19
22	21.65	21.56	93.55	93.16
23	22.23	22.15	96.49	96.13
24	22.80	22.72	98.70	98.36
25	23.35	23.28	100.91	100.59
26	23.90	23.83	103.00	102.70
27	24.42	24.35	106.81	106.51
28	24.91	24.85	109.02	108.74
29	25.40	25.34	111.00	110.74
30	25.90	25.84	113.00	112.75

Tabella dei tempi osservati e corretti Onde P e S

Sismogramma Onde P



Sismogramma Onde S



TAVOLA

2

OGGETTO:
Indagine geofisica
DOWN HOLE

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE SN14/L2 DH

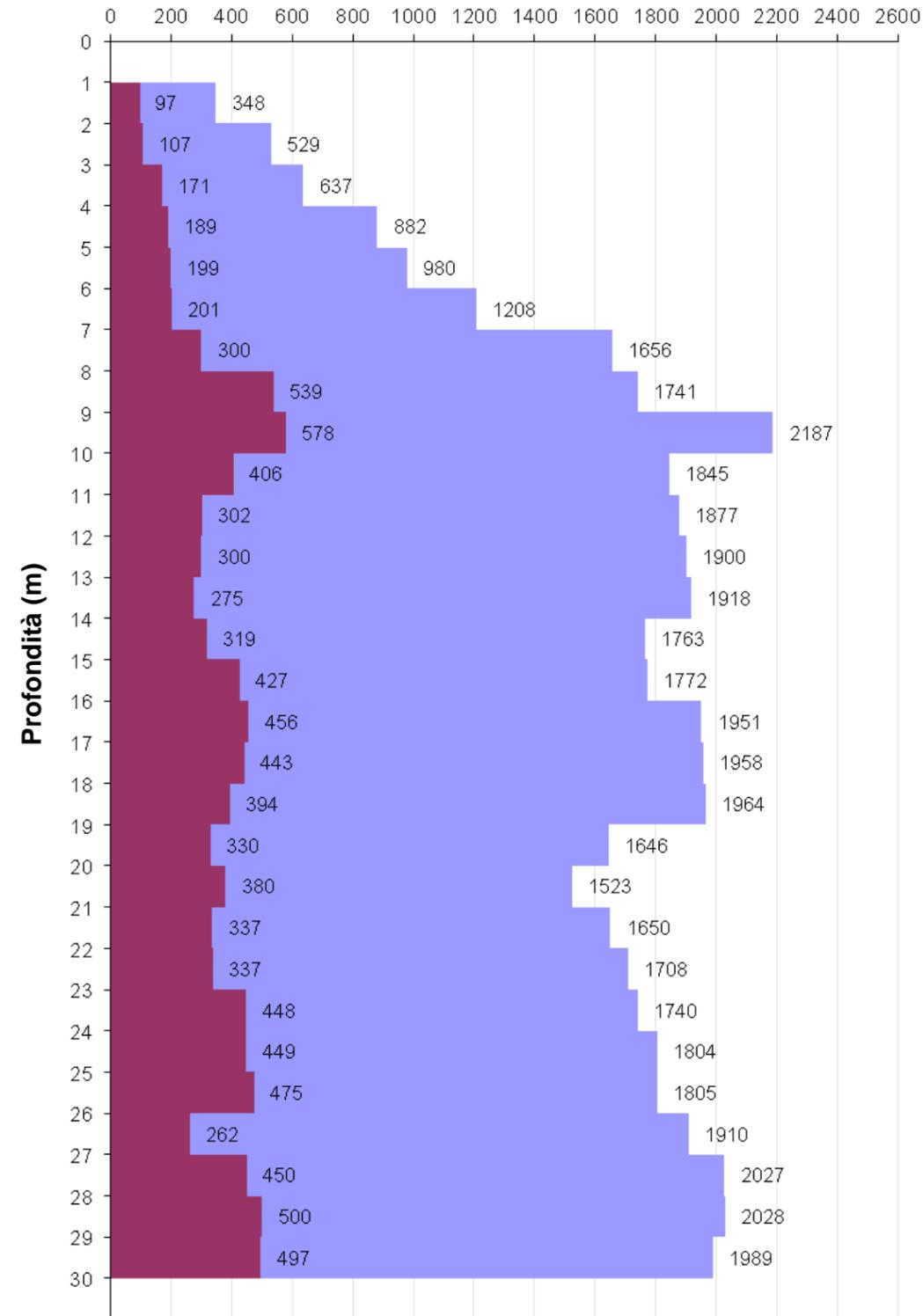
Velocità delle onde P ed S

Strato	Profondità (m dal p.c.)	Spessore (m)	Velocità Vp media (m/s)	Velocità Vs media (m/s)
1	da -1 a -2 m	1	348	97
2	da -2 a -3 m	1	529	107
3	da -3 a -4 m	1	637	171
4	da -4 a -5 m	1	882	189
5	da -5 a -6 m	1	980	199
6	da -6 a -7 m	1	1208	201
7	da -7 a -8 m	1	1656	300
8	da -8 a -9 m	1	1741	539
9	da -9 a -10 m	1	2187	578
10	da -10 a -11 m	1	1845	406
11	da -11 a -12 m	1	1877	302
12	da -12 a -13 m	1	1900	300
13	da -13 a -14 m	1	1918	275
14	da -14 a -15 m	1	1763	319
15	da -15 a -16 m	1	1772	427
16	da -16 a -17 m	1	1951	456
17	da -17 a -18 m	1	1958	443
18	da -18 a -19 m	1	1964	394
19	da -19 a -20 m	1	1646	330
20	da -20 a -21 m	1	1523	380
21	da -21 a -22 m	1	1650	337
22	da -22 a -23 m	1	1708	337
23	da -23 a -24 m	1	1740	448
24	da -24 a -25 m	1	1804	449
25	da -25 a -26 m	1	1805	475
26	da -26 a -27 m	1	1910	262
27	da -27 a -28 m	1	2027	450
28	da -28 a -29 m	1	2028	500
29	da -29 a -30 m	1	1989	497

Parametri dinamici e velocità equivalente

Strato	Profondità (m dal p.c.)	Spessore (m)	γ (kN/m ³)	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	Vseq (da 0 m per H=30 m)
1	da -1 a -2 m	1	16.70	0.46	44.61	15.30	177.62	269
2	da -2 a -3 m	1	17.06	0.48	56.23	19.01	443.68	
3	da -3 a -4 m	1	17.27	0.46	144.08	49.30	621.36	
4	da -4 a -5 m	1	17.76	0.48	184.17	62.39	1270.60	
5	da -5 a -6 m	1	17.96	0.48	205.72	69.57	1597.53	
6	da -6 a -7 m	1	18.42	0.49	216.68	72.92	2536.99	
7	da -7 a -8 m	1	19.31	0.48	507.20	171.01	4963.01	
8	da -8 a -9 m	1	19.48	0.45	1604.27	554.33	5048.71	
9	da -9 a -10 m	1	20.37	0.46	1952.42	667.52	8666.05	
10	da -10 a -11 m	1	19.69	0.47	939.57	318.60	6150.20	
11	da -11 a -12 m	1	19.75	0.49	524.18	176.28	6588.43	
12	da -12 a -13 m	1	19.80	0.49	520.28	174.92	6779.11	
13	da -13 a -14 m	1	19.84	0.49	438.71	147.27	6961.36	
14	da -14 a -15 m	1	19.53	0.48	577.87	194.82	5693.17	
15	da -15 a -16 m	1	19.54	0.47	1025.85	349.12	5551.44	
16	da -16 a -17 m	1	19.90	0.47	1195.59	406.37	6887.69	
17	da -17 a -18 m	1	19.92	0.47	1129.22	383.30	6976.76	
18	da -18 a -19 m	1	19.93	0.48	897.74	303.49	7130.83	
19	da -19 a -20 m	1	19.29	0.48	609.46	206.03	4850.81	
20	da -20 a -21 m	1	19.05	0.47	792.43	270.13	3974.79	
21	da -21 a -22 m	1	19.30	0.48	634.45	214.59	4869.61	
22	da -22 a -23 m	1	19.42	0.48	639.98	216.25	5269.29	
23	da -23 a -24 m	1	19.48	0.46	1123.31	383.52	5270.22	
24	da -24 a -25 m	1	19.61	0.47	1134.97	386.82	5740.50	
25	da -25 a -26 m	1	19.61	0.46	1269.77	434.02	5688.12	
26	da -26 a -27 m	1	19.82	0.49	397.53	133.36	6909.58	
27	da -27 a -28 m	1	20.05	0.47	1172.44	397.68	7547.42	
28	da -28 a -29 m	1	20.06	0.47	1444.70	492.20	7432.35	
29	da -29 a -30 m	1	19.98	0.47	1418.61	483.60	7104.01	

Velocità delle onde (m/s)



Profilo di velocità di intervallo

TAVOLA

3

OGGETTO:
Indagine geofisica
DOWN HOLE

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl

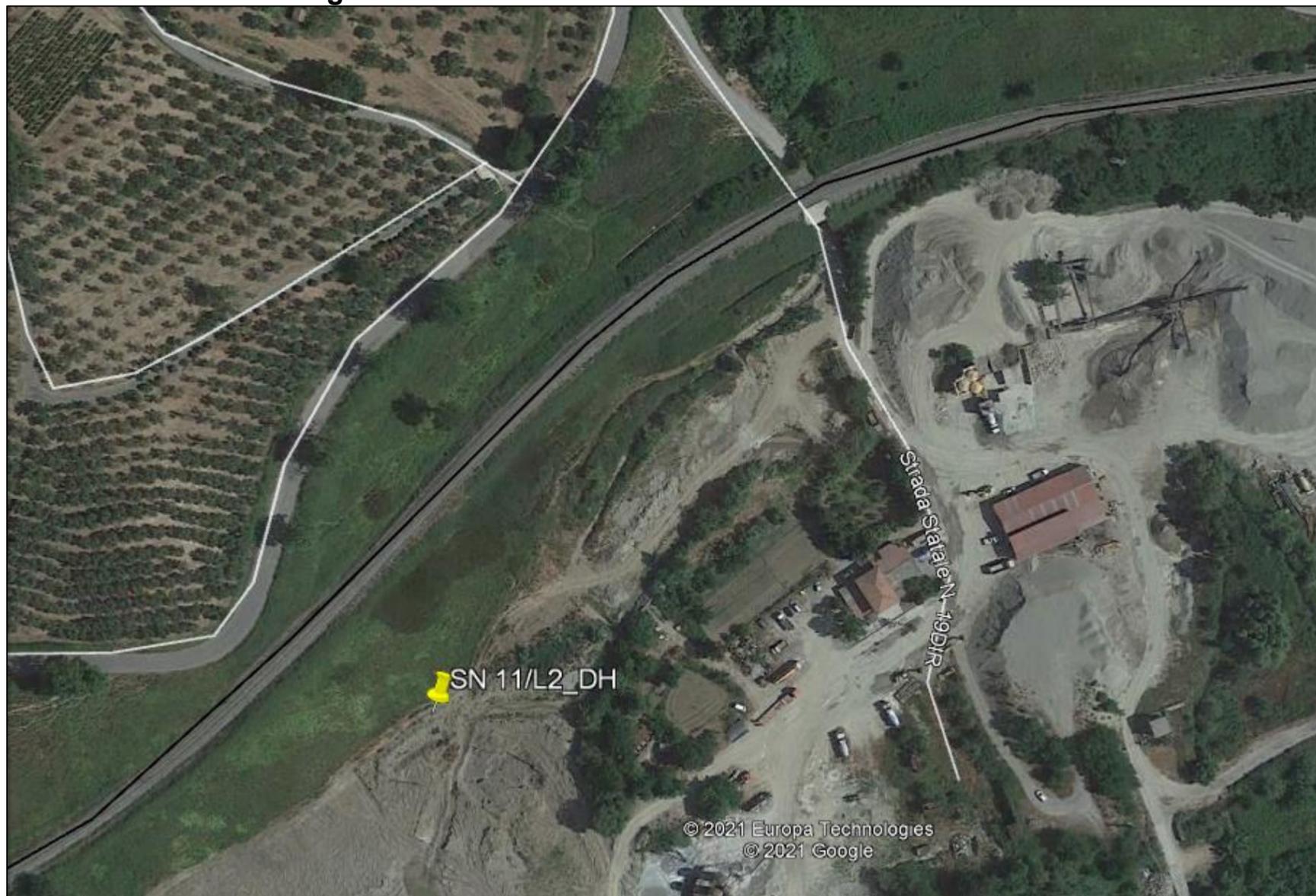
ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

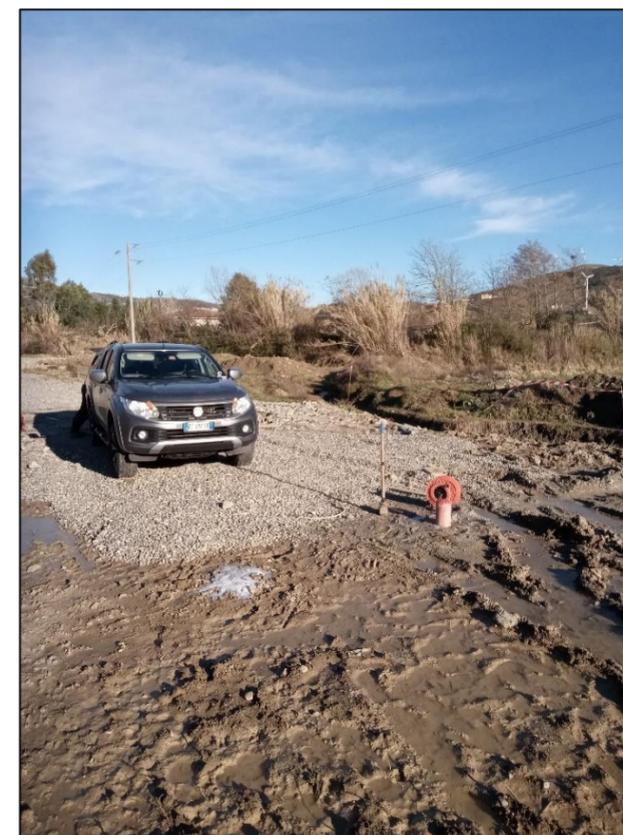
APPROV. P. Chiara

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE SN11/L2 DH

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati SN11/L2 DH



TAVOLA

4

OGGETTO:

Indagine geofisica
DOWN HOLE

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

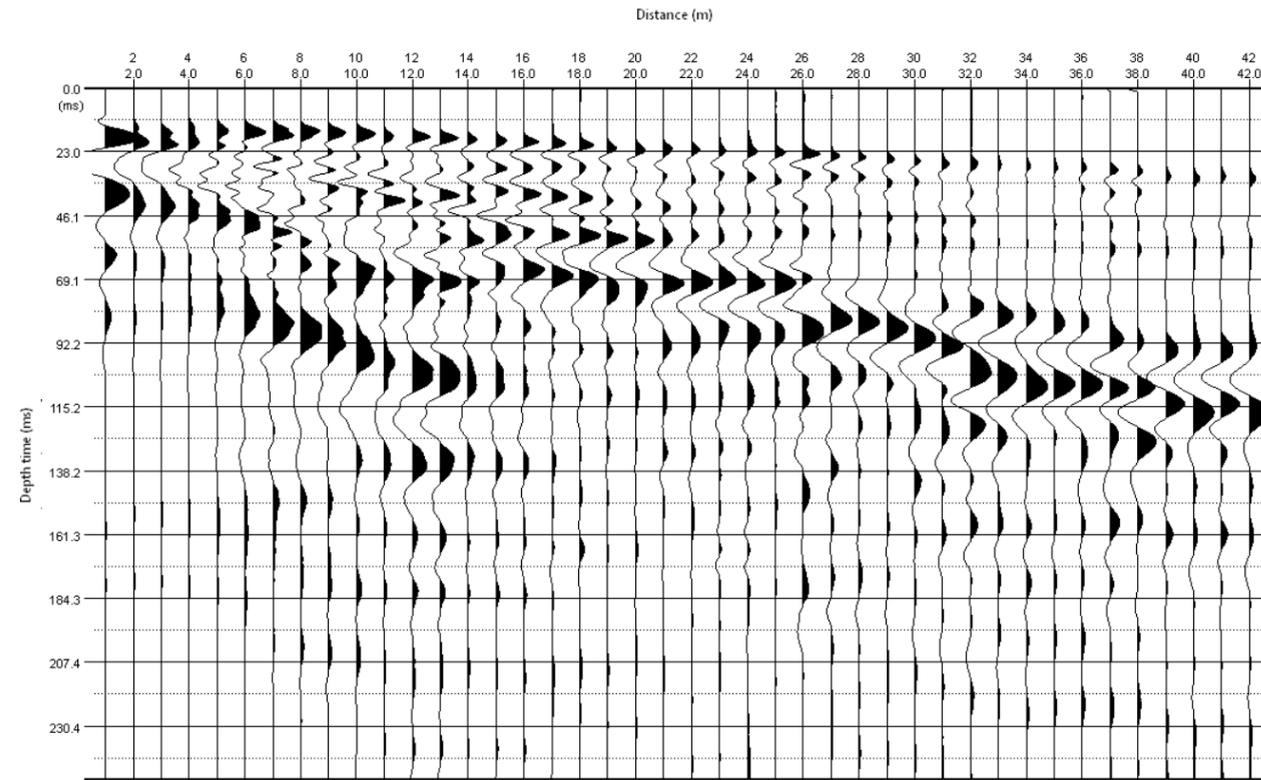
APPROV. P. Chiara

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE SN11/L2 DH

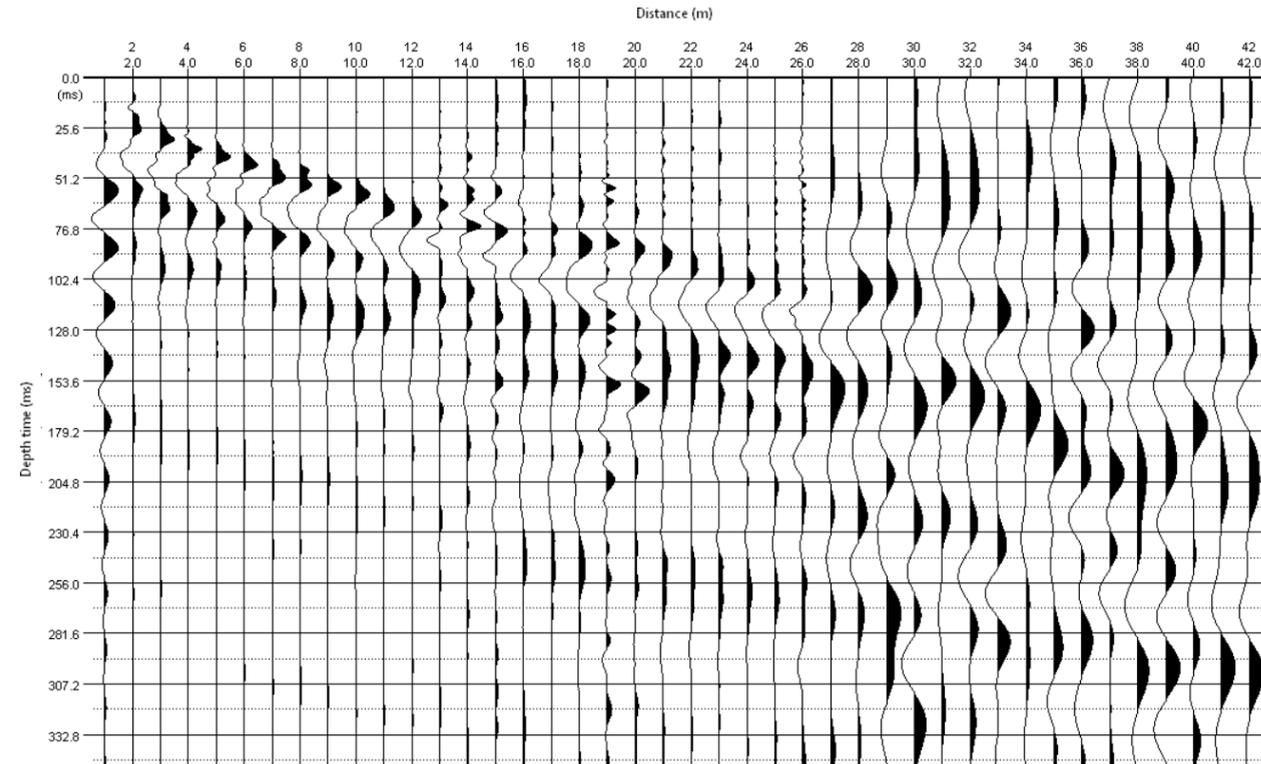
Profondità (m)	Tempi oss (ms)		Tempi corr (ms)	
	P	S	P	S
0	0	0	0	0
1	10.04	4.49	16.93	7.57
2	11.68	8.26	26.11	18.46
3	12.91	10.74	34.15	28.41
4	13.73	12.28	38.17	34.14
5	14.55	13.51	42.19	39.17
6	15.05	14.28	45.00	42.69
7	15.60	15.00	51.37	49.40
8	16.15	15.67	54.24	52.62
9	16.65	16.25	57.12	55.75
10	17.20	16.87	60.56	59.38
11	17.80	17.51	66.30	65.23
12	18.30	18.05	70.89	69.93
13	18.80	18.58	73.80	72.94
14	19.25	19.06	76.20	75.43
15	19.70	19.53	78.50	77.81
16	20.14	19.98	80.65	80.03
17	20.60	20.46	83.40	82.83
18	21.05	20.92	85.25	84.72
19	21.45	21.33	86.97	86.49
20	21.85	21.74	89.00	88.56
21	22.30	22.20	91.50	91.09
22	22.80	22.71	94.10	93.71
23	23.30	23.21	96.50	96.14
24	23.78	23.70	98.70	98.36
25	24.30	24.22	101.00	100.68
26	24.77	24.70	103.00	102.70
27	25.21	25.14	104.80	104.51
28	25.63	25.56	106.50	106.23
29	26.10	26.04	108.21	107.95
30	26.60	26.54	110.00	109.76
31	27.15	27.09	112.00	111.77
32	27.70	27.65	114.00	113.78
33	28.15	28.10	115.90	115.69
34	28.55	28.50	117.50	117.30
35	29.00	28.95	120.58	120.39
36	29.45	29.40	122.50	122.31
37	29.88	29.84	124.10	123.92
38	30.35	30.31	125.70	125.53
39	30.85	30.81	127.50	127.33
40	31.30	31.26	129.19	129.03
41	31.80	31.76	130.92	130.76
42	32.30	32.26	132.45	132.30

Tabella dei tempi osservati e corretti Onde P e S

Sismogramma Onde P



Sismogramma Onde S



TAVOLA

5

OGGETTO:
Indagine geofisica
DOWN HOLE

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

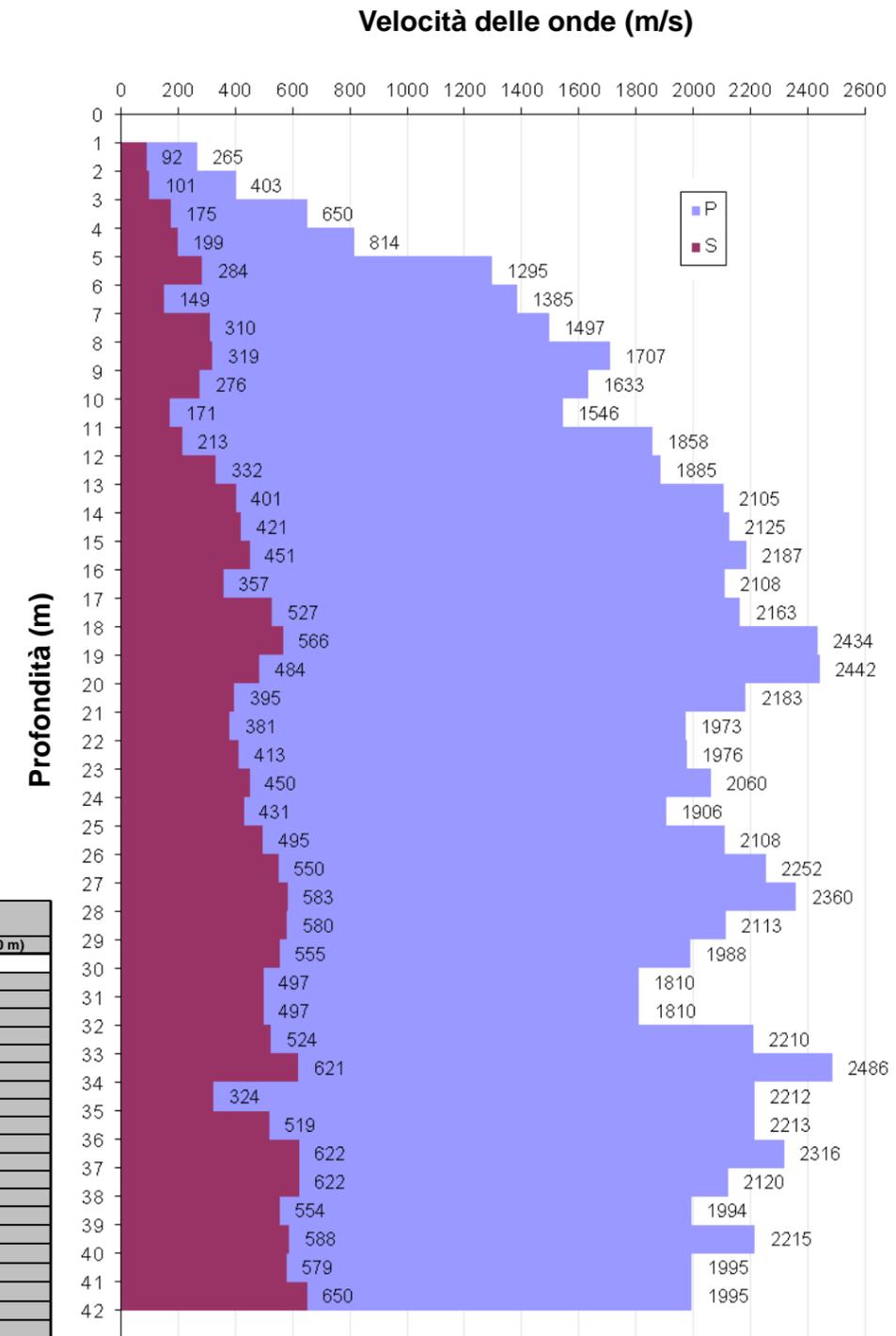
INDAGINE SISMICA DOWN HOLE SN11/L2 DH

Velocità delle onde P ed S

Strato	Profondità (m dal p.c.)	Spessore (m)	Velocità Vp media (m/s)	Velocità Vs media (m/s)
1	da -1 a -2 m	1	265	92
2	da -2 a -3 m	1	403	101
3	da -3 a -4 m	1	650	175
4	da -4 a -5 m	1	814	199
5	da -5 a -6 m	1	1295	284
6	da -6 a -7 m	1	1385	149
7	da -7 a -8 m	1	1497	310
8	da -8 a -9 m	1	1707	319
9	da -9 a -10 m	1	1633	276
10	da -10 a -11 m	1	1546	171
11	da -11 a -12 m	1	1858	332
12	da -12 a -13 m	1	1885	401
13	da -13 a -14 m	1	2105	421
14	da -14 a -15 m	1	2125	451
15	da -15 a -16 m	1	2187	527
16	da -16 a -17 m	1	2108	566
17	da -17 a -18 m	1	2163	484
18	da -18 a -19 m	1	2434	580
19	da -19 a -20 m	1	2442	555
20	da -20 a -21 m	1	2183	497
21	da -21 a -22 m	1	1973	497
22	da -22 a -23 m	1	1976	524
23	da -23 a -24 m	1	2060	621
24	da -24 a -25 m	1	1906	622
25	da -25 a -26 m	1	2108	554
26	da -26 a -27 m	1	2252	588
27	da -27 a -28 m	1	2360	579
28	da -28 a -29 m	1	2113	650
29	da -29 a -30 m	1	1988	
30	da -30 a -31 m	1	1810	
31	da -31 a -32 m	1	1810	
32	da -32 a -33 m	1	2210	
33	da -33 a -34 m	1	2486	
34	da -34 a -35 m	1	2212	
35	da -35 a -36 m	1	2213	
36	da -36 a -37 m	1	2316	
37	da -37 a -38 m	1	2120	
38	da -38 a -39 m	1	1994	
39	da -39 a -40 m	1	2215	
40	da -40 a -41 m	1	1995	
41	da -41 a -42 m	1	1995	

Parametri dinamici e velocità equivalente

Strato	Profondità (m dal p.c.)	Spessore (m)	γ (kN/m ³)	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	Vseq (da 0 m per H=30 m)
1	da -1 a -2 m	1	16.53	0.43	39.12	13.66	96.00	288
2	da -2 a -3 m	1	16.81	0.47	48.84	16.65	245.41	
3	da -3 a -4 m	1	17.30	0.46	151.28	51.77	648.58	
4	da -4 a -5 m	1	17.63	0.47	200.55	68.29	1053.98	
5	da -5 a -6 m	1	18.59	0.47	433.94	147.13	2862.37	
6	da -6 a -7 m	1	18.77	0.49	122.29	40.92	3475.67	
7	da -7 a -8 m	1	18.99	0.48	528.58	178.86	3935.51	
8	da -8 a -9 m	1	19.41	0.48	575.79	194.28	5290.88	
9	da -9 a -10 m	1	19.27	0.49	426.39	143.53	4845.17	
10	da -10 a -11 m	1	19.09	0.49	163.58	54.75	4401.05	
11	da -11 a -12 m	1	19.72	0.49	261.67	87.61	6560.39	
12	da -12 a -13 m	1	19.77	0.48	633.73	213.52	6607.87	
13	da -13 a -14 m	1	20.21	0.48	945.14	319.06	8353.40	
14	da -14 a -15 m	1	20.25	0.48	1039.84	351.39	8495.86	
15	da -15 a -16 m	1	20.37	0.48	1199.53	405.85	9013.61	
16	da -16 a -17 m	1	20.22	0.49	751.90	253.13	8470.50	
17	da -17 a -18 m	1	20.33	0.47	1628.67	554.58	8585.19	
18	da -18 a -19 m	1	20.87	0.47	1931.95	656.51	11245.92	
19	da -19 a -20 m	1	20.88	0.48	1417.00	478.84	11580.15	
20	da -20 a -21 m	1	20.37	0.48	925.90	312.16	9106.23	
21	da -21 a -22 m	1	19.95	0.48	840.19	283.72	7237.01	
22	da -22 a -23 m	1	19.95	0.48	984.12	333.10	7196.84	
23	da -23 a -24 m	1	20.12	0.47	1179.03	399.69	7839.66	
24	da -24 a -25 m	1	19.81	0.47	1064.08	361.19	6573.96	
25	da -25 a -26 m	1	20.22	0.47	1431.62	486.69	8158.99	
26	da -26 a -27 m	1	20.50	0.47	1788.35	609.01	9384.13	
27	da -27 a -28 m	1	20.72	0.47	2026.04	690.30	10395.82	
28	da -28 a -29 m	1	20.23	0.46	1947.18	667.18	7965.40	
29	da -29 a -30 m	1	19.98	0.46	1757.48	602.78	6941.43	
30	da -30 a -31 m	1	19.62	0.46	1388.07	475.63	5666.84	
31	da -31 a -32 m	1	19.62	0.46	1389.41	476.10	5671.28	
32	da -32 a -33 m	1	20.42	0.47	1614.68	549.11	9053.39	
33	da -33 a -34 m	1	20.97	0.47	2328.82	793.91	11649.51	
34	da -34 a -35 m	1	20.42	0.49	625.40	210.00	9522.41	
35	da -35 a -36 m	1	20.43	0.47	1588.90	540.13	9089.29	
36	da -36 a -37 m	1	20.63	0.46	2287.57	782.81	9808.78	
37	da -37 a -38 m	1	20.24	0.45	2233.04	768.48	7900.05	
38	da -38 a -39 m	1	19.99	0.46	1751.99	600.72	6994.22	
39	da -39 a -40 m	1	20.43	0.46	2026.92	693.17	8907.17	
40	da -40 a -41 m	1	19.99	0.45	1909.85	656.74	6925.63	
41	da -41 a -42 m	1	19.99	0.44	2383.21	827.09	6701.12	



Profilo di velocità di intervallo

TAVOLA

6

OGGETTO:
Indagine geofisica
DOWN HOLE

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE SN16/L2 DH

Ubicazione dell'indagine



Fase di acquisizione dati SN16/L2 DH



TAVOLA

7

OGGETTO:

Indagine geofisica
DOWN HOLE

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
**SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

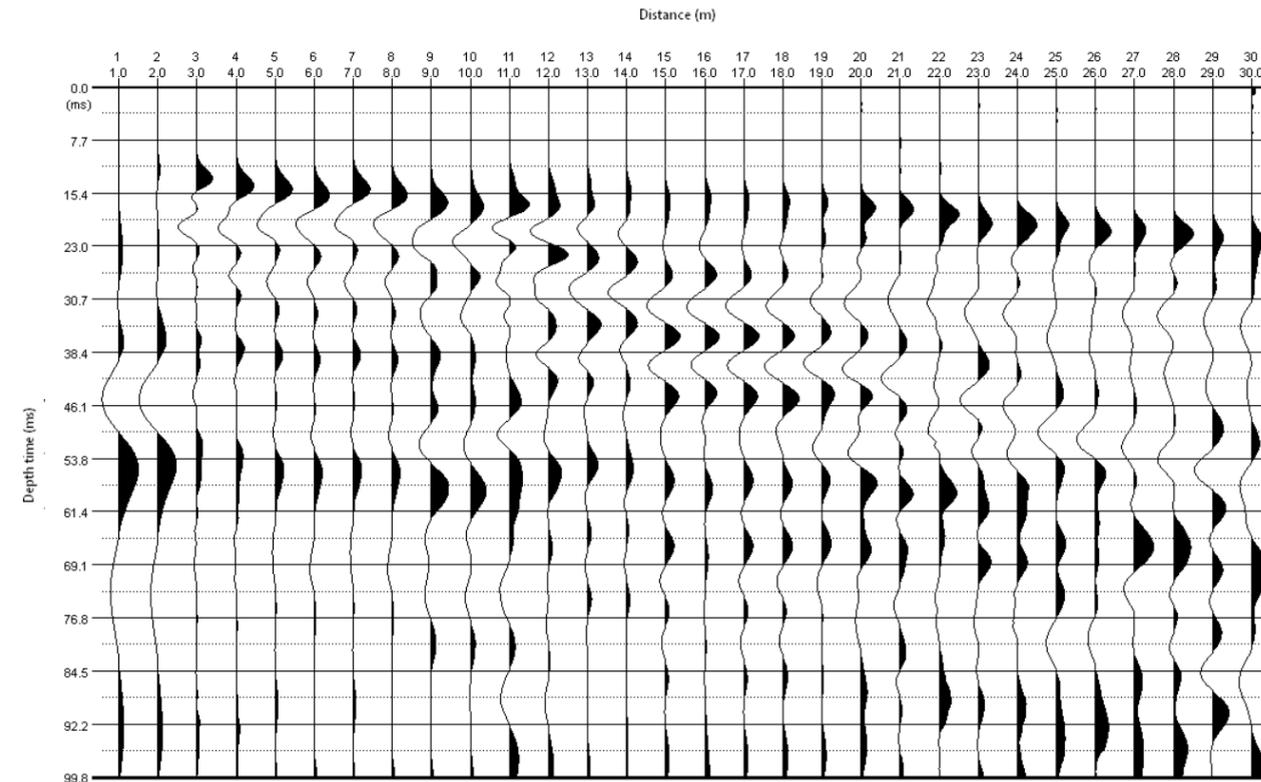
APPROV. P. Chiara

INDAGINE SISMICA DOWN HOLE SN16/L2 DH

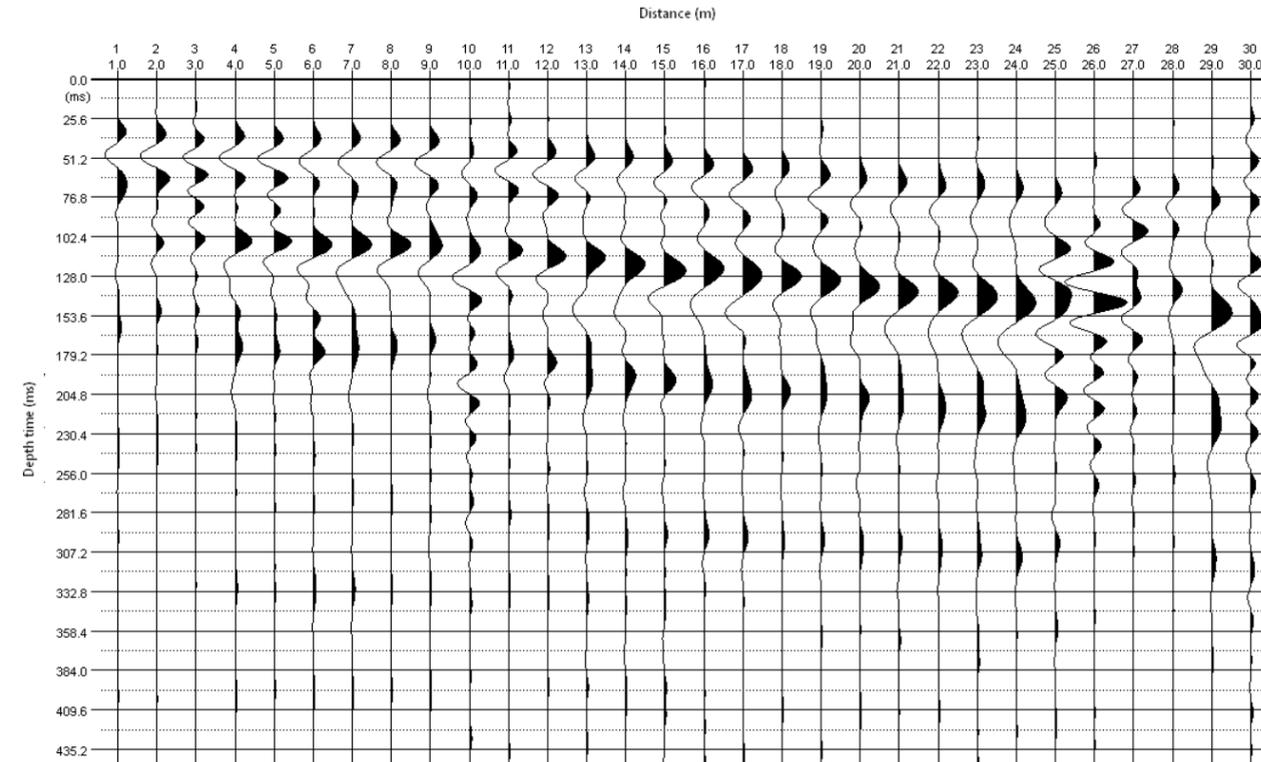
Profondità (m)	Tempi oss (ms)	Tempi corr (ms)	Tempi oss (ms)	Tempi corr (ms)
	P	P	S	S
0	0	0	0	0
1	8.35	3.74	24.31	10.87
2	9.67	6.83	27.25	19.27
3	10.32	8.59	28.72	23.90
4	11.47	10.26	29.46	26.35
5	11.80	10.96	30.93	28.72
6	12.29	11.66	32.41	30.74
7	12.78	12.29	33.70	32.40
8	13.20	12.81	35.00	33.95
9	13.60	13.28	36.20	35.34
10	13.98	13.71	37.40	36.67
11	14.40	14.17	39.00	38.37
12	14.80	14.60	40.50	39.95
13	15.20	15.02	42.30	41.81
14	15.60	15.44	44.10	43.66
15	16.05	15.91	45.98	45.58
16	16.50	16.37	48.00	47.63
17	17.00	16.88	50.00	49.66
18	17.50	17.39	51.87	51.56
19	18.00	17.90	53.50	53.21
20	18.45	18.36	55.50	55.22
21	18.92	18.83	57.80	57.54
22	19.40	19.32	59.98	59.73
23	19.90	19.83	62.00	61.77
24	20.35	20.28	63.66	63.44
25	20.80	20.73	65.87	65.66
26	21.30	21.24	68.00	67.80
27	21.80	21.74	69.55	69.36
28	22.23	22.17	72.00	71.82
29	22.70	22.65	74.00	73.82
30	23.20	23.15	76.92	76.75

Tabella dei tempi osservati e corretti Onde P e S

Sismogramma Onde P



Sismogramma Onde S



TAVOLA

8

OGGETTO:
Indagine geofisica
DOWN HOLE

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



**Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl**

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara

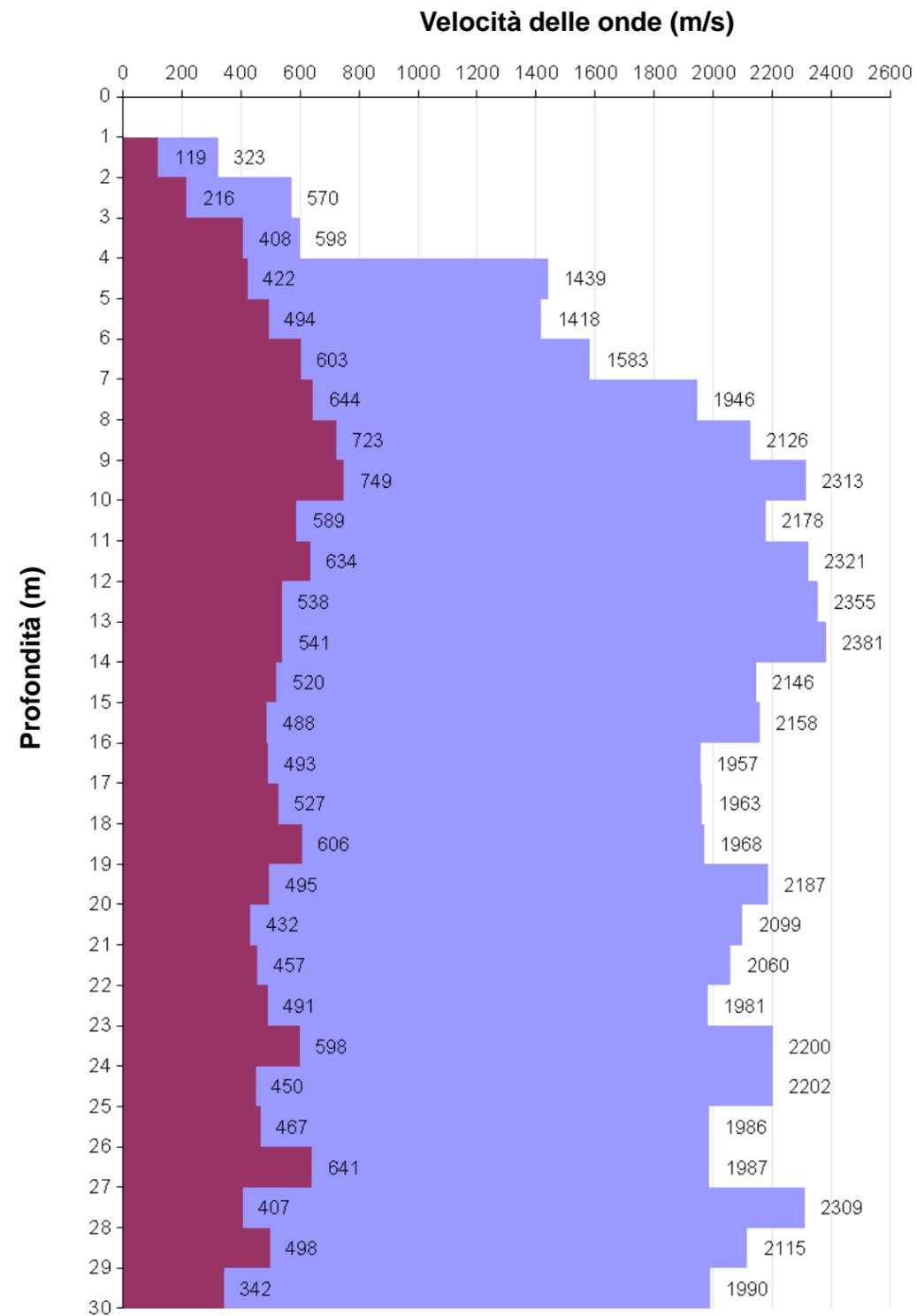
INDAGINE SISMICA DOWN HOLE SN16/L2 DH

Velocità delle onde P ed S

Strato	Profondità (m dal p.c.)	Spessore (m)	Velocità Vp media (m/s)	Velocità Vs media (m/s)
1	da -1 a -2 m	1	323	119
2	da -2 a -3 m	1	570	216
3	da -3 a -4 m	1	598	408
4	da -4 a -5 m	1	1439	422
5	da -5 a -6 m	1	1418	494
6	da -6 a -7 m	1	1583	603
7	da -7 a -8 m	1	1946	644
8	da -8 a -9 m	1	2126	723
9	da -9 a -10 m	1	2313	749
10	da -10 a -11 m	1	2178	589
11	da -11 a -12 m	1	2321	634
12	da -12 a -13 m	1	2355	538
13	da -13 a -14 m	1	2381	541
14	da -14 a -15 m	1	2146	520
15	da -15 a -16 m	1	2158	488
16	da -16 a -17 m	1	1957	493
17	da -17 a -18 m	1	1963	527
18	da -18 a -19 m	1	1968	606
19	da -19 a -20 m	1	2187	495
20	da -20 a -21 m	1	2099	432
21	da -21 a -22 m	1	2060	457
22	da -22 a -23 m	1	1981	491
23	da -23 a -24 m	1	2200	598
24	da -24 a -25 m	1	2202	450
25	da -25 a -26 m	1	1986	467
26	da -26 a -27 m	1	1987	641
27	da -27 a -28 m	1	2309	407
28	da -28 a -29 m	1	2115	498
29	da -29 a -30 m	1	1990	342

Parametri dinamici e velocità equivalente

Strato	Profondità (m dal p.c.)	Spessore (m)	γ (kN/m ³)	Poisson	Young (MPa)	Share (MPa)	Bulk (MPa)	Vseq (da 0 m per H=30 m)
1	da -1 a -2 m	1	16.65	0.42	65.76	23.14	139.09	404
2	da -2 a -3 m	1	17.14	0.42	222.07	78.40	442.14	
3	da -3 a -4 m	1	17.20	0.07	598.09	280.75	229.24	
4	da -4 a -5 m	1	18.88	0.45	957.13	329.37	3392.11	
5	da -5 a -6 m	1	18.84	0.43	1292.30	451.60	3112.65	
6	da -6 a -7 m	1	19.17	0.42	1931.98	682.58	3797.58	
7	da -7 a -8 m	1	19.89	0.44	2331.14	810.31	6310.65	
8	da -8 a -9 m	1	20.25	0.43	2979.55	1038.44	7596.61	
9	da -9 a -10 m	1	20.63	0.44	3268.33	1133.67	9308.16	
10	da -10 a -11 m	1	20.36	0.46	2024.27	693.00	8542.40	
11	da -11 a -12 m	1	20.64	0.46	2373.21	812.90	9818.16	
12	da -12 a -13 m	1	20.71	0.47	1730.42	587.59	10480.98	
13	da -13 a -14 m	1	20.76	0.47	1754.95	595.79	10750.32	
14	da -14 a -15 m	1	20.29	0.47	1582.65	538.77	8445.66	
15	da -15 a -16 m	1	20.32	0.47	1395.81	473.77	8647.27	
16	da -16 a -17 m	1	19.91	0.47	1392.09	474.76	6846.76	
17	da -17 a -18 m	1	19.93	0.46	1583.30	541.77	6808.16	
18	da -18 a -19 m	1	19.94	0.45	2080.77	718.72	6613.71	
19	da -19 a -20 m	1	20.37	0.47	1444.56	490.36	8898.54	
20	da -20 a -21 m	1	20.20	0.48	1092.43	369.59	8237.33	
21	da -21 a -22 m	1	20.12	0.47	1212.82	411.36	7820.24	
22	da -22 a -23 m	1	19.96	0.47	1384.16	471.67	7051.43	
23	da -23 a -24 m	1	20.40	0.46	2091.76	716.32	8729.02	
24	da -24 a -25 m	1	20.40	0.48	1200.22	405.98	9164.89	
25	da -25 a -26 m	1	19.97	0.47	1256.30	427.10	7156.44	
26	da -26 a -27 m	1	19.97	0.44	2317.74	803.63	6665.42	
27	da -27 a -28 m	1	20.62	0.48	994.84	335.20	10334.15	
28	da -28 a -29 m	1	20.23	0.47	1447.85	492.25	8222.81	
29	da -29 a -30 m	1	19.98	0.48	681.97	229.66	7456.79	



Profilo di velocità di intervallo

TAVOLA

9

OGGETTO:
Indagine geofisica
DOWN HOLE

Progetto:

COLLEGAMENTO
LAMEZIA T. –
SETTINGIANO

Velocizzazione
mediante rettifiche
di tracciato



Per la
SOING Strutture e
Ambiente srl

ELAB G. Luciani

VERIFICA A. Morelli

APPROV. P. Chiara