

ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.r.l.

MONTEBELLUNA



**REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN ATTRAVERSAMENTO
DEL FIUME SILE E DELLA LINEA FERROVIARIA
TREVISO-UDINE A RIDOSSO DI PONTE DELLA GOBBA
IN COMUNE DI TREVISO**

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

Tavola n.

R15.01

**RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA SULLE INDAGINI
GEOFISICHE GEOELETRICHE**

ALTO TREVIGIANO SERVIZI S.R.L.



DIRETTORE - ing. Roberto Durigon
via Schiavonesca Priula, 86 - 31044 Montebelluna (TV)
Servizio Tecnico: UFFICIO NUOVE OPERE
tel. 0423-2928
fax 0423-292929
info@altotrevigianoservizi.it

PROGETTAZIONE



ing. Andrea Mazzetti - Enki s.r.l.

viale G.B. Lulli, 62 - 50144 Firenze
T. 055.3247209
info@enki.it

Data:

Novembre 2021

Aggiornato:

00

Codice Piano d'Ambito:

Codice commessa:

SOMMARIO RELAZIONE TECNICA INTERPRETATIVA

SOMMARIO RELAZIONE TECNICA INTERPRETATIVA.....	3
INDICE FIGURE E TABELLE RELAZIONE TECNICA.....	4
INDICE FIGURE E TABELLE ALLEGATO TECNICO.....	6
INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO E FATTIBILITA' MICROTUNNELING	7
1 Introduzione	7
1.1 Premesse.....	7
1.2 Contesto	7
1.3 Scopo delle indagini	9
1.4 Scelta delle zone oggetto delle indagini	11
1.5 Descrizione dei contenuti della relazione	12
1.6 Riferimenti all'esecutore delle indagini geognostiche	12
2 Caratterizzazione sismica	13
2.1 Sismica a rifrazione.....	13
2.2 Tomografia sismica in onde P ed SH	15
2.3 Strumentazione e metodologia per sismica a rifrazione e tecnica tomografica...	16
3 Caratterizzazione geoelettrica.....	18
3.1 Prospezione geoelettrica multielettrodica	18
3.2 Polarizzazione indotta – Misure di caricabilità	19
3.3 Strumentazione e metodologia per stendimento geoelettrico e tecnica tomografica	21
4 Elaborazione dati e risultati	22
4.1 Elaborazione dei dati sismici con metodi a rifrazione	22
4.2 Elaborazione dei dati sismici con tecnica tomografica.....	24
4.3 Elaborazione dei dati geoelettrici	25
4.4 Conclusioni	27
5 Taratura dei dati geofisici, geoelettrici e sismici, con i risultati delle indagini geognostiche	28
5.1 Descrizione del processo di correlazione e taratura dei dati geofisici con risultati delle indagini geognostiche	28
5.2 Processo di taratura dei dati geofisici.....	29
5.3 Caratterizzazione geomeccanica quantitativa	30
6 Glossario	32
7 Riferimenti normativi e bibliografici.....	33

7.1	Riferimenti normativi e specifiche tecniche.....	33
7.2	Riferimenti bibliografici.....	33

ALLEGATO TECNICO 1 - SPECIFICHE TECNICHE STRUMENTI, SENSORI, SOFTWARE DI ACQUISIZIONE ED ANALISI	36
---	----

ALLEGATO TECNICO 2 – RISULTATI OTTENUTI DALLE STESE SISMICHE A RIFRAZIONE	43
--	----

I. ALLEGATO GRAFICO: STESA SISMICA SP01 ONDE P E SH – TOMOGRAFIA - SISMOGRAMMA – SPETTRO E CURVA DISPERSIONE – RISULTATI MODELLO - STRATIGRAFIA – PROFILO Vs	44
--	----

II. ALLEGATO GRAFICO: STESA SISMICA SP02 ONDE P – TOMOGRAFIA	48
--	----

ALLEGATO TECNICO 3 – RISULTATI OTTENUTI DALLE STESE GEOELETTRICHE....	51
---	----

III. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINE GEOELETTRICA MULTIELETTRODICA ERT01 CON DISPOSIZIONE WENNER – TOMOGRAFIA 2D DELLA RESISTIVITA' E DELLA POLARIZZAZIONE INDOTTA – TOMOGRAFIE ERT 2D.....	52
--	----

IV. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINE GEOELETTRICA MULTIELETTRODICA ERT02 CON DISPOSIZIONE WENNER – TOMOGRAFIA 2D DELLA RESISTIVITA' E DELLA POLARIZZAZIONE INDOTTA – TOMOGRAFIE ERT 2D.....	56
---	----

V. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINE GEOELETTRICA MULTIELETTRODICA ERT03 CON DISPOSIZIONE WENNER – TOMOGRAFIA 2D DELLA RESISTIVITA' E DELLA POLARIZZAZIONE INDOTTA – TOMOGRAFIE ERT 2D.....	60
--	----

VI. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINE GEOELETTRICA MULTIELETTRODICA ERT04 CON DISPOSIZIONE WENNER – TOMOGRAFIA 2D DELLA RESISTIVITA' E DELLA POLARIZZAZIONE INDOTTA – TOMOGRAFIE ERT 2D.....	64
---	----

VII. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINE GEOELETTRICA MULTIELETTRODICA ERT05 CON DISPOSIZIONE WENNER – TOMOGRAFIA 2D DELLA RESISTIVITA' E DELLA POLARIZZAZIONE INDOTTA – TOMOGRAFIE ERT 2D.....	68
--	----

* * *

INDICE FIGURE E TABELLE RELAZIONE TECNICA

Figura 1-1 Planimetria generale delle indagini	8
Figura 2-1: Schema acquisizioni prospezioni sismiche	17
Figura 3-1: Fenomeno della Polarizzazione indotta	20

Figura 4-1: Confronto shot break primi arrivi e dromocrone	24
--	----

Tabella 1-1: Individuazione delle zone di indagine e delle indagini geofisiche e geognostiche	11
---	----

Tabella 2-1: Riepilogo geometria prospezioni sismiche	17
---	----

Tabella 2-2: Distanze punti di energizzazione dal primo geofono	17
---	----

Tabella 3-1: Riepilogo geometria stendimenti geoelettrici	19
---	----

Tabella 4-1 Elettrolitotipi caratterizzanti l'area oggetto di indagine.....	27
---	----

Tabella 5-1: elaborati grafici associati ai risultati delle indagini geognostiche eseguite	30
--	----

INDICE FIGURE E TABELLE ALLEGATO TECNICO

Allegato 1. 1: Sismografo Summit.....	37
Allegato 1. 2: Specifiche tecniche Sismografo Summit	38
Allegato 1. 3: Specifiche tecniche geofoni orizzontali 10 Hz – SENSOR NEDERLAND	39
Allegato 1. 4: Specifiche tecniche geofoni verticali 14 Hz – GEOSPACE.....	40
Allegato 1. 5: Specifiche tecniche geofoni verticali 4.5 Hz – RTC CLARK.....	41
Allegato 1. 6: Software Rayfract ver. 3.24 per tomografia sismica	42
INDICE FIGURE E TABELLE ALLEGATI GRAFICI	
Fig. I-1: Ripresa fotografica ed inquadramento scala	45
Fig. I-2: Stesa sismica SP01 – ONDE P – Tomografia sismica	46
Fig. I-3: Stesa sismica SP01 – ONDE SH – Tomografia sismica	47
Fig. II-1: Ripresa fotografica ed inquadramento	49
.....	50
Fig. II-2: Stesa sismica ST02 ONDE P– Tomografia sismica	50
Fig. III-1: Ripresa fotografica ed inquadramento	53
Fig. III-2: ERT01– Tomografie geoelettriche ERT2D Wenner di resistività	54
Fig. III-3: ERT01– Tomografie geoelettriche ERT2D Polarizzazione Indotta	54
Fig. III-4: ERT01– Tomografie geoelettriche ERT2D Polo-Dipolo di resistività	55
Fig. IV-1: Ripresa fotografica ed inquadramento.....	57
Fig. IV-2: ERT02– Tomografie geoelettriche ERT2D Wenner di resistività.....	58
Fig. IV-3: ERT02– Tomografie geoelettriche ERT2D Polarizzazione Indotta.....	58
Fig. IV-4: ERT02 – Tomografie geoelettriche ERT2D Polo-Dipolo di resistività.....	59
Fig. V-1: Ripresa fotografica ed inquadramento.....	61
Fig. V-2: ERT03– Tomografie geoelettriche ERT2D Wenner di resistività.....	62
Fig. V-3: ERT03– Tomografie geoelettriche ERT2D Polarizzazione Indotta.....	62
Fig. V-4: ERT03– Tomografie geoelettriche ERT2D Polo-Dipolo di resistività.....	63
Fig. VI-1: Ripresa fotografica ed inquadramento.....	65
Fig. VI-2: ERT04– Tomografie geoelettriche ERT2D Wenner di resistività.....	66
Fig. VI-3: ERT04– Tomografie geoelettriche ERT2D Polarizzazione Indotta.....	66
Fig. VI-4: ERT04 – Tomografie geoelettriche ERT2D Polo-Dipolo di resistività.....	67
Fig. VII-1: Ripresa fotografica ed inquadramento.....	69
Fig. VII-2: ERT05 – Tomografie geoelettriche ERT2D Wenner di resistività.....	70
Fig. VII-3: ERT05– Tomografie geoelettriche ERT2D Polarizzazione Indotta.....	70
Fig. VII-4: ERT05 – Tomografie geoelettriche ERT2D Polo-Dipolo di resistività.....	71

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO E FATTIBILITA' MICROTUNNELING

1 Introduzione

1.1 Premesse

Ai fini della valutazione della fattibilità di una serie di opere in microtunneling, si riportano di seguito i risultati di una campagna di indagini geofisiche integrate, mirate alla caratterizzazione del sottosuolo interessato dalla realizzazione delle opere in oggetto.

In particolare si è trattato di una campagna di geoelettrica multielettrodoica con restituzione di tomografie geoelettriche 2D, che ha permesso di caratterizzare il sottosuolo in termini di comportamento geomeccanico rispetto alle operazioni di perforazione, e relativamente all'individuazione di eventuali strutture antropiche nel sottosuolo.

1.2 Contesto

Le opere in microtunneling oggetto di indagine fanno parte di un più grande progetto, relativo alla realizzazione di un nuovo collettore fognario nel Comune di Treviso (TV). In particolare le indagini effettuate nell'ambito di questo studio riguarderanno il tratto di collettore fognario in attraversamento al fiume Sile e della linea ferroviaria Treviso-Udine a ridosso di ponte della Gobba.

Ai fini delle indagini i tratti indagati sono stati divisi nelle seguenti zone:

- Zona A Sponda destra Fiume Sile.
- Zona B Sponda sinistra Fiume Sile.

Nella Figura e negli elaborati grafici A12.01 – A12.02 – A12.03 – A12.04 – A12.05 – A12.06, sono riportati il tracciato delle zone indagate e la giacitura degli stendimenti geoelettrici e sismici oltre che i risultati ottenuti.

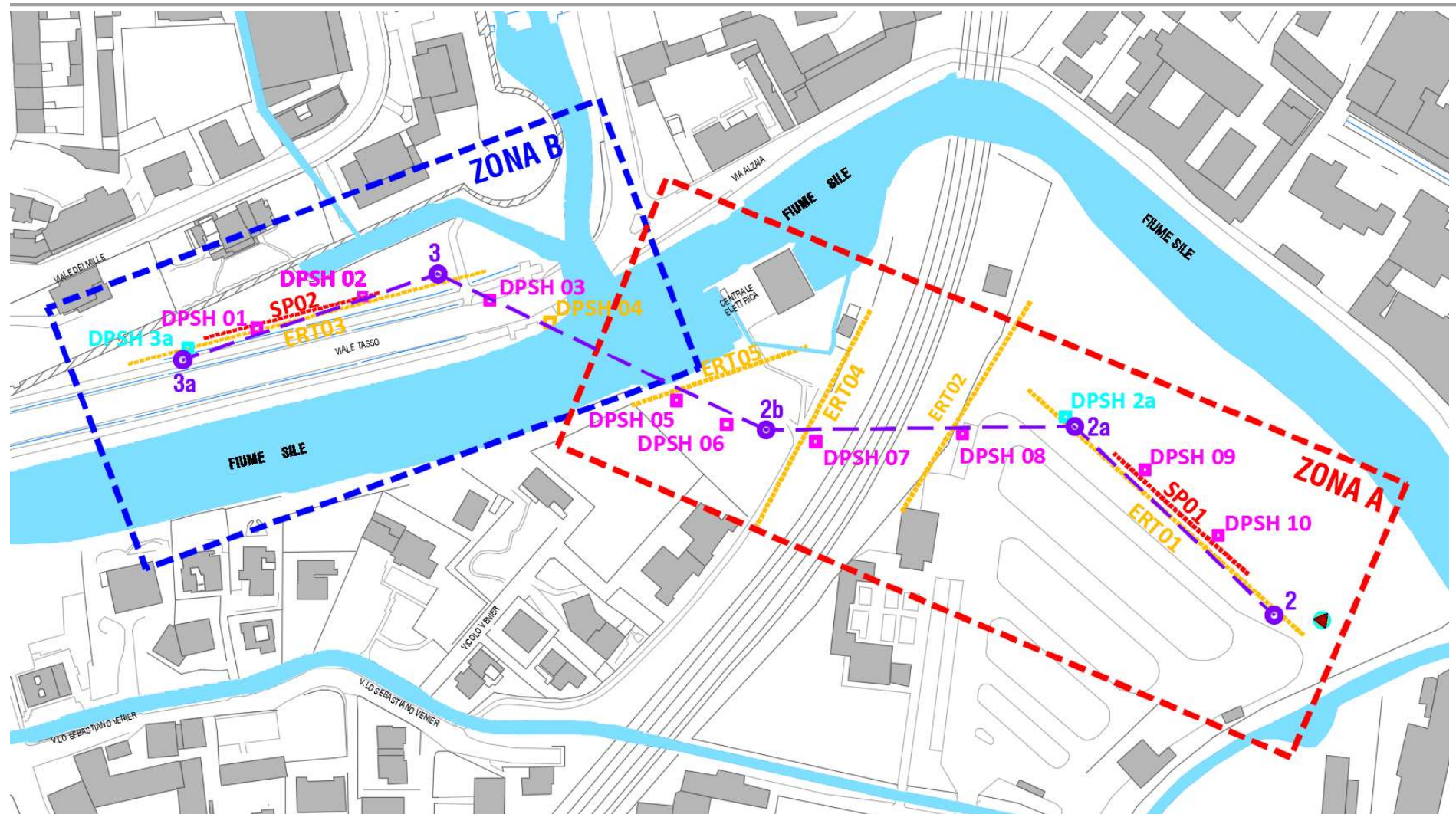


Figura 1-1 Planimetria generale delle indagini

1.3 Scopo delle indagini

La corretta esecuzione di opere di microtunnelling richiede un'attenta caratterizzazione degli orizzonti geotecnici interessati dalle suddette opere.

Tramite opportune indagini si possono infatti evidenziare i profili stratigrafici, le caratteristiche idrauliche e meccaniche del terreno e le condizioni della falda, rilevando inoltre eventuali strutture e corpi sepolti e/o sottoservizi non mappati.

Le indagini da effettuare in situ sono di due tipologie:

- **Geognostiche** (ad esempio sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo e prove penetrometriche)
- Geofisiche.

Le tecniche di indagini **geognostiche**, sono di tipo puntuale e restituiscono la grandezza della variabile misurata solamente nell'intorno del punto di campionamento.

Le tecniche **geofisiche**, sono invece di tipo volumetrico e non invasivo, restituiscono cioè la grandezza della variabile misurata mediata su elevati volumi di terreno.

E' evidente che ricorrendo in forma **complementare e correlata** alle diverse tecniche di indagine si ottengono notevoli vantaggi nella qualità delle informazioni ottenute sul sito investigato e nell'impiego ottimizzato di risorse economiche ed umane.

Le tecniche di indagine integrate citate sono in grado di fornire al tecnico progettista delle informazioni sulla modalità e sulla tecnica di realizzazione di opere microtunnelling rispetto al contesto geologico e geotecnico in cui sono inserite, permettendo a priori una valutazione della fattibilità dell'esecuzione dei lavori.

Le tecniche di indagine geofisiche si prefigurano quindi come un supporto informativo utilizzabile nelle redazione di progetti di microtunnelling.

Ai fini della **caratterizzazione litostratigrafica** di un'area la realizzazione di:

- **Prospezioni geofisiche con metodo Geoelettrico Multielettrodico (ERT)**, permettono di ottenere delle pseudosezioni verticali di **resistività e caricabilità** dell'area (tomografie geoelettriche di resistività e caricabilità);
- **Prospezioni geofisiche con metodo Sismico a Rifrazione**, permettono di ottenere delle pseudosezioni verticali di velocità di propagazione delle longitudinali e trasversali per determinare spessori e andamento dei livelli presenti (tomografie sismica delle velocità)
- **Sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo e prove geognostiche in situ**, permettono la determinazione dei profili litostratigrafici e i principali parametrici geotecnici;
- **Prove penetrometriche**, permettono la determinazione di parametri geomeccanica del terreno di dettaglio.

La campagna di prospezione geofisica può essere propedeutica all'eventuale campagna di prospezione geognostica, in modo che l'elaborazione congiunta ed integrata dei dati ottenuti:

-
- dalla serie dei profili geoelettrici multielettrodi di resistività e caricabilità;
 - dalle **indagini dirette e indirette geognostiche mirate ed ottimizzate**, in tempi e costi, in base ai risultati dalle indagini geofisiche;
- potrà permettere la:
- Ricostruzione del profilo litostratigrafico con individuazione del bedrock e/o di trovanti;
 - Parametrizzazione del comportamento meccanico dei terreni;
 - Caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce lungo la giacitura dell'opera in microtunnelling;
 - Stima del livello della falda idrica;
 - Individuazione di eventuali oggetti sepolti quali ad esempio corpi metallici, strutture sepolte non conosciute e/o sottoservizi non mappati.
- .

1.4 Scelta delle zone oggetto delle indagini

Con riferimento al tracciato riportato nel Progetto Definitivo-Esecutivo, le indagini in campo hanno previsto, per quanto possibile, una copertura integrale della giacitura delle opere in microtunneling, così come indicate nella successiva Tabella 1-1 che fornisce gli elementi significativi per le 2 zone di indagine sul terreno. Le indagini geoelettriche sono state eseguite per quanto possibile con una giacitura parallela/subparallela e limitrofa al tracciato delle opere in microtunneling, ove per la presenza di manufatti e/o assetti morfologici non è stato possibile indagare in corrispondenza del tracciato delle opere, le stese geoelettriche sono state realizzate il più possibile vicine alla tratta di interesse.

Tabella 1-1: Individuazione delle zone di indagine e delle indagini geofisiche e geognostiche

Zona	Stendimenti Elettrici	Stendimenti Sismici	Sondaggi	Penetrometriche
A	ERT01 ERT02 ERT04 ERT05	SP01 - ONDE P e SH	S2 (2019) S2b (2019)	DPSH10 (2020) DPSH9 (2020) DPSH2a (2019) DPSH8 (2020) DPSH7 (2020) DPSH6 (2020) DPSH5 (2020)
B	ERT03	SP02 - ONDE P e SH	S3 (2019)	DPSH4 (2020) DPSH3 (2020) DPSH2 (2020) DPSH1 (2020) DPSH3a (2019)

1.5 Descrizione dei contenuti della relazione

La presente relazione illustrerà la metodologia, la strumentazione utilizzata ed i risultati ottenuti con la campagna di prospezione geofisica geoelettrica, a supporto della caratterizzazione geomeccanica del sottosuolo relativamente alle tre zone di indagine.

Dopo un quadro delle tecniche di indagine riportate nel Capitolo 2 (Indagini sismiche) e nel capitolo 3 (indagini geoelettriche), si riporta nel Capitolo 4 le elaborazioni dei dati geofisici le modalità di interpretazione ed analisi integrate e correlate dei dati geoelettrici-sismici acquisiti.

Glossario e riferimenti sono forniti rispettivamente nei capitoli 6 e 7.

Il documento è poi completato con cinque allegati contenenti rispettivamente:

- ALLEGATO TECNICO , in cui sono riportate le specifiche tecniche degli strumenti, dei sensori e dei software di acquisizione ed analisi utilizzati;
- ALLEGATI GRAFICI, in cui sono riportati in dettaglio l'inquadramento, i dati acquisiti, la loro elaborazione ed i risultati ottenuti, in particolare stese sismiche a rifrazione;
- ALLEGATO GRAFICI in cui sono riportate le tomografie 2D della resistività e della polarizzazione indotta relative alle stese geoelettriche.
- ALLEGATO FOTOGRAFICO in cui è raccolta la documentazione fotografica delle indagini;
- TAVOLE:
 - A12.01 INDAGINI GEOFISICHE- STENDIMENTO GEOLETTRICO ERT01
 - A12.02 INDAGINI GEOFISICHE- STENDIMENTO GEOLETTRICO ERT02
 - A12.03 INDAGINI GEOFISICHE- STENDIMENTO GEOLETTRICO ERT03
 - A12.04 INDAGINI GEOFISICHE- STENDIMENTO GEOLETTRICO ERT04
 - A12.05 INDAGINI GEOFISICHE- STENDIMENTO GEOLETTRICO ERT05
 - A12.06 INDAGINI GEOFISICHE- STENDIMENTI SISMICI SP01 E SP02

1.6 Riferimenti all'esecutore delle indagini geognostiche

Si riporta di seguito le imprese esecutrici delle indagini geognostiche:

- Indagini geognostiche eseguite dall'impresa GEORICERCHE s.r.l. di Padova (Anno 2019)
- Indagini geognostiche eseguite dall'impresa GEORICERCHE s.r.l. di Padova (Anno 2020)
- Indagini geognostiche in alveo eseguite dall'impresa GEOLOGIA TECNICA SAS. di Este - Padova (Anno 2021)
-

2 Caratterizzazione sismica

Ai fini di una completa caratterizzazione sismica delle aree oggetto di indagine, i dati sono stati acquisiti secondo modalità che hanno permesso l'inversione ed interpretazione sequenziale e correlata, secondo diverse tecniche di cui:

1. Sismica a rifrazione e tomografia sismica con restituzione di sismostrati secondo metodi classici di elaborazione a rifrazione, Plus-Minus, Wavefront e CMP "Intercept Time Refraction", e profilo tomografico 2D delle onde di compressione Vp;
2. Sismica a rifrazione e tomografia sismica con restituzione di sismostrati secondo metodi classici di elaborazione a rifrazione, Plus-Minus, Wavefront e CMP "Intercept Time Refraction", e profilo tomografico 2D delle onde di taglio SH;

2.1 Sismica a rifrazione

Le onde elastiche provocate da una vibrazione si trasmettono nel suolo con velocità differenti per ogni litotipo, per cui nella prospezione sismica a rifrazione, si sfrutta la diversa velocità di propagazione delle onde longitudinali (onde P o "di compressione e dilatazione") o trasversali (onde SH o "di taglio") per determinare spessori e andamento dei livelli presenti.

La tecnica di indagine consiste nel generare un'onda sismica di compressione o di taglio nel terreno attraverso una determinata sorgente di energia (colpo di mazza o di maglio, esplosivo etc.) e nel misurare il tempo impiegato da detta onda a compiere il percorso nel sottosuolo dal punto di energizzazione fino ai sensori di rilevazione (geofoni) secondo le leggi di rifrazione dell'ottica (Legge di Snell), nel rifrangendosi sulle superfici di separazione tra due strati sovrapposti di densità (o meglio di modulo elastico) crescente.

La rifrazione si basa sull'analisi, secondo diversi modelli dei primi arrivi rispetto a geofoni posti a distanze diverse dalla sorgente energizzante, per ricostruire una serie di curve tempo-distanza (dromocrone).

Attraverso metodi analitici si ricavano quindi le velocità delle onde elastiche longitudinali (Vp) o trasversali (Vs) dei mezzi attraversati ed il loro spessore.

La velocità di propagazione delle onde elastiche nel suolo è compresa tra larghi limiti.

Per lo stesso tipo di materiale, può variare in funzione di numerosi parametri quali il grado di alterazione, di fessurazione e/o di fratturazione per i materiali litoidi, ed in funzione dello stato di consistenza/addensamento, grado di saturazione, per i materiali granulari e fini.

Sensibili differenze si possono avere, anche con riferimento all'assetto morfologico rispetto alle velocità rilevate lungo i piani di strato e quelle rilevate perpendicolarmente a questi.

Inoltre, la velocità delle onde P compressionali, rispetto alle SH trasversali, è fortemente influenzata dalla presenza di eventuale acquifero e/o dal grado di saturazione.

Questo comporta che anche litotipi differenti possano avere uguali velocità delle onde sismiche compressionali (ad esempio roccia fortemente fratturata e materiale detritico saturo con velocità V_p dell'ordine di $1400 \div 1700$ m/sec), per cui non necessariamente l'interpretazione sismostratigrafica corrisponderà con la reale situazione geologico-stratigrafica.

Il metodo sismico a rifrazione è soggetto inoltre alle seguenti limitazioni:

- a. un livello potrà essere evidenziato soltanto se la velocità di trasmissione delle onde longitudinali in esso risulterà superiore a quella dei livelli soprastanti (effetto della inversione di velocità);
- b. un livello di spessore limitato rispetto al passo dei geofoni e alla sua profondità può non risultare rilevabile;
- c. un livello di velocità intermedia compreso tra uno strato sovrastante a velocità minore ed uno sottostante a velocità sensibilmente maggiore può non risultare rilevabile perché mascherato dagli "arrivi" dallo strato sottostante (effetto dello strato nascosto e "zona oscura");
- d. aumentando la spaziatura tra i geofoni aumenta la profondità di investigazione, ma può ovviamente ridursi la precisione nella determinazione della profondità dei limiti di passaggio tra i diversi livelli individuati. In presenza di successioni di livelli con velocità (crescenti) di poco differenti tra loro, orizzonti a velocità intermedia con potenza sino anche ad $1/3$ del passo adottato possono non essere evidenziati. Il limite tra due orizzonti può quindi in realtà passare "attraverso" un terzo intermedio non evidenziabile;
- e. analogamente, incrementi graduali di velocità con la profondità danno origine a dromocrone che consentono più schemi interpretativi. Il possibile errore può essere più contenuto potendo disporre di sondaggi di taratura e "cercando" sulle dromocrone delle basi sismiche i livelli che abbiano velocità il più possibile simili a quelle ottenute con le tarature.

2.2 Tomografia sismica in onde P ed SH

La tomografia sismica, per raggi diretti, è una tecnica d'indagine che permette l'individuazione di anomalie nella velocità di propagazione delle onde sismiche con un potere risolutivo nettamente superiore ad altri metodi, offrendo la possibilità della ricostruzione, con elevato grado di qualità, di anomalie stratigrafiche, anche particolarmente complesse non risolvibili con differenti tecniche d'indagine.

Per le procedure di realizzazione di immagini tomografiche è necessario utilizzare un maggior numero di sorgenti di energizzazione e di punti di ricezione delle onde sismiche, che permettano una distribuzione dei raggi sismici omogenea e con una densità che viene predefinita in funzione del "target" da raggiungere.

Le tecniche operative possono essere molto diverse, si può infatti operare:

- a livello del piano di campagna disponendo i ricevitori (geofoni e idrofoni) ed i trasmettitori (punti di scoppio) su linee parallele;
- utilizzando due fori, residui di sondaggi geognostici, (tomografia cross-hole), dove previo opportuno condizionamento si alloggiano i ricevitori ed i trasmettitori;
- utilizzando un solo foro (sondaggio sismico tomografico), in cui sono alloggiati i ricevitori, eseguendo una serie di tiri a distanze crescenti dall'imboccatura del foro stesso.

Per il trattamento dei dati per la ricostruzione tomografica dell'immagine si utilizza una suddivisione dell'area di studio in celle elementari, calcolando per ciascuna di queste un valore di velocità congruente con il tempo di tragitto medio relativo ai percorsi dei raggi sismici che le attraversano; la presentazione delle elaborazioni eseguite dà come risultato una mappa della distribuzione delle velocità sismiche in una sezione piana contenente le sorgenti ed i geofoni.

Le classiche prospezioni sismiche si basano sul concetto che le onde acustiche si propagano nei diversi mezzi con velocità differenti.

Generando tali onde in un punto (detto di scoppio) e osservando i loro tempi di arrivo in altri punti predeterminati (detti di registrazione), è possibile ricostruire la distribuzione di velocità e con questa definire dal punto di vista elastico le aree oggetto di studio e individuare anomalie o corpi anomali.

L'applicazione della tecnica tomografica alle misure sismiche permette poi di ricostruire l'andamento di tale caratteristica fisica all'interno di una porzione di spazio non accessibile direttamente e di ottenere come risultati, immagini che visualizzano le non omogeneità incontrate nel mezzo.

Il risultato finale sarà la rappresentazione delle velocità (in m/s) per piani o sezioni indagate, poi ricostruite in 3D, secondo una scala cromatica prefissata, che in genere va dal blu (basse velocità) al magenta (alte velocità). Quanto più il mezzo attraversato dal suono è rigido e incompressibile, tanto maggiore sarà la sua velocità caratteristica.

Valori bassi della velocità mettono in evidenza la variazione negativa delle caratteristiche elastiche e meccaniche, indicando la presenza di un possibile deterioramento della struttura interna.

2.3 Strumentazione e metodologia per sismica a rifrazione e tecnica tomografica

La strumentazione impiegata per le indagini sismiche a rifrazione e per la tecnica tomografica è la seguente:

Onde P:

- Sismografo: amplificatore sismico DMT COMPACT a 24 canali con 24 bit di precisione nella conversione A/D;
- Sorgente: mazza triggerata da 8 kg su piastra di duralluminio e/o maglio battente e/o fucile sismico;
- Ricevitori: Geofoni ad asse verticale GEOSPACE GS-20DX 14 Hz;
- Tempo di campionamento: 1 ms;
- Periodo di acquisizione: 1024 campioni, pari a 1 s.

Onde SH:

- Sismografo: amplificatore sismico DMT COMPACT a 24 canali con 24 bit di precisione nella conversione A/D;
- Sorgente: mazza triggerata da 8 kg su trave in PEAD con battuta coniugata S1 e S2;
- Ricevitori: Geofoni ad asse orizzontale SM-6/U-B 10 Hz – SENSOR NEDERLAND b.v.;
- Tempo di campionamento: 1 ms;
- Periodo di acquisizione: 1024 campioni, pari a 1 s.

Sono state effettuate 15 prospezioni sismiche a rifrazione a 24 geofoni , in onde P e onde SH, come da schema seguente:

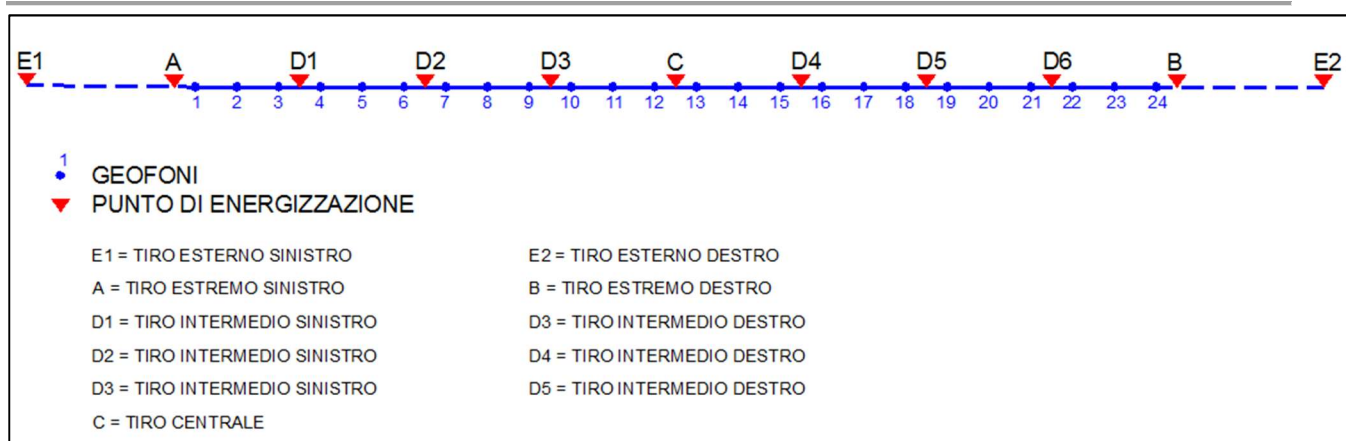


Figura 2-1: Schema acquisizioni prospezioni sismiche

Le lunghezze totali, le distanze intergeofoniche e le distanze dei punti di energizzazione rispetto al primo geofono per ognuna delle prospezioni sono riassunte nelle seguenti tabelle:

Tabella 2-1: Riepilogo geometria prospezioni sismiche

INDAGINE [n°]	DISTANZA INTERGEOFONICA [m]	LUNGHEZZA STENDIMENTO [m]
SP01	3	69
SP02	3	69

Tabella 2-2: Distanze punti di energizzazione dal primo geofono

	E1	A	D1	D2	D3	C	D4	D5	D6	B	E2
ST01 - PASSO 3 m	-15.0	-1.5	7.5	16.5	25.5	34.5	43.5	52.5	61.5	70.5	84.0
ST02 - PASSO 3 m	-15.0	-1.5	7.5	16.5	25.5	34.5	43.5	52.5	61.5	70.5	84.0

3 Caratterizzazione geoelettrica

3.1 Prospezione geoelettrica multielettrodica

La metodologia di indagine geofisica in particolar modo con le prospezioni geofisiche con metodo geoelettrico multielettrodico (ERT) permette di ottenere delle pseudosezioni di resistività dell'area (tomografie geoelettriche). Una pseudosezione elettrica è una rappresentazione bidimensionale delle grandezze geoelettriche dell'area indagata, in particolare viene evidenziato il valore di resistività apparente dei litotipi oggetto di indagine.

Il valore di **resistività** di un litotipo è funzione di numerosi parametri fisici quali le caratteristiche strutturali e tessiturali del mezzo, dalla presenza o meno di materiale fine e coesivo, e della presenza di fase fluida interstiziale, e dalla mobilità ionica dei sali e minerali disciolti nella fase fluida. Tali grandezze possono essere empiricamente valutate e correlate tramite una interpretazione integrata dei dati geofisici con i dati geognostici e delle prove di laboratorio, permettendo di addivenire ad una sorta di taratura dei parametri geoelettrici offrendo così al tecnico progettista uno strumento informativo di notevole valore ai fini di una corretta e attenta progettazione.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati è il **SYSCAL PRO della Iris Instruments**, si tratta di un georesistivimetro multielettrodico multicanale che permette di gestire stendimenti geoelettrici utilizzando contemporaneamente fino ad un massimo di 1024 elettrodi. Lo strumento è totalmente programmabile e consente di impostare i dispositivi elettrodici più congeniali alle condizioni ambientali del sito indagato.

L'acquisizione dei dati secondo la tecnica multielettrodica permette di ottenere delle pseudosezioni di resistività e/o caricabilità. Una pseudosezione evidenzia la distribuzione orizzontale e verticale dei valori di resistività e/o caricabilità.

Nell'area in oggetto i dispositivi elettrodici impiegati sono stati il **Wenner** ed il **Polo-Dipolo**.

Utilizzando assieme i due dispositivi si ottengono dati la cui interpretazione congiunta consente una comprensione migliore dei profili elettrostratigrafici del terreno indagato.

Il dispositivo Wenner restituisce pseudosezioni con ottima risoluzione spaziale in senso orizzontale, mentre il dispositivo Dipolo/dipolo restituisce pseudosezioni con ottima risoluzione spaziale in senso verticale.

A riguardo della profondità di investigazione e copertura laterale dei profili, la notevole letteratura esistente in merito e la Ns. diretta esperienza ci permette di indicare dei valori medi di tali grandezze.

Ponendoci nelle peggiori condizioni ambientali per la realizzazione delle prospezioni, possiamo ipotizzare che la profondità di investigazione sia generalmente intorno al 20% della lunghezza totale del profilo.

Nel caso ad esempio di un profilo lungo 47 m, è plausibile aspettarsi che la profondità di

investigazione sia intorno ai 7/8 m.

Riguardo alla copertura laterale del profilo è invece più difficile indicare dei valori medi attendibili. Ponendoci nuovamente nelle peggiori condizioni ambientali per la realizzazione delle prospezioni, possiamo quantificare la copertura laterale intorno al 5% della lunghezza totale del profilo. Per un profilo lungo 47 m, è ipotizzabile quindi ottenere una copertura laterale di circa 3 m.

La profondità di investigazione è inoltre dipendente dal tipo di dispositivo elettrodico utilizzato, dal numero di elettrodi, e dalle caratteristiche geoelettriche del suolo indagato.

Nell'area oggetto di studio sono stati realizzati:

- **Zona A**, stendimenti geoelettrici multielettrodici a 48 elettrodi in numero totale di 4 (ERT01 - ERT02 - ERT04 - ERT05). Tutti gli stendimenti hanno previsto l'acquisizione di dati con disposizione WENNER-SCHLUMBERGER con acquisizione di valori di resistività e caricabilità e POLO/DIPOLO con acquisizione di valori di resistività;
- **Zona B**, stendimenti geoelettrici multielettrodici a 48 elettrodi, in numero totale di 1 (ERT03). Tutti gli stendimenti hanno previsto l'acquisizione di dati con disposizione WENNER-SCHLUMBERGER con acquisizione di valori di resistività e caricabilità e POLO/DIPOLO con acquisizione di valori di resistività.

Le distanze interelettrodiche e le lunghezze totali degli stendimenti rispetto al primo elettrodo per ognuna delle prospezioni sono riassunte nelle seguenti tabelle:

Tabella 3-1: Riepilogo geometria stendimenti geoelettrici

INDAGINE [n°]	DISTANZA INTERELETTRODICA [m]	LUNGHEZZA STENDIMENTO [m]
ERT01	3	141
ERT02	2	94
ERT03	3	141
ERT04	2	94
ERT05	1.5	70.5

3.2 Polarizzazione indotta – Misure di caricabilità

Contemporaneamente all'acquisizione dei dati per la determinazione dei valori di resistività è possibile effettuare delle misure di polarizzazione indotta.

Il fenomeno della **polarizzazione indotta** è un'espressione delle complesse leggi che regolano il passaggio della corrente elettrica nei corpi conduttori; sinteticamente può essere indicato come la capacità del terreno ad immagazzinare la carica elettrica analogamente ad un condensatore.

Nel caso di materiale polarizzabile, si osserva infatti che al momento in cui viene interrotto il passaggio di corrente, la differenza di potenziale letta ai capi degli elettrodi non raggiunge immediatamente lo zero, ma permane per alcuni secondi o minuti ad una frazione del voltaggio a cui fluiva inizialmente la corrente di energizzazione. Tale comportamento, una sorta di "inerzia elettrica", viene definito appunto polarizzazione indotta.

Sperimentalmente è stato osservato che i metalli, i terreni argillosi, gli idrocarburi e i composti organici in genere sono facilmente polarizzabili, permettendo quindi di discriminare la loro presenza nei siti indagati.

Lo strumento da noi utilizzato per la prospezione è il SYSCAL PRO della Iris Instruments che restituisce come misura della polarizzazione indotta il parametro caricabilità.

La caricabilità è così definita:

$$(M_{t_1, t_2}^T) = \frac{1}{V} \int_{t_1}^{t_2} \Delta V_{IP} dt$$

dove

t_1, t_2 , tempi di integrazione

V , la tensione al momento dell'interruzione della corrente

ΔV , valore della tensione al momento del campionamento.

ΔV è espressa in millivolts, V in volt e t in secondi, dimensionalmente quindi la caricabilità è espressa in millisecondi.

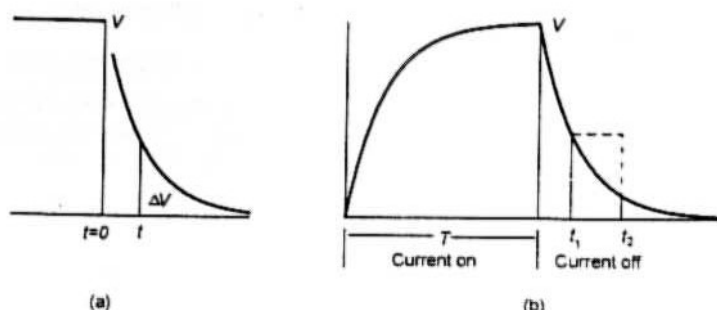


Figura 3-1: Fenomeno della Polarizzazione indotta

Di particolare interesse per le caratteristiche dell'area da indagare, le misure di caricabilità permettono di discriminare la presenza di disomogeneità litostratigrafiche orizzontali e/o verticali caratterizzate dalla presenza di terreni argillosi polarizzabili, alla presenza di interfacce tra terreni a

diverso contenuto di fase fluida interstiziale, o alla presenza di componenti matriciali di origine fine e coesiva.

3.3 Strumentazione e metodologia per stendimento geoelettrico e tecnica tomografica

La strumentazione impiegata per le indagini geoelettriche e per la tecnica tomografica è la seguente:

- Georesistivimetro: il **SYSCAL PRO della Iris Instruments**, si tratta di un georesistivimetro multielettrodo multicanale che permette di gestire stendimenti geoelettrici utilizzando contemporaneamente fino ad un massimo di 1024 elettrodi.

4 Elaborazione dati e risultati

4.1 Elaborazione dei dati sismici con metodi a rifrazione

Per l'elaborazione dei dati sismici, è stato utilizzato il software Rayfract 3.35 2016, che consente di elaborare i dati secondo diverse tecniche.

Ottenuti i primi arrivi, le dromocrone ricavate dall'interprete vengono elaborate sulla base di tre distinte metodologie analitiche:

- CMP (Intercept Time Refraction, Rühl, 1995);
- Plus-Minus;
- Wavefront (M ALI AK, 2006).

Il metodo Wavefront rappresenta un'importante ottimizzazione del metodo GRM, in quanto invece di assumere come costante la distanza XY tra i vari ricevitori, il metodo Wavefront stima per ogni geofono la distanza ottimale rispetto agli altri, attraverso l'analisi dell'angolo d'emergenza del fronte d'onda sia diretto che inverso.

Tale caratteristica permette di analizzare, con ottimi risultati, anche rifrattori con superfici irregolari e di ottenere risultati con migliore definizione specialmente in contesti con assetti morfologici complessi, sia in superficie che nel sottosuolo.

I risultati ottenuti con il Wavefront, vengono comunque iterativamente correlati/comparati con quelli ottenuti con l'elaborazione CMP Intercept Time Refraction (Rühl, 1995).

Il CMP consente, infatti, di ricostruire la morfologia sepolta di più rifrattori sovrapposti anche in presenza di morfologie di superficie non piane, e con una buona precisione raggiungibile, specie se si dispone di dati pregressi per affinare la correlazione.

I dati così ottenuti vengono definitivamente elaborati mediante metodologia tomografica che permette una stima migliore delle velocità, risultando meno dipendente dalla spaziatura dei ricevitori e da assetti morfologici superficiali complessi.

Schematicamente l'elaborazione dei dati, eseguita con il programma RAYFRACT 3.24 2013 (Intelligent Resources), si sviluppa attraverso le seguenti fasi:

1. determinazione dei primi arrivi;
2. determinazione delle dromocrone con individuazione dei tratti correlabili con rifrattori superficiali, intermedi e profondi, con picking dei cosiddetti punti di "branch"
3. determinazione di primo modello 1D delle velocità nel sottosuolo;
4. interpretazione iterativa e comparata secondo i seguenti metodi:
 - a. CMP Intercept Time Refraction (Rühl, 1995);
 - b. Plus-Minus;
 - c. Wavefront;
5. Determinazione del modello dei sismostrati ottimale;

-
6. output dei tabulati di cui:
 - a. dati di scoppio, ascissa e quota dei geofoni e dei punti di energizzazione, tempi di primo arrivo;
 - b. velocità e profondità calcolate per ciascun sismostrato individuato;
 7. elaborazione grafica delle dromocrone sismiche ;
 8. elaborazione grafica della sezione sismostratigrafica
 9. elaborazione grafica della tomografia sismica.

4.2 Elaborazione dei dati sismici con tecnica tomografica

Per l'inversione dei dati sismici acquisiti è stato utilizzato il software Rayfract ver. 3.35 2016, che è un software di tomografia sismica che impiega le soluzioni Eikonal per il calcolo dei tempi di percorso e per la modellazione della diffrazione, la rifrazione e la trasmissione delle onde sismiche.

Dopo il controllo visivo sulla qualità dei dati, si effettua un picking dei primi arrivi, in modo da ipotizzare un preliminare modello di velocità, che può essere migliorato attraverso successive iterazioni, in quanto la fase di calcolo si conclude quando si ha la migliore sovrapposizione fra i tempi di primo arrivo calcolati e quelli misurati.

Il processing dei dati, prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Travelttime), che permette il calcolo delle traiettorie d'onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell'equazione che esprime le modalità di propagazione di un'onda in un mezzo isotropo.

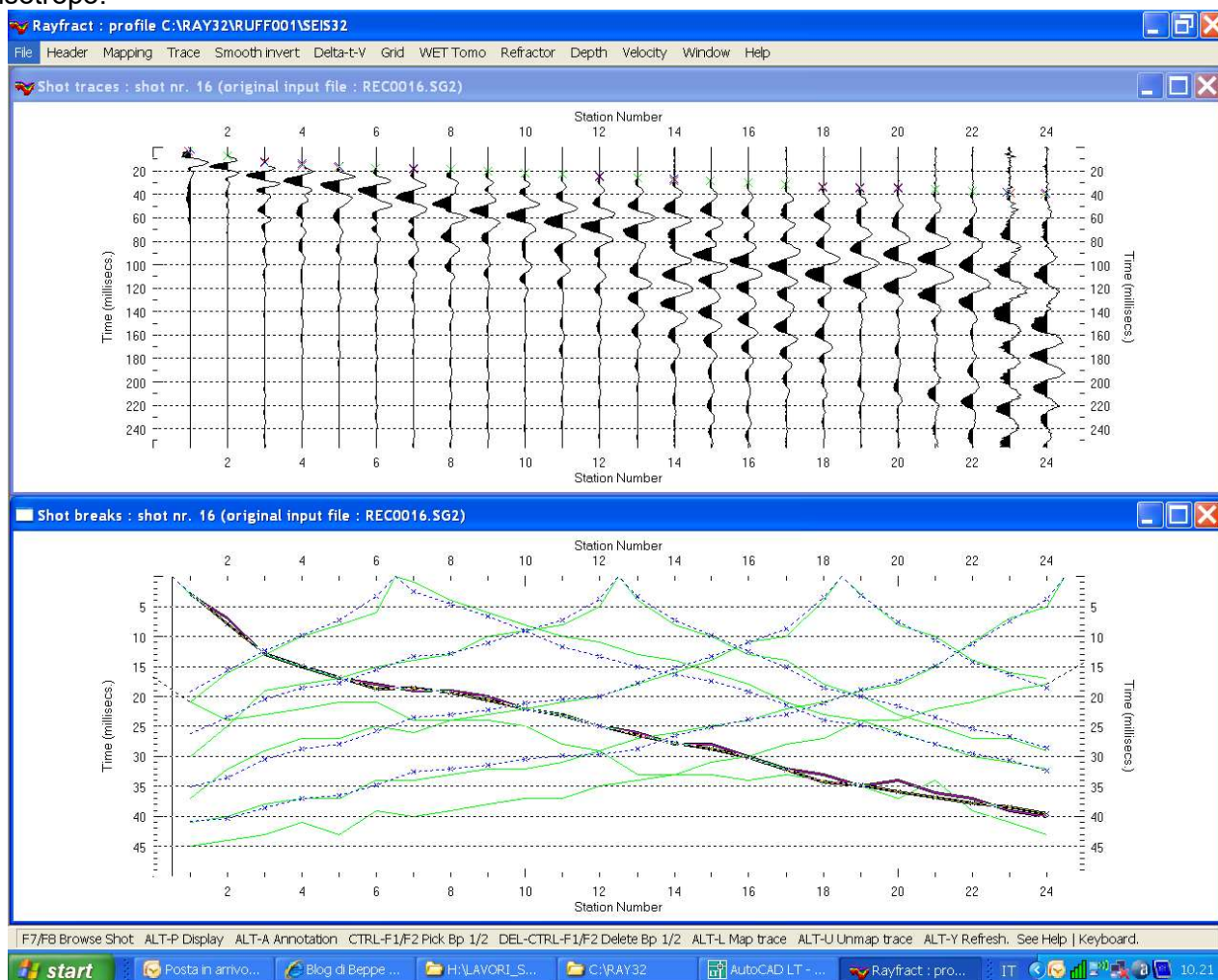


Figura 4-1: Confronto shot break primi arrivi e dromocrone

La tomografia WET modella i percorsi multipli della propagazione del segnale che

contribuiscono ad un primo arrivo.

Il procedimento Eikonale, usato per il calcolo dei tempi di percorso, modella la diffrazione, la rifrazione e la trasmissione delle onde sismiche.

Come conseguenza di ciò la capacità di fornire l'imaging di un'anomalia di velocità aumenta rispetto alla tomografia convenzionale del percorso di un raggio sismico.

I dati tomografici vengono quindi elaborati con un software di imaging, nel caso SURFER 9, che permette la visualizzazione secondo pseudosezioni verticali.

Relativamente ai risultati si rimanda agli allegati grafici che riportano in dettaglio le tomografie sismiche ottenute.

4.3 Elaborazione dei dati geoelettrici

Per l'elaborazione dei dati geoelettrici di resistività e polarizzazione indotta, è stato utilizzato il software Res2DInv 3.58 della Geotomo Software, che consente di elaborare i dati secondo diverse tecniche.

Il programma utilizza come tecnica d'inversione per ottenere il modello 2D di resistività e polarizzazione indotta il metodo ai minimi quadrati Gauss-Newton smoothness-constrained (Sasaki, 1992). E' completamente automatico e non richiede all'utente la formulazione di un modello di partenza. Il filtro di smoothing può essere regolato al fine di enfatizzare le variazioni di resistività relativa in senso verticale oppure orizzontale; possono essere inserite anche informazioni sulla resistività ottenute da altri tipi di indagini e sono disponibili tre differenti tecniche di correzione topografica (Loke 2000).

Per tutti gli stendimenti geoelettrici sono state eseguite misure di resistività (Rho) e di caricabilità (IP) utilizzando i dispositivi multielettrodi **Wenner** e **Polo-Dipolo**.

L'esecuzione degli stendimenti geoelettrici ha avuto come scopo l'evidenziazione dei profili litostratigrafici dei materiali esistenti nelle aree interessate, con particolare riguardo all'estensione dei vari livelli elettrostratigrafici ed alla possibile presenza di disomogeneità litogeologiche verticali.

Si sono sfruttate le caratteristiche di indagine volumetrica e di prossimità degli stendimenti geoelettrici che hanno quindi permesso di evidenziare ed ipotizzare i profili litostratigrafici dell'area di interesse.

Nelle tavole allegate alla presente relazione sono riportate le tomografie di resistività e polarizzazione indotta dei cinque stendimenti

Dall'interpretazione delle pseudosezioni geoelettriche si possono individuare diversi orizzonti elettrolitostratigrafici principali, comuni a tutta l'area indagata, nello specifico si evidenzia che, con riferimento ai seguenti stendimenti geoelettrici si possono individuare **3 livelli elettrolitostratigrafici** principali di resistività, e rare anomalie di caricabilità e resistività:

- Un elettrolitotipo superficiale denominato **A**, caratterizzato da valori di resistività compresi fra 90 Ωm e 200 Ωm , correlabile con litotipi di natura mista granulare/coesiva costituiti da **SABBIE e GHIAIE in matrice limoso-sabbiosa e limoso-argillosa, con variabile livello di saturazione e/o di componente fine, caratterizzate nel complesso da un basso livello di addensamento;**
- Un elettrolitotipo intermedio denominato **B**, caratterizzato da valori di resistività compresi fra 30 Ωm e 80 Ωm correlabili con litotipi che presentano una prevalenza di granulometria fine costituiti da **ARGILLE LIMOSE e/o LIMI ARGILLOSI con variabile livello di saturazione e/o di componente fine e coesiva, nel complesso caratterizzati da una bassa consistenza.**
- Un elettrolitotipo profondo denominato **C**, caratterizzato da valori di resistività inferiori a 90 Ωm correlabili con la presenza di litotipi che presentano una prevalenza di granulometrie grossolane, costituiti da **GHIAIE ETERODIMENSIONALI in matrice limoso-sabbiosa con variabile livello di saturazione e/o di componente fine e dotati nel complesso di media ed elevata consistenza.**

Le tomografie evidenziano alcune leggere anomalie geoelettriche di caricabilità e resistività, evidenziate nelle tomografie, che mostrano gradienti di resistività superiori a 100 Ωm e gradienti di caricabilità superiori a 30 ms, che sono correlabili con la presenza di materiale a diverso grado di addensamento, e/o con fenomeni naturali di amplificazione degli effetti di interfaccia geoelettrica tra litotipi di diversa natura, e/o variazioni benché localizzate della fase fluida interstiziale, e/o presenza di componenti matriciali di origine fine e coesiva.

4.4 Conclusioni

L'esecuzione della serie di indagini geofisiche integrate ha permesso la definizione dei principali elettrolitotipi caratterizzanti l'area oggetto di indagine, come meglio riportato nella tabella seguente.

Tabella 4-1 Elettrolitotipi caratterizzanti l'area oggetto di indagine

ELETTRO-LITOTIPO	DESCRIZIONE	Resistività (Ωm)	Caricabilità (ms)
A SUPERFICIALE	litotipi di natura mista granulare/coesiva costituiti da SABBIE e GHIAIE in matrice limoso-sabbiosa e limoso-argillosa, con variabile livello di saturazione e/o di componente fine, caratterizzate nel complesso da un basso livello di addensamento;	≥ 90 ≤ 200	
B INTERMEDIO	litotipi che presentano una prevalenza di granulometria fine costituiti da ARGILLE LIMOSE e/o LIMI ARGILLOSI con variabile livello di saturazione e/o di componente fine e coesiva, nel complesso caratterizzati da una bassa consistenza.	≥ 30 ≤ 80	
C PROFONDO	litotipi che presentano una prevalenza di granulometrie grossolane, costituiti da GHIAIE ETERODIMENSIONALI in matrice limoso-sabbiosa con variabile livello di saturazione e/o di componente fine e dotati nel complesso di media ed elevata consistenza.	≤ 90	
Anomalie di resistività e caricabilità (aree ad elevato gradiente)	Correlabili con la presenza di materiale a diverso grado di addensamento, e/o con fenomeni naturali di amplificazione degli effetti di interfaccia geoelettrica tra litotipi di diversa natura, e/o variazioni benché localizzate della fase fluida interstiziale, e/o presenza di componenti matriciali di origine fine e coesiva.	Gradiente di resistività e caricabilità	
		$\nabla \rho \geq 100$	$\nabla IP \geq 30$

5 Taratura dei dati geofisici, geoelettrici e simici, con i risultati delle indagini geognostiche

5.1 Descrizione del processo di correlazione e taratura dei dati geofisici con risultati delle indagini geognostiche

L'indagine geofisica, come evidenziato nei paragrafi precedenti, fornisce in prima istanza dei valori di resistività del terreno che possono essere interpretati solo in maniera relativa e qualitativa.

In riferimento ad ogni singolo stendimento vengono infatti evidenziate le anomalie da indagare e interpretare solo in base al contrasto di resistività e/o caricabilità.

La metodologia di interpretazione è quindi prevalentemente basata su considerazioni di tipo qualitativo.

L'esistenza di dati derivati da indagini di dettaglio sulle caratteristiche geomeccaniche dei litotipi indagati permette invece di porre in atto un processo di correlazione dei dati geofisici così da ottenere un'interpretazione quantitativa dei dati disponibili.

Nel caso in oggetto sono stati eseguiti cinque sondaggi geognostici con prove SPT effettuate a diverse profondità, quindi per la correlazione e la taratura dei dati geoelettrici si ricorre ai risultati ottenuti da queste prove.

In particolare, utilizzando formule empiriche desunte da indicazioni bibliografiche si ottiene una stima delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni utile ai nostri scopi.

Il modello costitutivo del terreno utilizzato inizialmente nel processo di inversione numerica dei dati geofisici è così definito:

- orizzonti litostratigrafici separati e delimitati, composti di materiale omogeneo ed isotropo;
- geometrie dei livelli elettrostratigrafici orizzontali;
- discretizzazione geometrica del terreno ai fini dell'inversione numerica in blocchi di dimensioni finite e numerabili (metodo di risoluzione agli elementi finiti).

Il modello numerico ottenuto descrive quindi un modello del sottosuolo in cui la presenza di eventuali anomalie resistive e/o forti contrasti e variazioni di resistività, sono da imputare a cambiamenti litologici quali stati di maggiore addensamento dei litotipi granulari, o variazione delle quantità percentuali di materiale litoide, quali ghiaie, ciottoli e/o trovanti, rispetto alla eventuale matrice incassante fine e/o granulare.

I parametri geomeccanici ottenuti dai risultati delle prove geognostiche permettono così di introdurre, nel processo di risoluzione numerica, degli elementi analitici in grado di permettere la valutazione dell'influenza degli elementi sovra descritti rispetto al valore di resistività osservato in situ con le indagini.

Sostanzialmente si introducono delle ulteriori equazioni costitutive nella forma di:

$$\rho_o = \alpha \rho_w \phi^{-m}$$

dove

- ρ_o , resistività del terreno;
- ρ_w , resistività del fluido interstiziale;
- α, m , coefficienti caratteristici del terreno oggetto di indagini derivati da valutazioni di tipo empirico sui risultati delle indagini geognostiche di dettaglio;
- ϕ , coefficiente di porosità del terreno.

In particolare durante l'analisi dei dati, in ragione dell'assetto idrogeologico dell'area indagata, si presuppone che non sussistano variazioni di tipo dinamico dei valori della resistività in seguito a variazioni percentuali delle quantità e qualità del fluido interstiziale (si ipotizza quindi che durante il periodo di esecuzione delle indagini geofisiche NON vi siano variazioni del livello di falda o di umidità nel terreno).

Ricorrendo quindi ad un codice di calcolo proprietario scritto in C++ ed utilizzando altresì delle routine di calcolo sviluppate in Matlab per l'elaborazione dei dati geofisici, si ipotizza un ulteriore modello costitutivo del terreno indagato, che grazie alla stima della serie di parametri e coefficienti prima descritti, permette di ipotizzare l'influenza della variazione di stati di addensamento dei litotipi, o della variazione delle quantità di materiale litoide quali ghiaie, ciottoli e/o trovanti, rispetto alla matrice incassante fine e coesiva e/o granulare.

Attualmente il processo di risoluzione numerica ha alti costi in termini computazionali e di impegno temporale, in quanto le routine di calcolo per l'integrazione delle equazioni costitutive non sono efficienti (per ogni tentativo di risoluzione si impiegano circa 12 ore macchina, e mediamente prima che la correlazione sia soddisfacente per ogni stendimento sono necessari 3 – 4 tentativi).

5.2 Processo di taratura dei dati geofisici

I dati geoelettrici relativi agli stendimenti sono stati correlati con i dati ottenuti dalle indagini sismiche, geognostiche e dalle prove SPT, permettendo di ipotizzare l'andamento degli orizzonti geomeccanici lungo la giacitura di ipotesi dell'opera in microtunneling.

Le ipotesi basate sulla correlazione dei dati geoelettrici, geotecnici e bibliografici hanno permesso di determinare dei valori dei parametri geomeccanici che sono stati utilizzati per stimare il peso da attribuire ai parametri delle equazioni costitutive del modello numerico del sottosuolo, in modo da ipotizzare il comportamento geomeccanico del terreno indagato, salvo evidenziare che in funzione dei bassi livelli di contrasto di resistività dei litotipi indagati il processo di inversione numerica ha mostrato alcuni problemi di convergenza, dato che la magnitudo dell'influenza, dovuta alla differenza dei valori di resistività, è comparabile in qualche caso al livello medio esistente di rumore geoelettrico di fondo.

Il processo di stima dei pesi ha comunque tenuto conto sia della tipologia dei litotipi indagati, differenziando in base ai valori di resistività attesi per il litotipo, la provenienza del dato da fonti bibliografiche e/o da pregresse indagini.

5.3 Caratterizzazione geomeccanica quantitativa

Nell'interpretazione dei dati è stato tenuto un approccio cautelativo e a favore di sicurezza, per cui, pur sussistendo la probabilità che alcune delle anomalie evidenziate si rivelino dei falsi positivi, si ritiene che i risultati ottenuti dal processo di correlazione permettono di affermare che nella totalità dei casi analizzati le variazioni dei valori di resistività e le anomalie resistive e di caricabilità evidenziate dagli stendimenti geoelettrici possono essere attribuite alla presenza di materiali con diverso grado di addensamento

Si deve comunque evidenziare che con riferimento alla quantificazione dimensionale delle anomalie, nel caso della presenza anche in bassa/bassissima percentuale di materiali fini e coesivi, questi amplificano notevolmente qualsiasi effetto di disturbo geoelettrico generato da disomogeneità elettrostratigrafiche anche localizzate e minute, e che quindi le dimensioni delle anomalie risultano sovradimensionate.

Inoltre, eventuali anomalie possono anche essere imputabili a variazione degli stati di addensamento dei litotipi indagati o alla variazione della quantità di materiale litoide o sublitoide, ghiaie e ciottoli disperse nella matrice incassante.

Negli elaborati grafici facenti parte del presente progetto si riportano per ogni zona indagata:

- Inquadramento cartografico di dettaglio dei sondaggi geognostici e degli stendimenti geoelettrici-sismici;
- I rapporti d'indagine delle prove penetrometriche e le stratigrafie dei sondaggi geognostici;
- Foto delle cassette dei sondaggi;

Si descrivono nella tabella che gli elaborati grafici associati alle indagini eseguite.

Tabella 5-1: elaborati grafici associati ai risultati delle indagini geognostiche eseguite

TAVOLA	TITOLO	DESCRIZIONE
A07.01	PROFILI STATIGRAFICI - GEOTECNICI STATO PROGETTO SPONDA SX SILE	ZONA B PROFILO LONGITUDINALE CON TOMOGRAFIE GEOELETTRICHE E INDAGINI GEOGNOSTICHE
A07.02	PROFILI STATIGRAFICI - GEOTECNICI STATO PROGETTO SPONDA DX SILE	ZONA A PROFILO LONGITUDINALE CON TOMOGRAFIE GEOELETTRICHE E INDAGINI GEOGNOSTICHE

A07.03	PROFILI STATIGRAFICI - INDAGINI GEOGNOSTICHE SPONDA SX SILE	ZONA B SONDAGGIO S3: STRATIGRAFIA E FOTO CASSETTE PROVE PENETROMETRICHE DPSH01, DPSH02, DPSH03, DPSH04, DPSH03a: RISULTATI PROVA – N COLPI
A07.04	PROFILI STATIGRAFICI - INDAGINI GEOGNOSTICHE SPONDA DX SILE	ZONA A SONDAGGI S2, S2b: STRATIGRAFIA E FOTO CASSETTE PROVE PENETROMETRICHE DPSH02a, DPSH05, DPSH06, DPSH07, DPSH08, DPSH09, DPSH10: RISULTATI PROVA – N COLPI
A07.11	SEZIONE GEOTECNICA INTERPRETATIVA ALVEO FIUME SILE	ATTRAVERSAMENTO SILE SONDAGGI S1, S2 E S3 IN ALVEO: STRATIGRAFIA E RISULTATI PROVE SPT EFFETTUATE IN FORO

6 Glossario

V_p	Velocità di propagazione delle onde di pressione
V_s	Velocità di propagazione delle onde di taglio
V_{s30}	Velocità di propagazione delle onde di taglio, media nei primi 30 m
V_{sv}	Componente verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio
V_{sh}	Componente orizzontale della velocità di propagazione delle onde di taglio
V_a	Velocità apparente di propagazione delle onde elastiche
V_r	Velocità reale di propagazione delle onde elastiche

t	Tempo
f	Frequenza
H	Spessore dello strato

Onde P Onde sismiche di pressione che sono le prime ad essere individuate in quanto le più veloci;

Onde S Onde sismiche di taglio

Battuta S1 Prima battuta contro piastra per generazione onde S, con direzione ad esempio E-W;

Battuta S2 Seconda battuta contro piastra, con direzione coniugata rispetto ad S1, ad esempio W-E, per determinazione di first break delle onde S

FIRST BREAK processo di interpretazione dei dati sismici per determinazione del primo arrivo delle onde sismiche, sia di tipo P che S;

ESAC Extended Spatial AutoCorrelation

MASW Multi-Channel Analysis Surface Waves

HVSR Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo Nakamura rapporto spettrale tra le componenti del orizzontale e verticale dei microtremori

Inversione.....Processo di fit per l'ottenimento di un modello sperimentale a partire da dati osservati, mediante il confronto iterativo delle differenze tra due serie di dati, definiti da un modello sperimentale (invertito) e da un modello diretto (sintetico).

MS Microzonazione Sismica

MOPS Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica

7 Riferimenti normativi e bibliografici

7.1 Riferimenti normativi e specifiche tecniche

- [1] Decreto Ministeriale Infrastrutture 17 gennaio 2018 “*Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*”, e indicato anche con N.T.C. nel presente documento.
- [2] Indirizzi e Criteri di microzonazione Sismica del Dipartimento della Protezione Civile Nazionale (ICMS) approvati il 13 novembre 2008 dalla conferenza delle Regioni e delle Province autonome;
- [3] Specifiche tecniche regionali: Allegato A alla DGRT n.261/2011, Appendice 1, Appendice 2
- [4] Istruzioni Tecniche per le indagini geologico-tecniche, geofisiche e geotecniche, statiche e dinamiche, finalizzate alla valutazione degli effetti locali nei comuni classificati sismici della Toscana - Programma VEL Toscana – Del. GRT. n. 1343 del 18 dicembre 2000 e s.m.e.i.

7.2 Riferimenti bibliografici

- [5] French Society for Trenchless Technology, ISTE Ltd 2006, Microtunneling and Horizontal Drilling Recommendations.
- [6] Maidl, B., Herrencknecht, M., Maidl, U. and Wehrmeyer, G., Ernst&Sohn 2012, Mechanised Shiel Tunnelling.
- [7] Chirulli, R., nodig.it 2011, Manuale di Tecnologie No-Dig.
- [8] Loke, M.H. and Dahlin, T., 2002. A comparison of Gauss-Newton and quasi-Newton methods in resistivity imaging inversion. *Journal of Applied Geophysics*, 49, 149-162.
- [9] Dahlin, T., Bernstone, C. and Loke, M.H., 2002, A 3D resistivity investigation of a contaminated site at Lernacken in Sweden. *Geophysics*, 60, 1682-1690
- [10] Marescot, L., Loke, M.H., Chapellier, D., Delaloye, R., Lambiel, C. and Reynard, E., 2003. Assessing reliability of 2D resistivity imaging in mountain permafrost studies using the depth of investigation index method. *Near Surface Geophysics*, 1, 57-68.
- [11] Loke, M.H., Acworth, I. and Dahlin, T., 2003. A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys. *Exploration Geophysics*, 34, 182-187.
- [12] Chambers, J.E, Loke, M.H., Ogilvy, R.D. and Meldrum, P.I., 2003. Non-invasive monitoring of DNAPL migration through a saturated porous medium using electrical impedance tomography. *Journal of Contaminant Hydrology*, 68, 1-22.
- [13] White, R.M.S., Collins, S. and Loke, M.H., 2003. Resistivity and IP arrays, optimised for data collection and inversion. *Exploration Geophysics*, 34, 229-232.
- [14] Loke, M.H. and Lane, J.W., 2004. Inversion of data from electrical resistivity imaging surveys in water-covered areas. *Exploration Geophysics*, 35, 266-271.

-
- [15] Nguyen, F., Pirard, E., Garambois, S., Jongmans, D. and Loke, M.H., 2005. Image processing of 2D resistivity data for imaging faults. *Journal of Applied Geophysics*, 57, 260-277.
- [16] Loke, M.H., Chambers, J.E. and Ogilvy, R. D., 2006. Inversion of 2-D spectral induced polarization imaging data. *Geophysical Prospecting*, 54, 287-301.
- [17] Tonkov, N. and Loke, M.H., 2006. A resistivity survey of a burial mound in the Valley of the Thracian Kings'. *Archaeological Prospection*, 13, 129-136.
- [18] Linderholm, P., Marescot, L., Loke, M.H. and Renaud, P., 2008. Cell Culture Imaging Using Microimpedance Tomography. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 55, 138-146.
- [19] Sjö Dahl, P., Dahlin, T., Johansson, S. and Loke, M.H., 2008. Resistivity monitoring for leakage and internal erosion detection at Hällby embankment dam. *Journal of Applied Geophysics*, 65, 155-164.
- [20] Hilbich, C., Marescot, L., Hauck, C., Loke, M.H. and Mäusbacher, R., 2009. Applicability of ERT Monitoring to Coarse Blocky and Ice-rich Permafrost Landforms. *Permafrost and Periglacial Process*, 20, 269-284.
- [21] Rucker, D.F., Loke, M.H., Levitt, M.T. and Noonan, G.E., 2010. Electrical Resistivity Characterization of an Industrial Site using Long Electrodes. *Geophysics*, 75, WA95-WA104.
- [22] Loke, M.H., Wilkinson, P.B. and Chambers, J.C., 2010. Fast computation of optimized electrode arrays for 2D resistivity surveys. *Computers & Geosciences*, 36, 1414-1426.
- [23] Loke, M.H., Wilkinson, P.B. and Chambers, J.C., 2010. Parallel computation of optimized arrays for 2-D electrical imaging surveys. *Geophysical Journal International*, 183, 1202-1315.
- [24] Chambers, J.E., Wilkinson, P.B., Wealhall, G.P., Loke, M.H., Dearden, R., Wilson, R., Ogilvy, R.D., 2010. Hydrogeophysical Imaging of Deposit Heterogeneity and Groundwater Chemistry Changes during DNAPL Source Zone Bioremediation. *Journal of Contaminant Hydrology*, 118, 43-61.
- [25] Loke, M.H., 2011. Electrical resistivity surveys and data interpretation. in Gupta, H (ed.), *Solid Earth Geophysics Encyclopaedia (2nd Edition)* "Electrical & Electromagnetic", Springer-Verlag, 276-283.
- [26] Loke, M.H., Chambers, J.E. and Kuras, O., 2011. Instrumentation, electrical resistivity. in Gupta, H (ed.), *Solid Earth Geophysics Encyclopaedia (2nd Edition)* "Electrical & Electromagnetic", Springer-Verlag, 599-604.
- [27] Rucker, D.F., Fink, J.B. and Loke, M.H., 2011. Environmental Monitoring of Leaks using Time Lapsed Long Electrode Electrical Resistivity. *Journal of Applied Geophysics*, 74, 242-254.
- [28] Rucker, D.F., Crook, N., Glaser, D. and Loke, M.H., 2012. Pilot-scale field validation
-

of the long electrode electrical resistivity tomography method. Geophysical Prospecting, in
press, doi: 10.1111/j.1365-2478.2011.01039.x

[29]

REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN
ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME SILE E
DELLA LINEA FERROVIARIA TREVISO-UDINE
A RIDOSSO DI PONTE DELLA GOBBA IN
COMUNE DI TREVISO

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI
CARATTERIZZAZIONE DEL
SOTTOSUOLO E FATTIBILITA'
MICROTUNNELING

ALLEGATO TECNICO 1 - SPECIFICHE TECNICHE STRUMENTI, SENSORI, SOFTWARE DI ACQUISIZIONE ED ANALISI



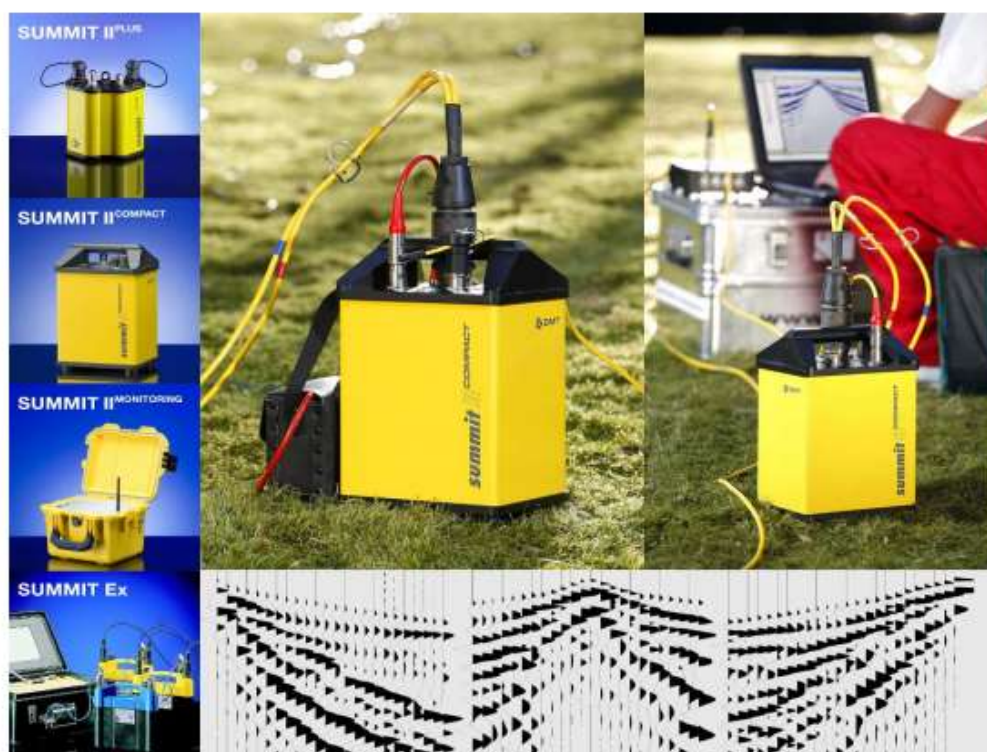
Summit II Compact

The Seismic 'Productivity System'!

The Summit II Compact is the most productive and robust seismic acquisition system for LVL measurements, borehole tomography, and VSP surveys: The twenty-four channel box in a solid metal casing with the Summit 'Plug & Trace' technology can be used in any environment for high speed production. The seismograph works as a stand alone system or several boxes can be linked together with the 'Snap-on' line cable to comprise a multi-channel seismic acquisition system.

Specialised for LVL and Engineering Seismics !

- Highest productivity due to its sophisticated system design
- For specialist applications such as LVL and engineering surveys
- Extremely robust, lightweight metal casing
- Supreme service via rapid reaction support hotline



Allegato 1. 1: Sismografo Summit

Technical Specifications			
Sample Interval	1/48, 1/32, 1/16, 1/8, 1/4, 1/2, 1, 2, 4, 8 ms	Analogue Anti-Alias Filter	7.2 kHz 6 dB/octave
Record Length	0.5 K samples, ..., 120 K samples	Analogue Low-Cut Filter	1 Hz 6 dB/octave
Preamp Gain	0 dB, 20 dB or 40 dB	Digital Anti-Alias Filter	0.8 x Nyquist
A/D Converter	24 bit delta sigma technology	Rejection at Nyquist Frequencies	-120 dB
Maximum Input Signal	2.0 Volt RMS 5.6 Volt peak to peak	Passband Ripple	+/- 0.05 dB
Input Impedance	20 kOhm	Built-In Test Functions	- Sine wave - Pulse - Instrument noise - Geophone step - Sweep transfer - Auto correlation - Cross correlation
Instantaneous Dynamic Range	≥ 120 dB @ 2 ms sampling interval	System Check	- Battery status - Equivalent input noise - Total harmonic distortion - Instantaneous dynamic range - Common mode rejection - Cross talk - Time accuracy
Equivalent Input Noise	Less than 0.3 µV RMS @ 2 ms sampling interval and 40 dB preamp gain	Geophone Check	- Impedance - Damping - Natural frequency - Noise - Leakage
Crosstalk	≥ 112 dB (between channels)	Subject to technical changes	
Total Harmonic Distortion	≤ 0.0008 %		
Common Mode Rejection Ratio	≥ 100 dB		
Gain Accuracy	Typical 1 % (between all channels)		
Time Accuracy	Typical 5 ppm (between all channels)		
Power Supply	+ 9 - 18 VDC @ 0.2 W / channel		
Dimensions	20.0 x 15.0 x 29.0 cm		
Weight	4.9 kg		

Environmental Specifications	
Operation Temperature	-30°C to + 70°C
Humidity Range	0 – 95 %
Case	Solid waterproof metal housing deployable in any surface environment

DMT GmbH & Co. KG
Exploration & Geosurvey

Am Technologiepark 1
45307 Essen, Germany

Phone +49 201-172-1970
Fax +49 201-172-1971
info.summit@dmf.de
www.summit-system.de

Member of TÜV NORD Group



Overall System Performance and Flexibility

Typical Shot Cycling Time

- 10 seconds @ 1 ms sampling rate
- 2 K trace length with 256 channels inclusive data storage; reduced by using multiple USB

Mobile System Control

- via easy to handle standard PC / Laptop

Cables

- Simple low cost two-conductor wire for Snap-on technology or alternatively configured four wire round cable

Connectors

- 55 pin plug input connector
- Snap-on connector or four-wired round cable
- USB 2.0

Allegato 1. 2: Specifiche tecniche Sismografo Summit

HORIZONTAL Geophones SM-6/U-B 10 Hz – SENSOR NEDERLAND b.v.

Specifications		INPUT/OUTPUT, INC.		
	SM-6/U-B			
Frequency				
Natural frequency (f_n)	8 Hz	10 Hz	14 Hz	
Tolerance	± 0.5 Hz	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	
Maximum tilt angle for specified f_n	20°	25°	25°	
Typical spurious frequency	150 Hz	170 Hz	190 Hz	
Distortion				
Distortion with 0.7 in/s p.p coil-to-case velocity	<0.2%	<0.2%	<0.2%	
Distortion measurement frequency	12 Hz	12 Hz	14 Hz	
Maximum tilt angle for distortion specification	15°	20°	20°	
Damping				
Open-circuit damping	0.315	0.25	0.18	
Damping calibration-shunt resistance	2,257 Ω	1,339 Ω	645 Ω	
Damping with shunt	0.6	0.6	0.6	
Tolerance with shunt	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	
Resistance				
Standard coil resistance	375 Ω	375 Ω	375 Ω	
Tolerance	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	
Sensitivity				
Open-circuit sensitivity	28.8 V/m/s	28.8 V/m/s	28.8 V/m/s	(0.73 V/in/s)
Tolerance	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%$	
$R_1 B_c f_n$	6,000 Ω Hz	6,000 Ω Hz	6,000 Ω Hz	
Moving mass	11.1 g	11.1 g	11.1 g	(0.39 oz)
Maximum coil excursion p.p.	4 mm	4 mm	4 mm	(0.16 in)
Physical Characteristics				
Diameter	25.4 mm	25.4 mm	25.4 mm	(1 in)
Height	36 mm	36 mm	36 mm	(1.42 in)
Weight	81 g	81 g	81 g	(2.85 oz)
Operating temperature range	-40°C to +100°C	-40°C to +100°C	-40°C to +100°C	(-40°F to +212°F)
Limited Warranty Period*				
2 years	2 years	2 years		
* Warranty excludes damage caused by high-voltage and physical damage to the element case.				
All parameters are specified at +20 °C in the vertical position unless otherwise stated.				

Allegato 1. 3: Specifiche tecniche geofoni orizzontali 10 Hz – SENSOR NEDERLAND

VERTICAL Geophones GEOSPACE GS-20DX 14 Hz

Specifications (All parameters are specified at temperature of 22°C)

- **FREQUENCY:**
- Natural Frequency (fn): 14Hz
- Tolerance: +/- 5%
- Max. tilt angle for specified fn: 10 degrees
- Typical spurious frequency: > 250Hz
- **DISTORTION:**
- Distortion: $\leq 0.22 \pm 10 \%$
- Distortion measurement frequency: 14Hz
- Max tilt angle for distortion specification: Vertical
- **COIL RESISTANCE:**
- Standard: 395ohm
- Tolerance: +/- 5%
- **SENSITIVITY:**
- Sensitivity: 0.28 V/m/s (0.698 V/in/s)
- Tolerance: +/- 7.5%
- Moving Mass: 11.2 g (0.395 oz)
- Maximum coil excursion p.p.: 1.52 mm (0.060 in)
- **PHYSICAL CHARACTERISTICS:**
- Diameter: 25.4 mm (1 in)
- Height: 33.0 mm (1.26 in)
- Weight: 86 g (3.03 oz)
- Operating temperature range: -45 Celcius to +100 Celcius

Allegato 1. 4: Specifiche tecniche geofoni verticali 14 Hz – GEOSPACE

VERTICAL Geophones RTC 4.5 Hz 395 – R.T. CLARK companies

Specifications (All parameters are specified at temperature of 22°C)

- **FREQUENCY:**
- Natural Frequency (f_n): 4.5Hz
- Tolerance: ± 0.5 Hz
- Max. tilt angle for specified f_n : 10 degrees
- Typical spurious frequency: > 160 Hz
- **DISTORTION:**
- Distortion: $\leq 0.2\%$
- Distortion measurement frequency: 12Hz
- Max tilt angle for distortion specification: Vertical
- **COIL RESISTANCE:**
- Standard: 395ohm
- Tolerance: $\pm 5\%$
- **SENSITIVITY:**
- Sensitivity: 22.0 V/m/s (0.698 V/in/s)
- Tolerance: $\pm 7.5\%$
- Moving Mass: 11.2 g (0.395 oz)
- Maximum coil excursion p.p.: 1.52 mm (0.060 in)
- **PHYSICAL CHARACTERISTICS:**
- Diameter: 25.4 mm (1 in)
- Height: 33.0 mm (1.26 in)
- Weight: 86 g (3.03 oz)
- Operating temperature range: -45 Celcius to +100 Celcius

Allegato 1. 5: Specifiche tecniche geofoni verticali 4.5 Hz – RTC CLARK

Rayfract® Seismic Refraction/Borehole Tomography software

Intelligent Resources Inc.

Subsurface velocity structure imaging for geotechnical engineering and exploration

Rayfract® software allows reliable imaging of subsurface velocity with modeling of propagation of seismic first break energy. Import the seismic data and define the 2D profile geometry. Pick or import first breaks. Run our Smooth inversion method to objectively image velocity structure, even with extreme topography and strong lateral velocity variation. No assignment of traces to refractors required.

The initial 1D-gradient model is determined automatically from the travel time data, with our DeltatV (improved Wiechert-Herglotz) method. This method gives a good initial fit between modeled and picked times, even with velocity inversions.

The initial model is refined with WET Wavepath Eikonal Traveltime tomographic inversion, aka Fresnel Volume Tomography. While conventional ray tracing is limited to modeling just one ray per first break, WET models multiple signal propagation paths contributing to one first break. Our Eikonal solver used for traveltime field computation explicitly models diffraction besides refraction and transmission of seismic waves.

Rayfract® supports any surface-based 2D recording geometry, including roll-along seismic reflection lines. Add uphole refraction shots to constrain the WET tomography solution. Allows crosshole and multi-offset VSP survey interpretation.

Use our conventional Wavefront and Plus-Minus methods to obtain alternative interpretations, in case of true layering of the subsurface geology. Assign traces to refractors interactively or automatically.

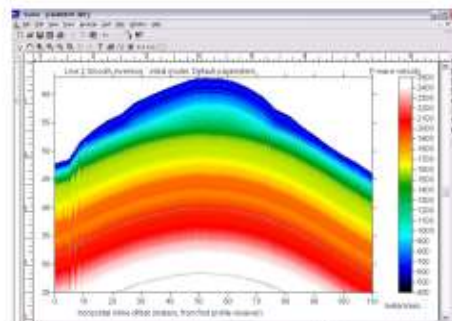
Specifications

- Requires Golden Software Surfer® 8, 9 or 10 for automatic plotting and interactive editing of tomography output
- Runs under Microsoft Windows® 2000, XP, Vista and Windows® 7 both 32 and 64-bit
- Max. 360 traces per shot, 500 shots per profile
- Define your own irregular receiver spread types
- Geometrics, ABEM, BISON, DMT SUMMIT, OYO, SEISMIC SOURCE COMPANY, SEISTRONIX SEG-2 data import
- Import ASCII, Interpex GREMIX, OYO SEISREFA, Rimrock PIK, EarthFX VIEWSEIS, W_GeoSoft WINSISM, OPTIM LLC SEISOPT, Geometrics SEISMAGER, Tweeton GeoTomCG files with first break times and geometry
- Use overlapping receiver spreads to simulate one long spread. Use offset shots for depth penetration
- Build own model with Surfer®. Synthesize traveltime data by forward modeling propagation with Rayfract®
- Interpret P-wave and S-wave data for same line, and map dynamic Poisson's ratio with Surfer® Grid Math
- Interpret downhole VSP and crosshole surveys
- Min. / max. sample rate of 1 microsecond / 1 second
- Max. 20,000 samples per trace
- Handle Surfer® grid files with up to 640,000 nodes, up to 1,280,000 nodes with Pro Annual Subscription license
- Flexible trace display and frequency filtering
- Automatic & interactive first break picking
- Automatic, interactive assignment of traces to refractors
- Import/export picks & geometry from/to ASCII files
- Uses multiple CPU cores, for fast back-projection of residuals along Fresnel volumes, with SIRT algorithm
- Pro Annual Subscription license for long lines recorded with marine/land streamer. Uses all installed RAM, up to 64 GB.

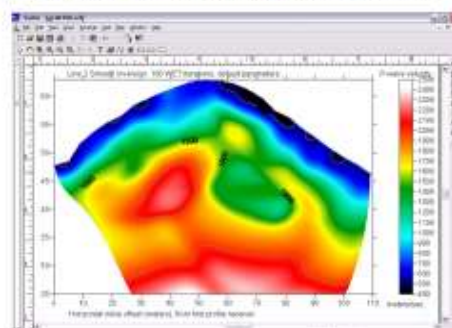
Copyright © 1996–2012 Intelligent Resources Inc. All rights reserved. Contact us at

Intelligent Resources Inc.
142 - 757 West Hastings Street
Vancouver B.C. V6C 1A1, Canada

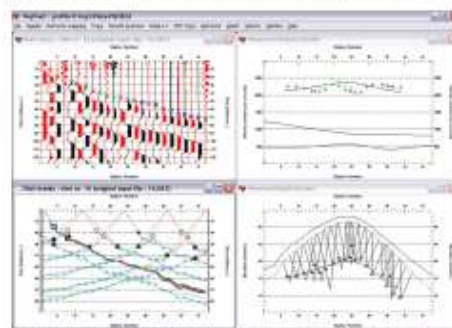
Phone 1 604 782-9845 Fax 1 604 408-8678
E-mail sales@rayfract.com Web http://rayfract.com



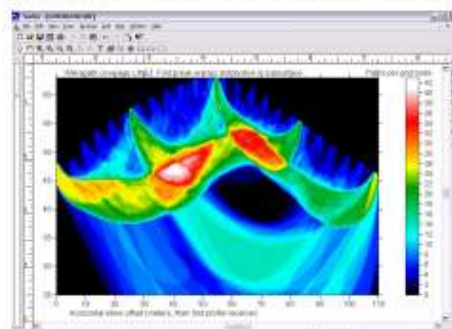
1D-gradient initial model : horizontally averaged DeltatV



Final WET inversion output, after 100 WET iterations



Conventional Wavefront interpretation. Note diving waves.



WET subsurface coverage with first break energy

Allegato 1. 6: Software Rayfract ver. 3.24 per tomografia sismica

ALLEGATO TECNICO 2 – RISULTATI OTTENUTI DALLE STESE SISMICHE A RIFRAZIONE

REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN
ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME SILE E
DELLA LINEA FERROVIARIA TREVISO-UDINE
A RIDOSSO DI PONTE DELLA GOBBA IN
COMUNE DI TREVISO

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI
CARATTERIZZAZIONE DEL
SOTTOSUOLO E FATTIBILITA'
MICROTUNNELING

**I. ALLEGATO GRAFICO: STESA SISMICA SP01 ONDE P E SH –
TOMOGRAFIA - SISMOGRAMMA – SPETTRO E CURVA DISPERSIONE –
RISULTATI MODELLO - STRATIGRAFIA – PROFILO V_s**



Fig. I-1: Ripresa fotografica ed inquadramento scala

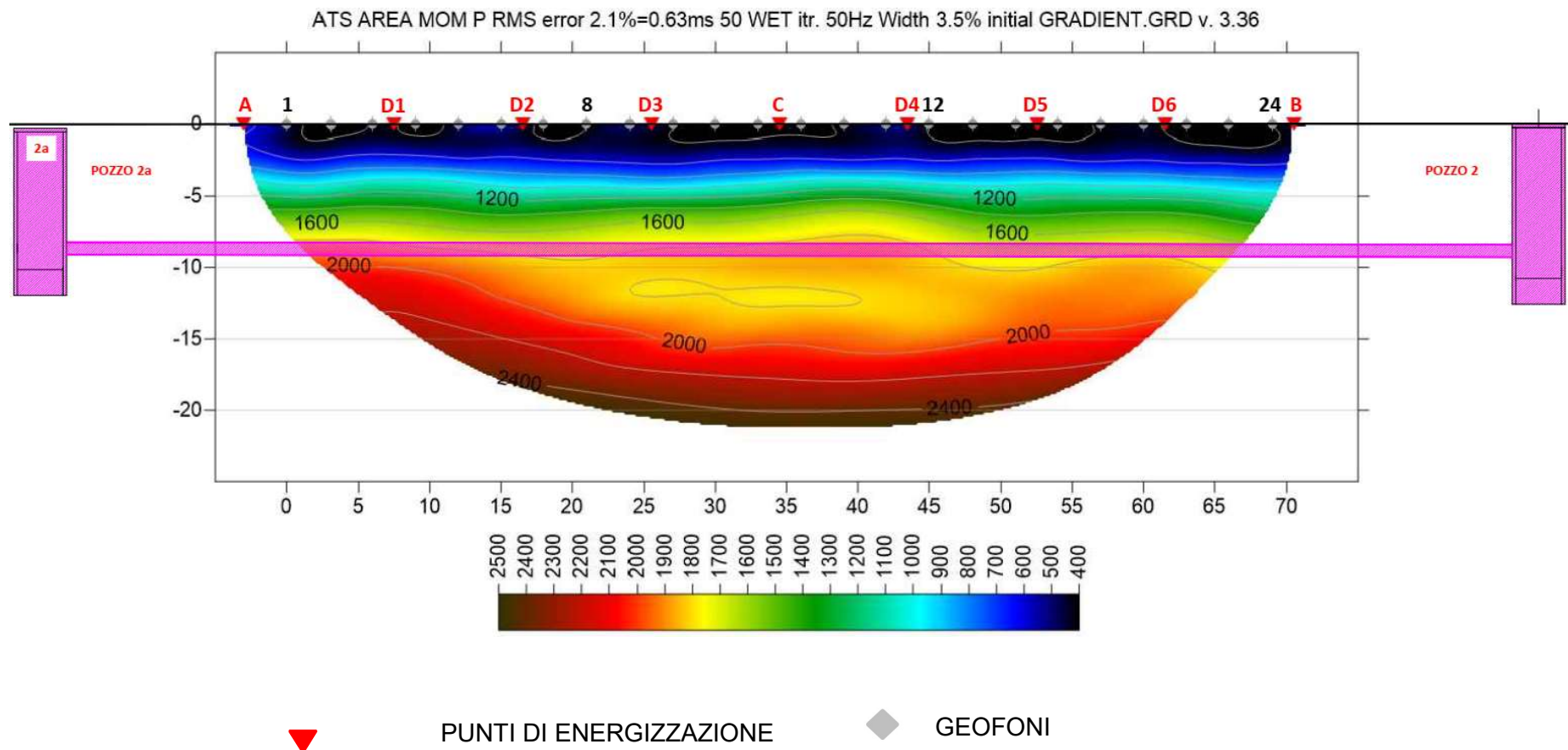


Fig. I-2: Stesa sismica SP01 – ONDE P – Tomografia sismica

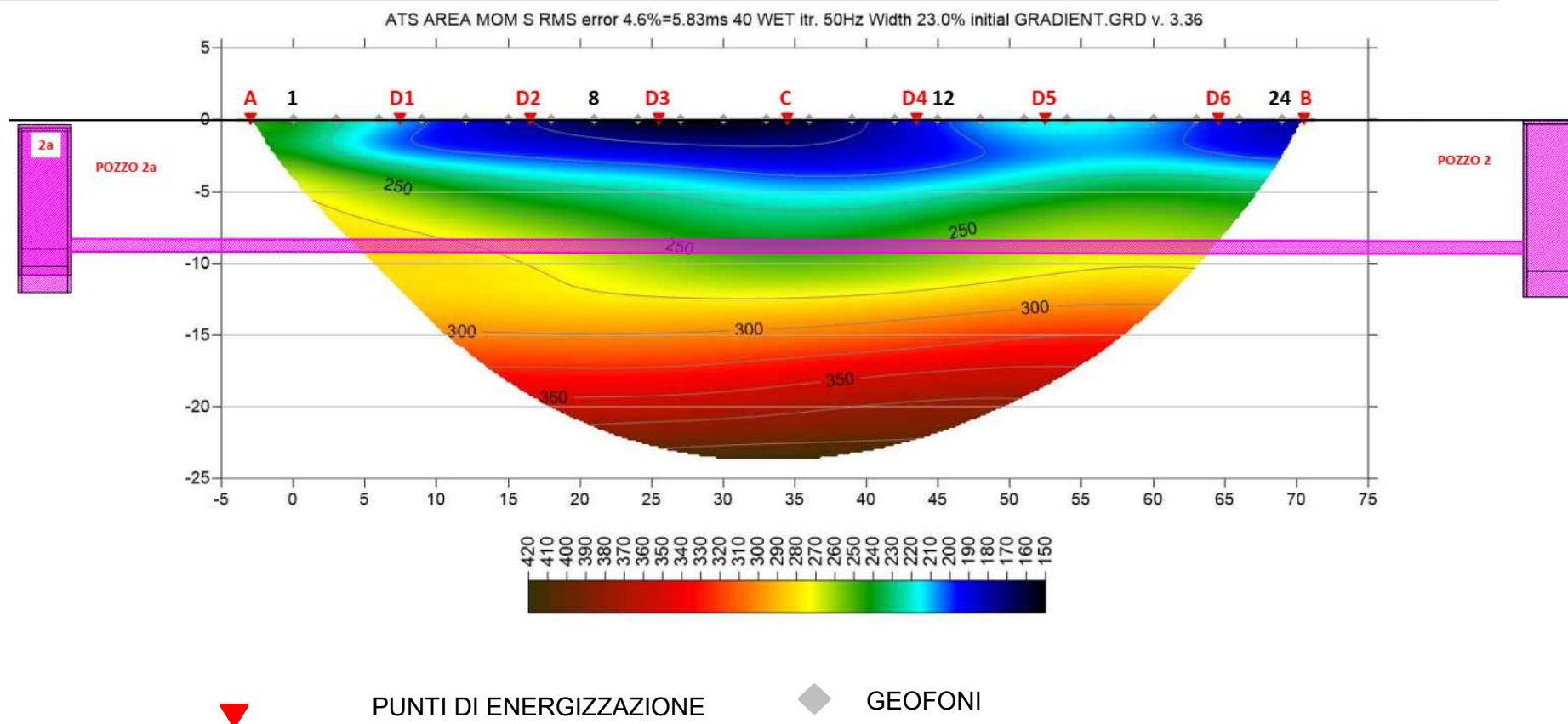


Fig. I-3: Stesa sismica SP01 – ONDE SH – Tomografia sismica

REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN
ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME SILE E
DELLA LINEA FERROVIARIA TREVISO-UDINE
A RIDOSSO DI PONTE DELLA GOBBA IN
COMUNE DI TREVISO

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI
CARATTERIZZAZIONE DEL
SOTTOSUOLO E FATTIBILITA'
MICROTUNNELING

II. ALLEGATO GRAFICO: STESA SISMICA SP02 ONDE P – TOMOGRAFIA

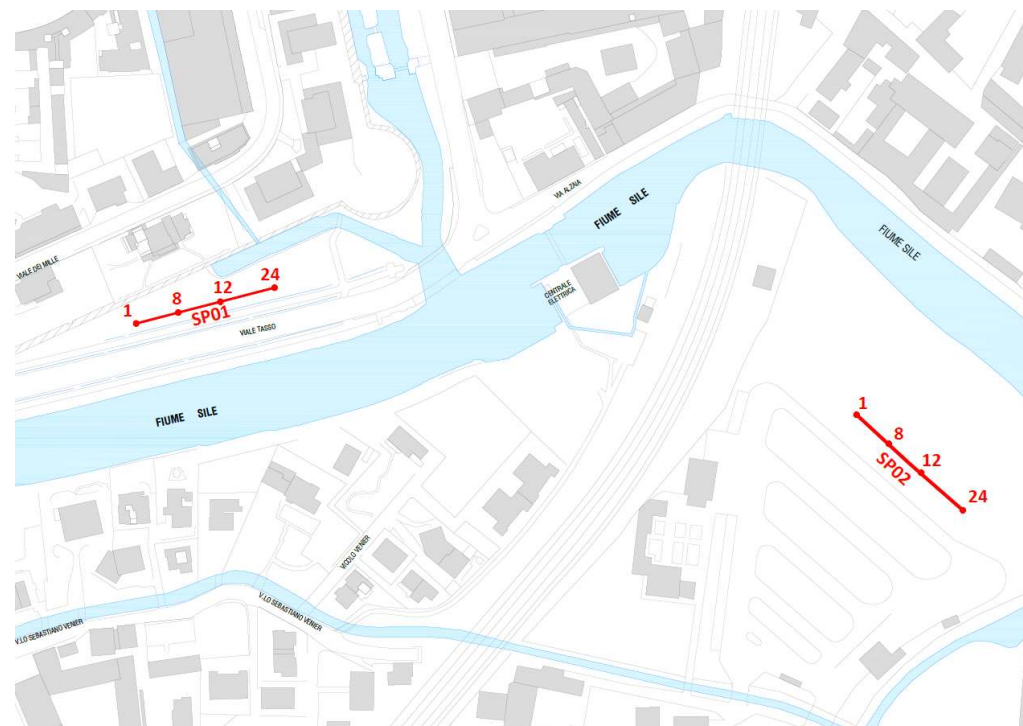


Fig. II-1: Ripresa fotografica ed inquadramento

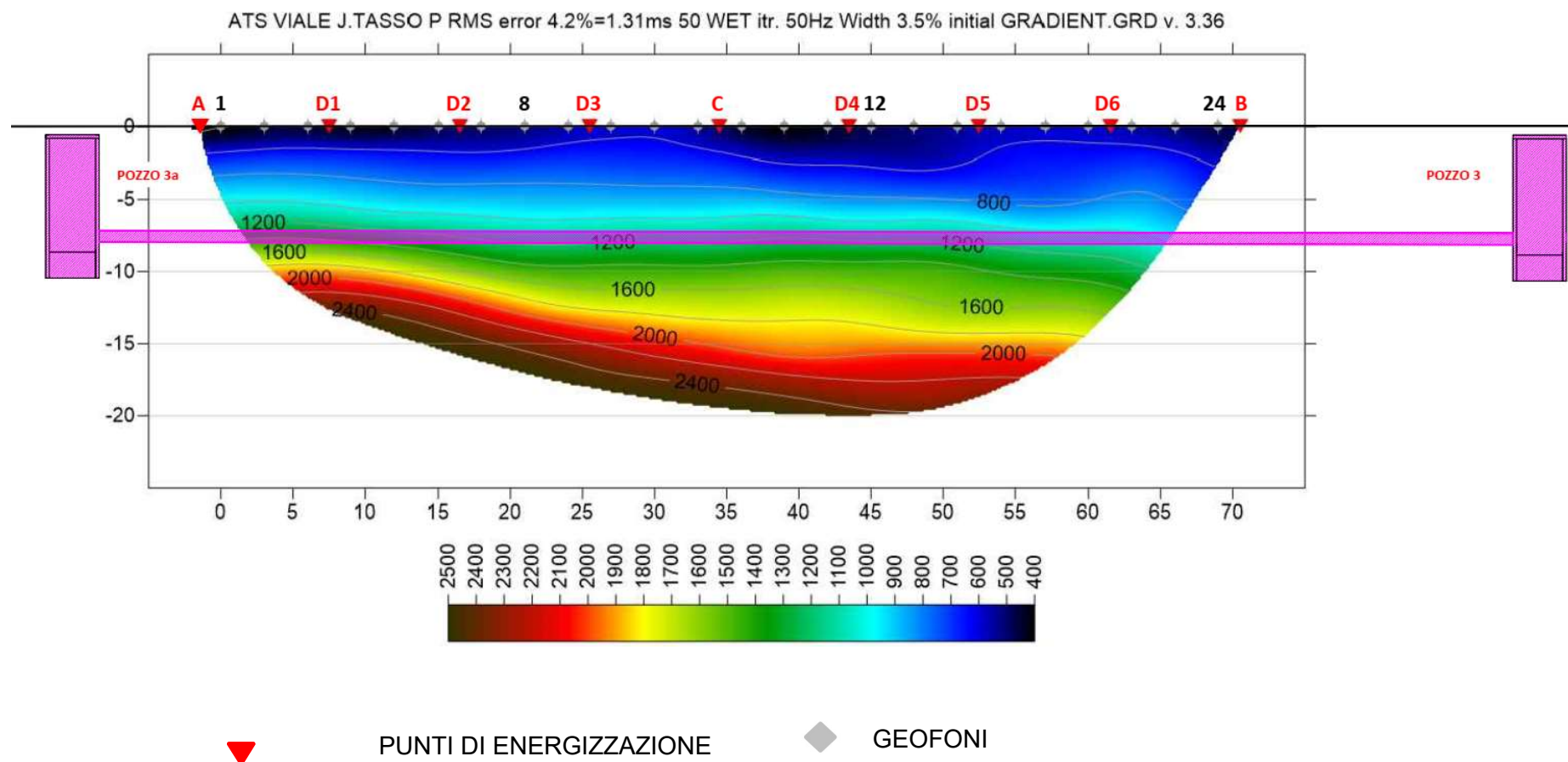


Fig. II-2: Stesa sismica ST02 ONDE P– Tomografia sismica

ALLEGATO TECNICO 3 – RISULTATI OTTENUTI DALLE STESE GEOELETTRICHE

REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN
ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME SILE E
DELLA LINEA FERROVIARIA TREVISO-UDINE
A RIDOSSO DI PONTE DELLA GOBBA IN
COMUNE DI TREVISO

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI
CARATTERIZZAZIONE DEL
SOTTOSUOLO E FATTIBILITA'
MICROTUNNELING

**III. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINE GEOELETTRICA MULTIELETTRODICA
ERT01 CON DISPOSIZIONE WENNER – TOMOGRAFIA 2D DELLA
RESISTIVITA' E DELLA POLARIZZAZIONE INDOTTA – TOMOGRAFIE ERT
2D**

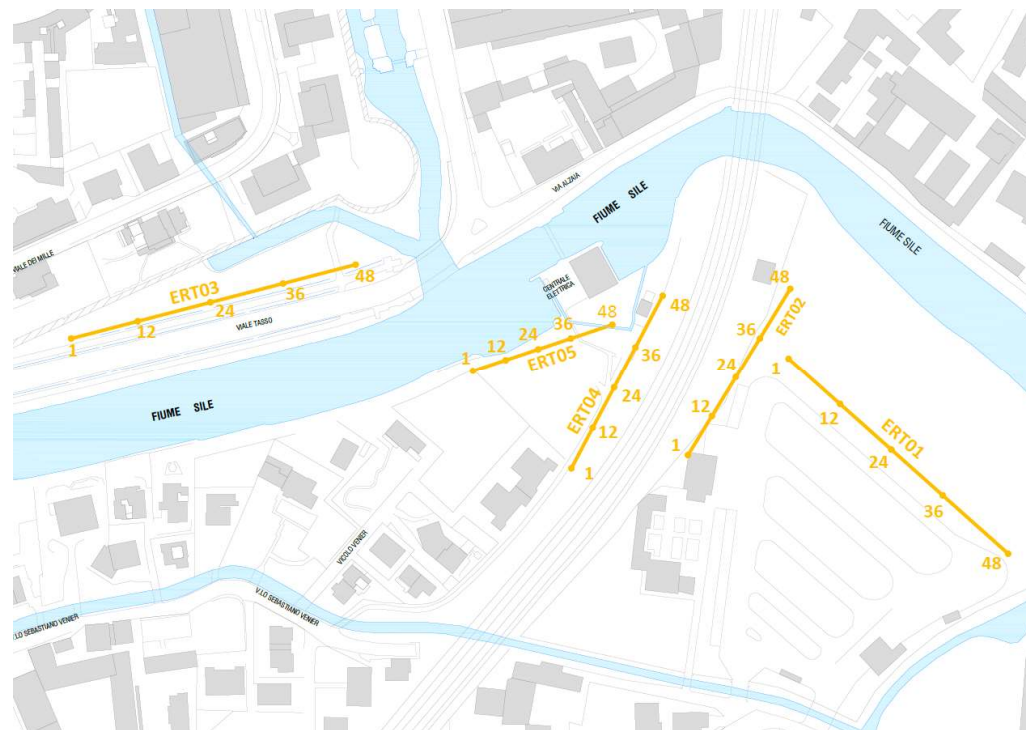


Fig. III-1: Ripresa fotografica ed inquadramento

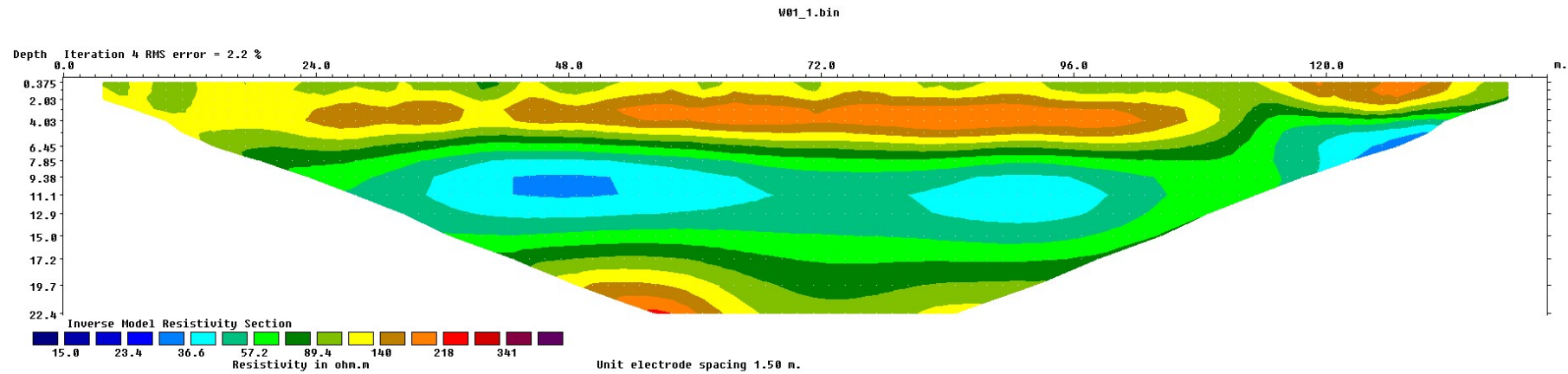


Fig. III-2: ERT01– Tomografie geoelettriche ERT2D Wenner di resistività

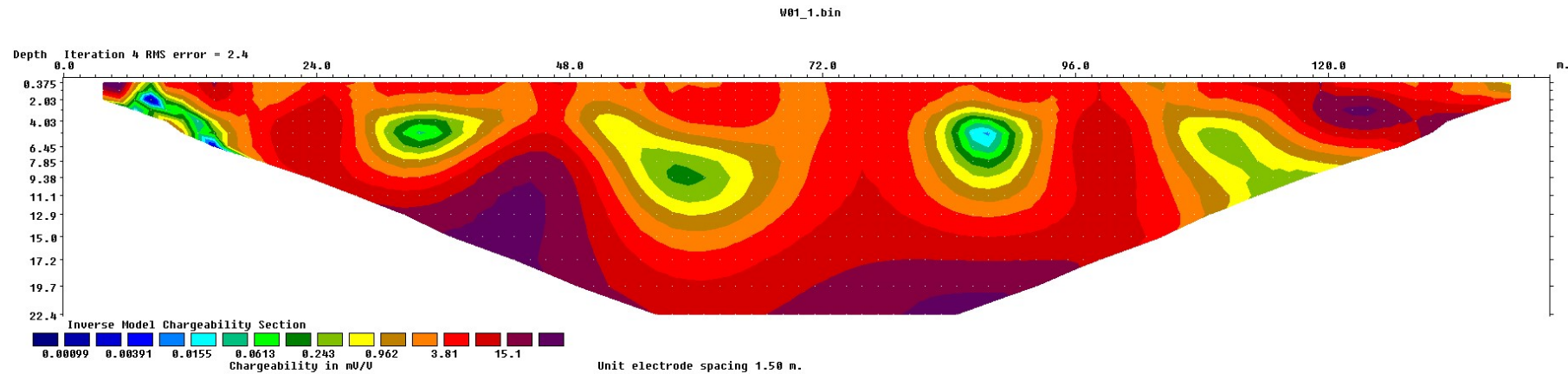


Fig. III-3: ERT01– Tomografie geoelettriche ERT2D Polarizzazione Indotta

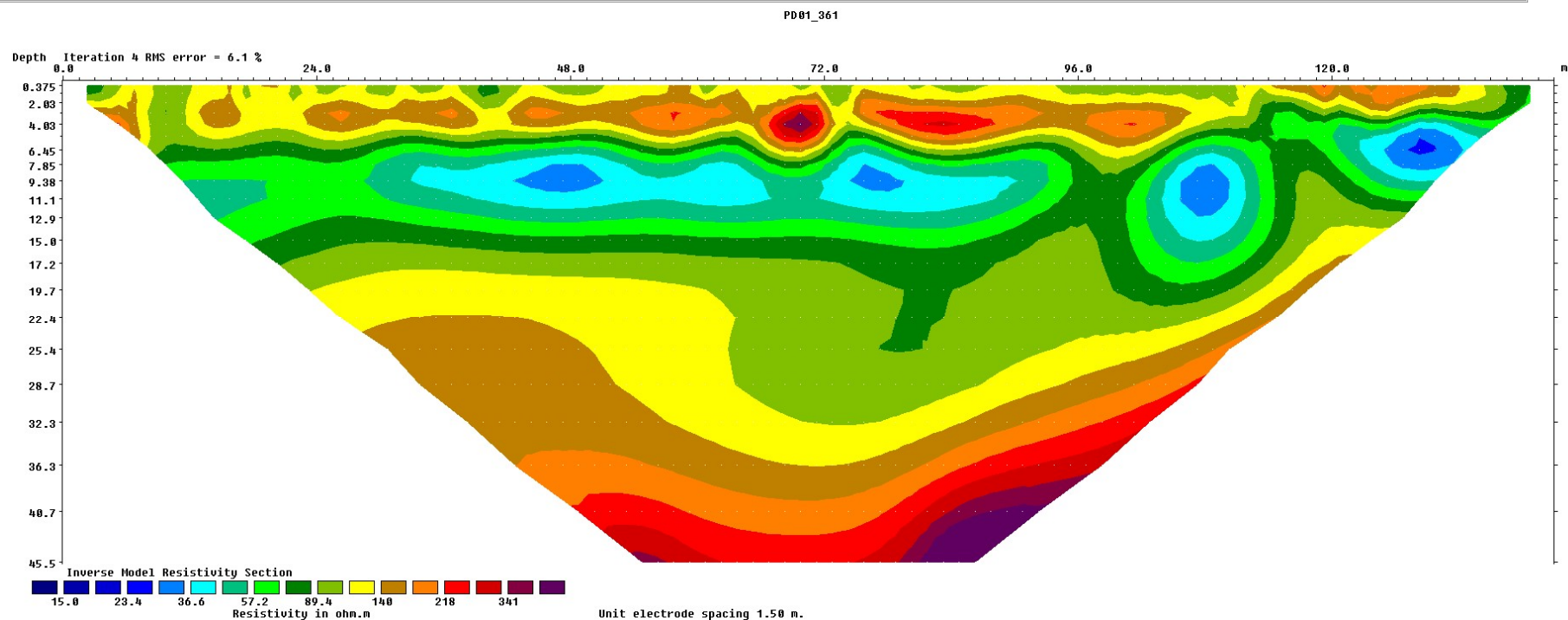


Fig. III-4: ERT01– Tomografie geoelettriche ERT2D Polo-Dipolo di resistività

REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN
ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME SILE E
DELLA LINEA FERROVIARIA TREVISO-UDINE
A RIDOSSO DI PONTE DELLA GOBBA IN
COMUNE DI TREVISO

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI
CARATTERIZZAZIONE DEL
SOTTOSUOLO E FATTIBILITA'
MICROTUNNELING

**IV. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINE GEOELETTRICA MULTIELETTRODICA
ERT02 CON DISPOSIZIONE WENNER – TOMOGRAFIA 2D DELLA
RESISTIVITA' E DELLA POLARIZZAZIONE INDOTTA – TOMOGRAFIE ERT
2D**

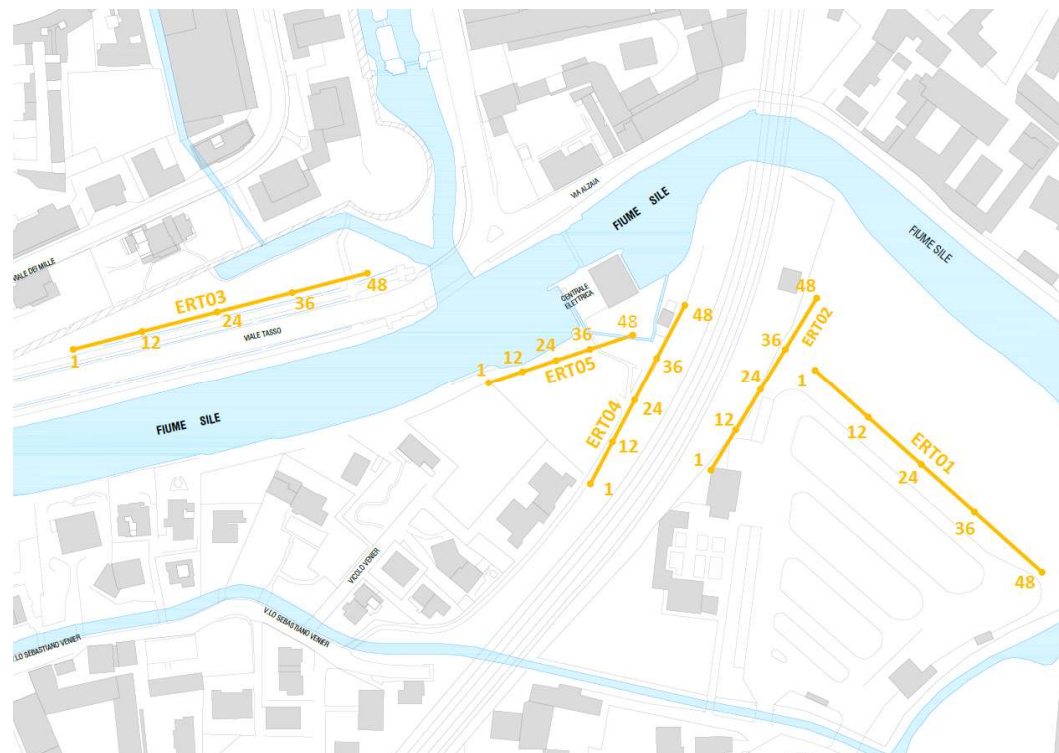


Fig. IV-1: Ripresa fotografica ed inquadramento

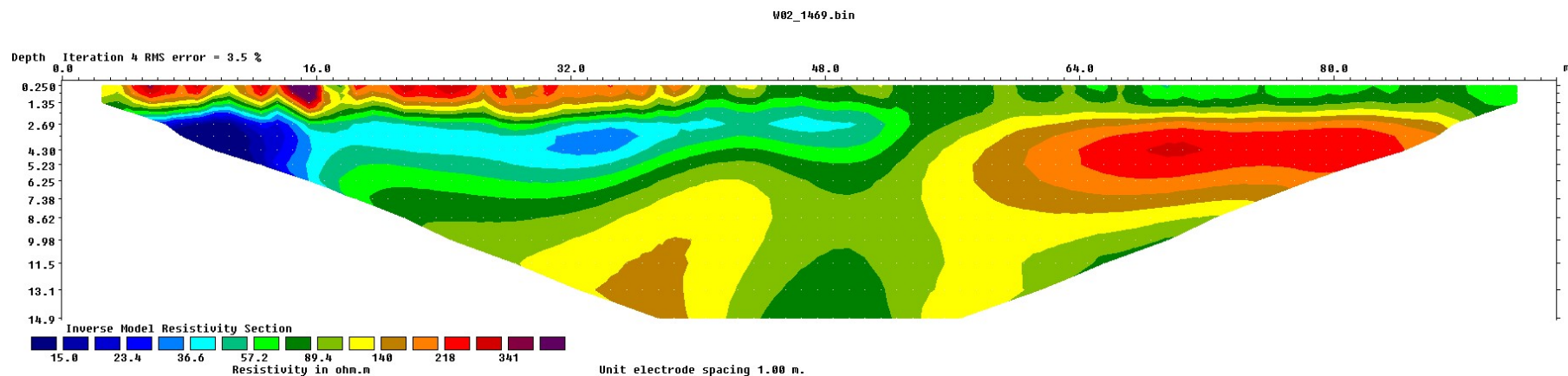


Fig. IV-2: ERT02– Tomografie geoelettriche ERT2D Wenner di resistività

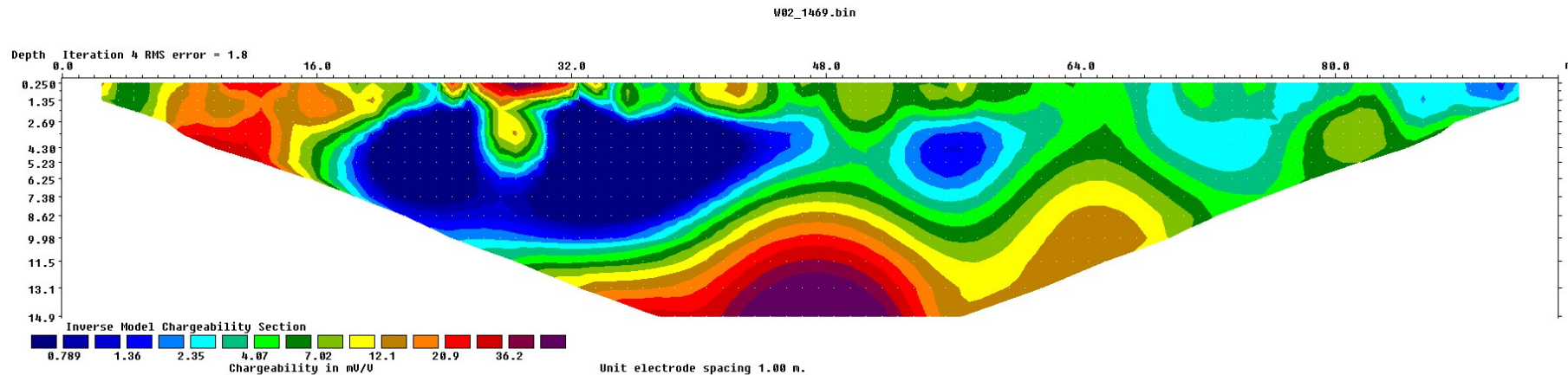


Fig. IV-3: ERT02– Tomografie geoelettriche ERT2D Polarizzazione Indotta

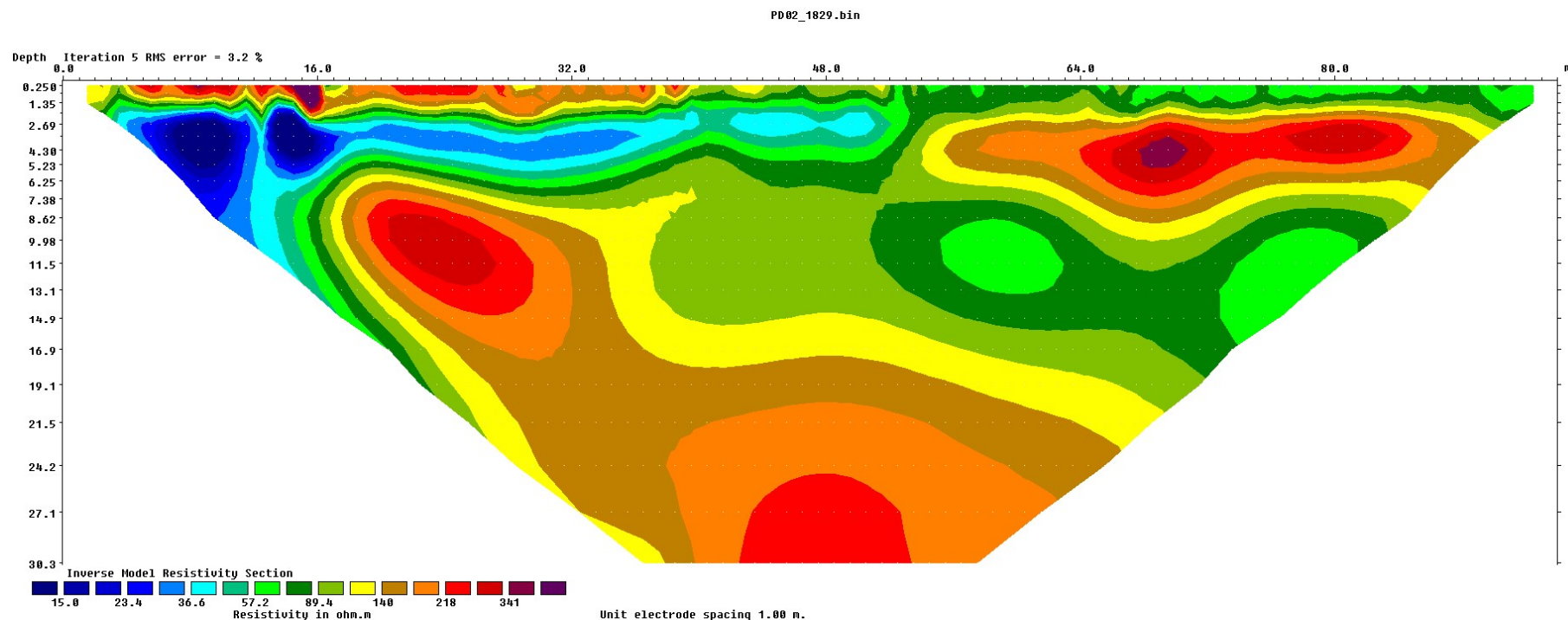


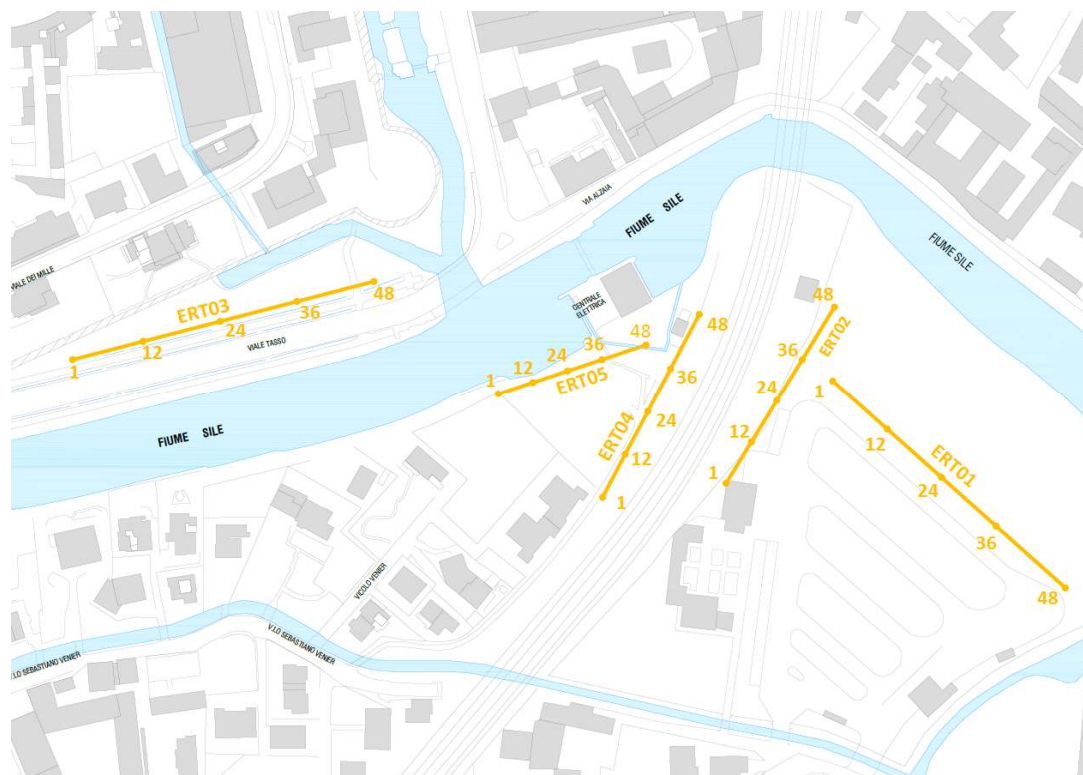
Fig. IV-4: ERT02 – Tomografie geoelettriche ERT2D Polo-Dipolo di resistività

REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN
ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME SILE E
DELLA LINEA FERROVIARIA TREVISO-UDINE
A RIDOSSO DI PONTE DELLA GOBBA IN
COMUNE DI TREVISO

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI
CARATTERIZZAZIONE DEL
SOTTOSUOLO E FATTIBILITA'
MICROTUNNELING

**V. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINE GEOELETTRICA MULTIELETTRODICA
ERT03 CON DISPOSIZIONE WENNER – TOMOGRAFIA 2D DELLA
RESISTIVITA' E DELLA POLARIZZAZIONE INDOTTA – TOMOGRAFIE ERT
2D**

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO E FATTIBILITA' MICROTUNNELING



ENKI s.r.l. – info@enki.it - Firenze Pagina 61

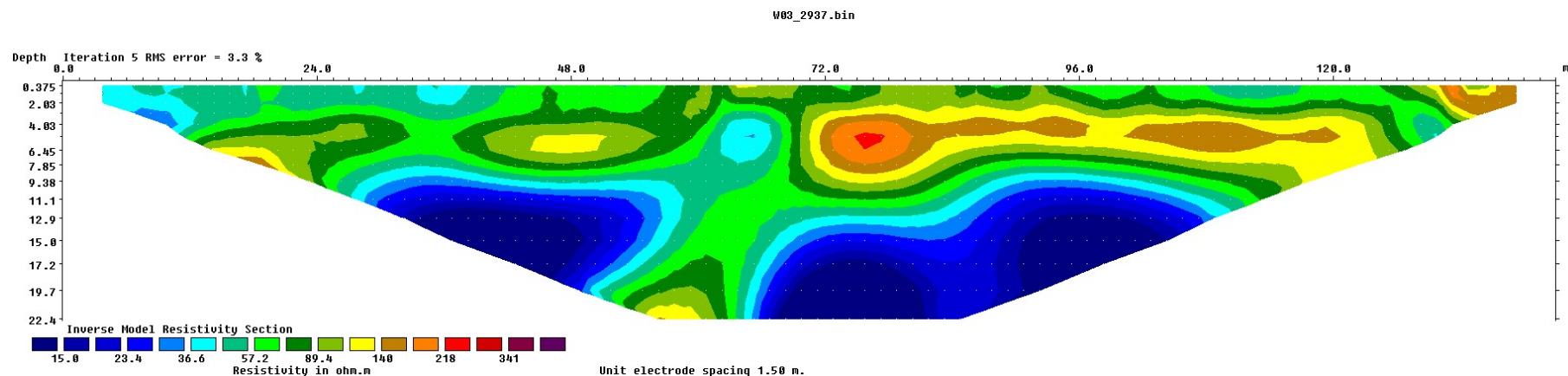


Fig. V-2: ERT03– Tomografie geoelettriche ERT2D Wenner di resistività

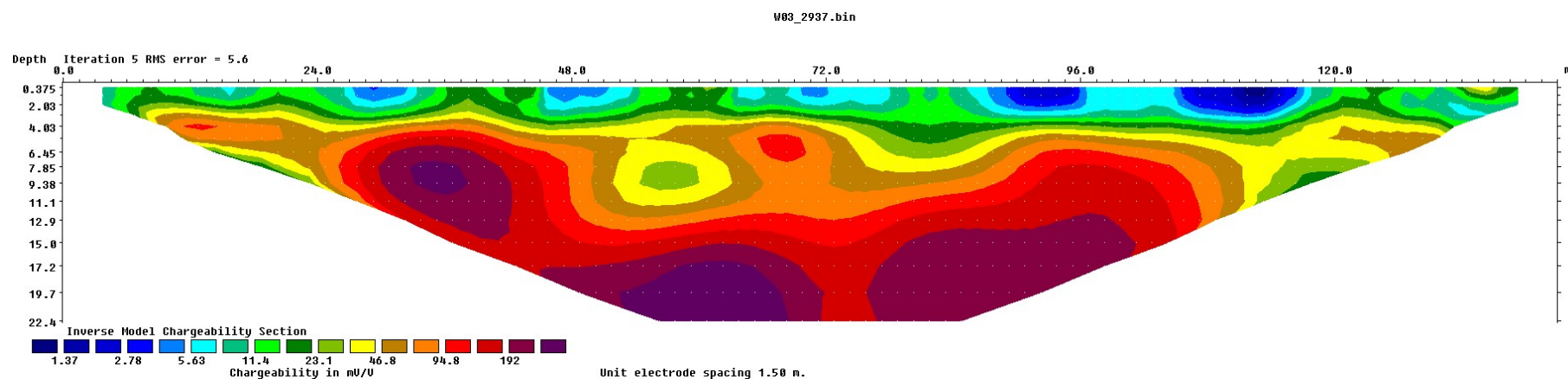


Fig. V-3: ERT03– Tomografie geoelettriche ERT2D Polarizzazione Indotta

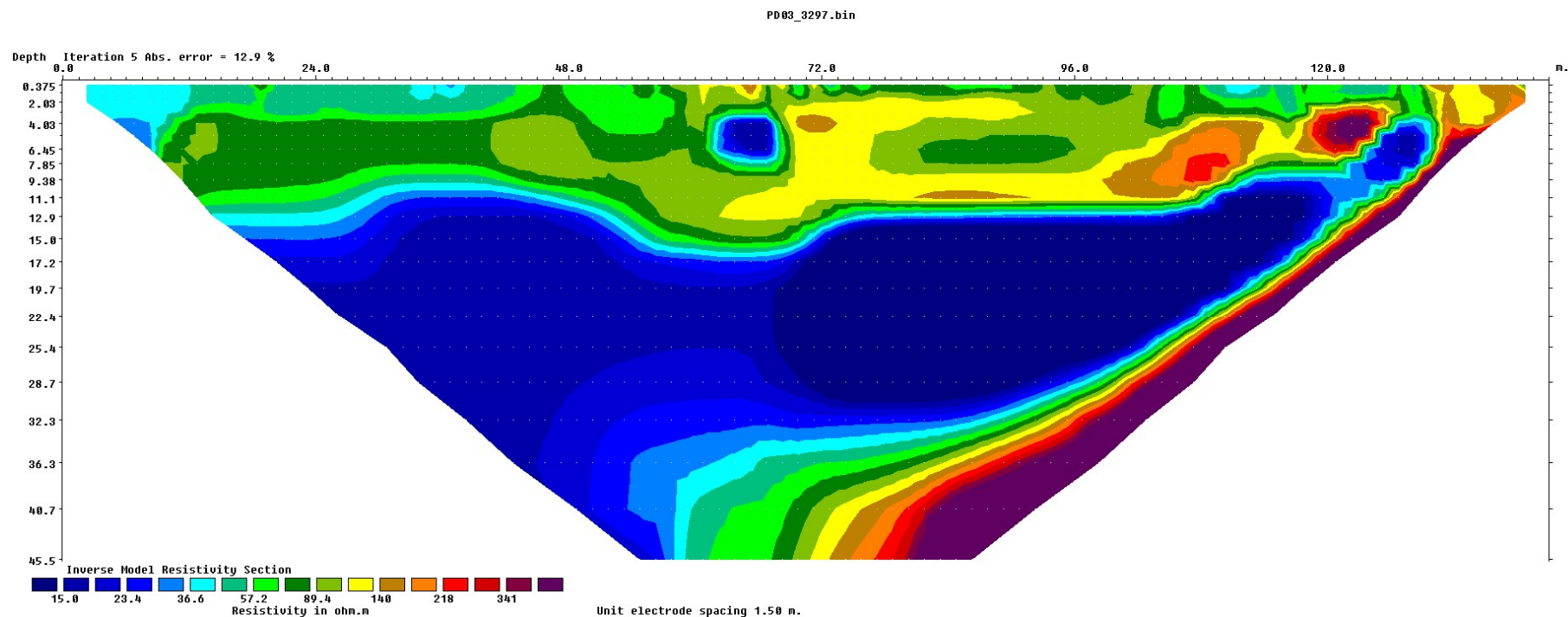


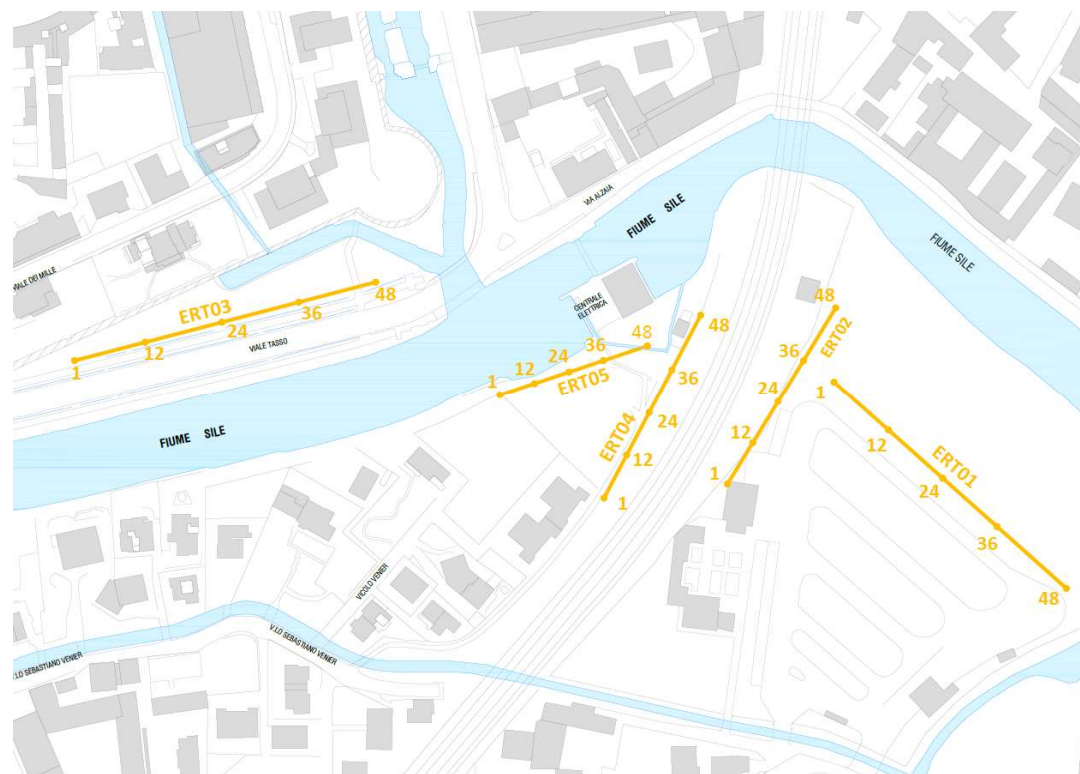
Fig. V-4: ERT03– Tomografie geoelettriche ERT2D Polo-Dipolo di resistività

REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN
ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME SILE E
DELLA LINEA FERROVIARIA TREVISO-UDINE
A RIDOSSO DI PONTE DELLA GOBBA IN
COMUNE DI TREVISO

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI
CARATTERIZZAZIONE DEL
SOTTOSUOLO E FATTIBILITA'
MICROTUNNELING

**VI. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINE GEOELETTRICA MULTIELETTRODICA
ERT04 CON DISPOSIZIONE WENNER – TOMOGRAFIA 2D DELLA
RESISTIVITA' E DELLA POLARIZZAZIONE INDOTTA – TOMOGRAFIE ERT
2D**

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO E FATTIBILITA' MICROTUNNELING



ENKI s.r.l. – info@enki.it - Firenze Pagina 65

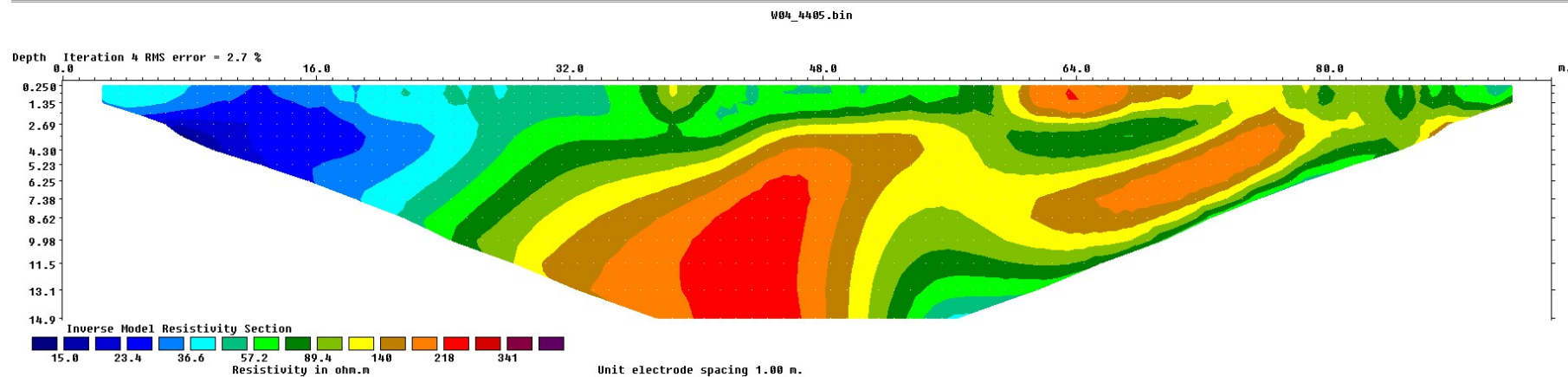


Fig. VI-2: ERT04– Tomografie geoelettriche ERT2D Wenner di resistività

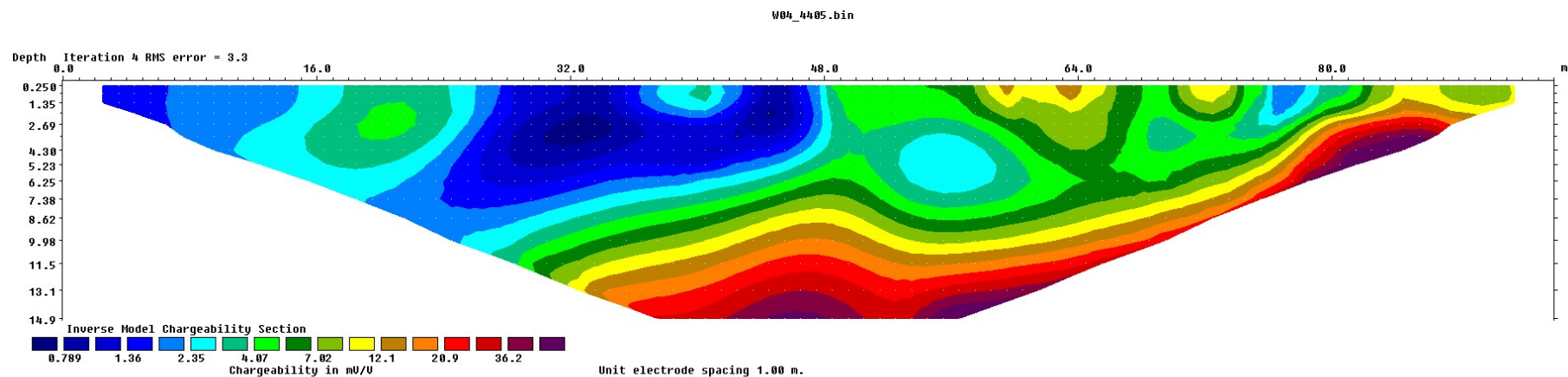


Fig. VI-3: ERT04– Tomografie geoelettriche ERT2D Polarizzazione Indotta

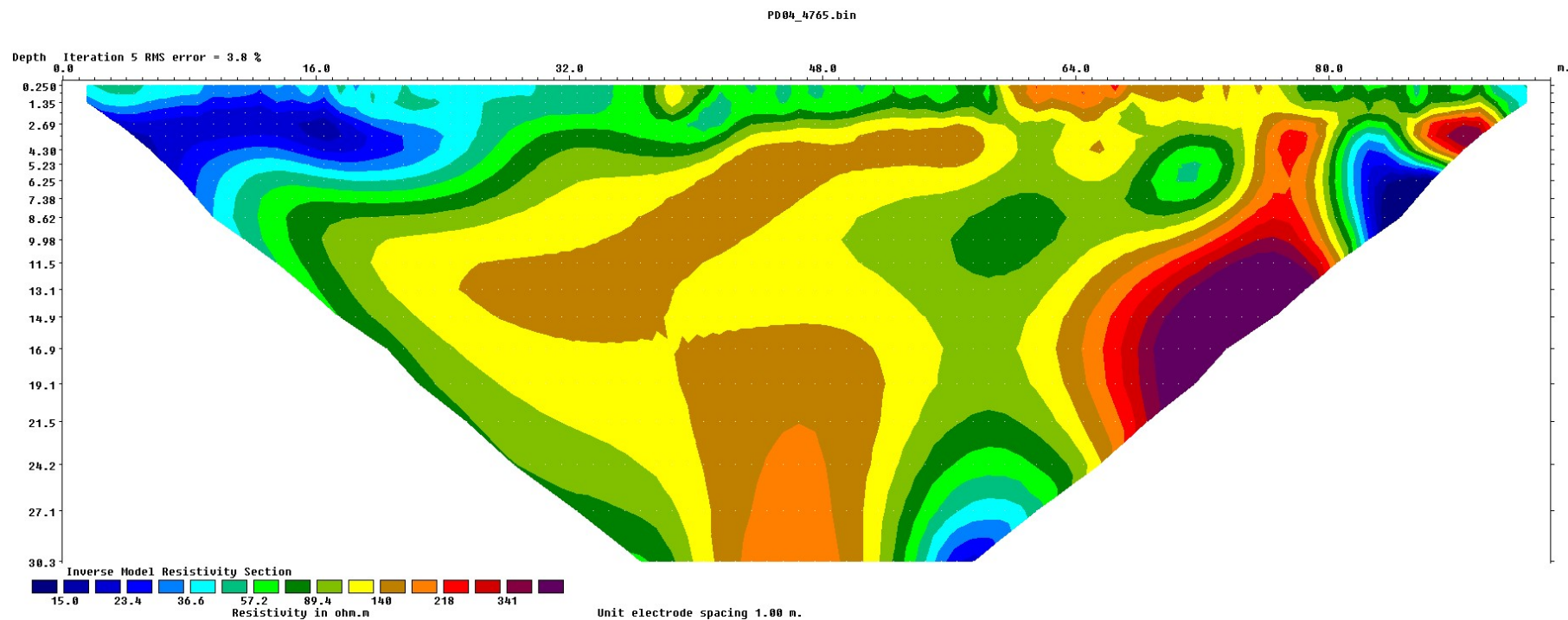


Fig. VI-4: ERT04 – Tomografie geoelettriche ERT2D Polo-Dipolo di resistività

REALIZZAZIONE DI FOGNATURA NERA IN
ATTRAVERSAMENTO DEL FIUME SILE E
DELLA LINEA FERROVIARIA TREVISO-UDINE
A RIDOSSO DI PONTE DELLA GOBBA IN
COMUNE DI TREVISO

INDAGINI GEOFISICHE INTEGRATE DI
CARATTERIZZAZIONE DEL
SOTTOSUOLO E FATTIBILITA'
MICROTUNNELING

**VII. ALLEGATO GRAFICO: INDAGINE GEOELETTRICA MULTIELETTRODICA
ERT05 CON DISPOSIZIONE WENNER – TOMOGRAFIA 2D DELLA
RESISTIVITA' E DELLA POLARIZZAZIONE INDOTTA – TOMOGRAFIE ERT
2D**

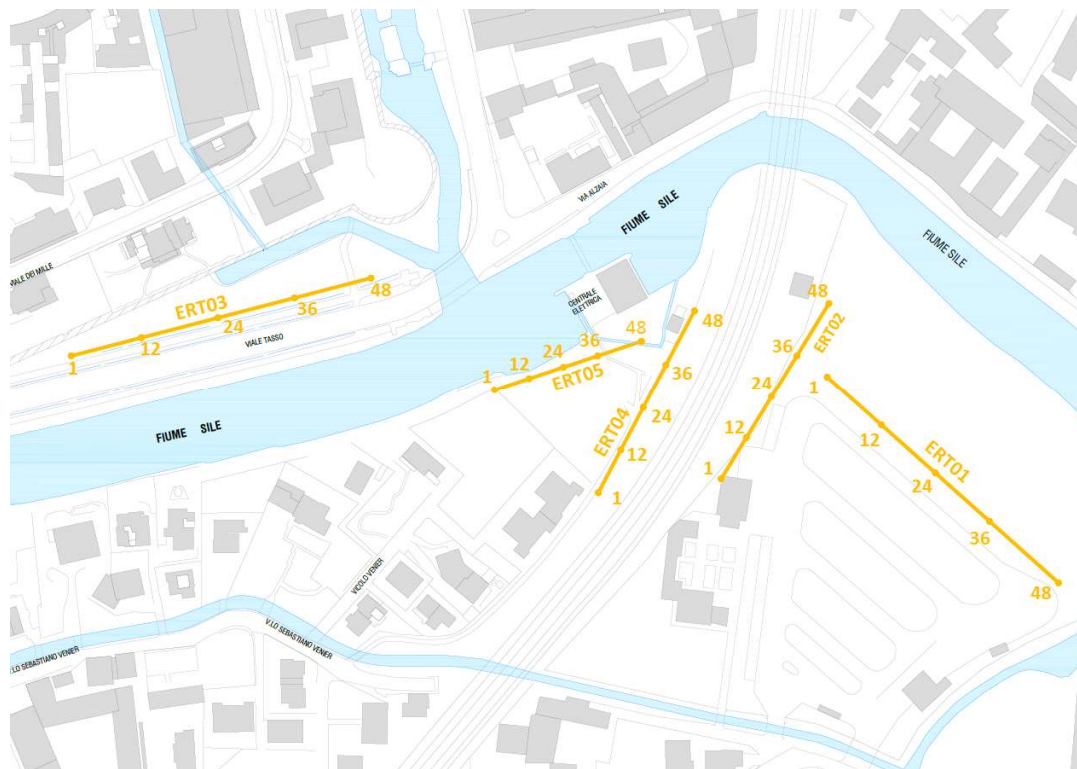


Fig. VII-1: Ripresa fotografica ed inquadramento

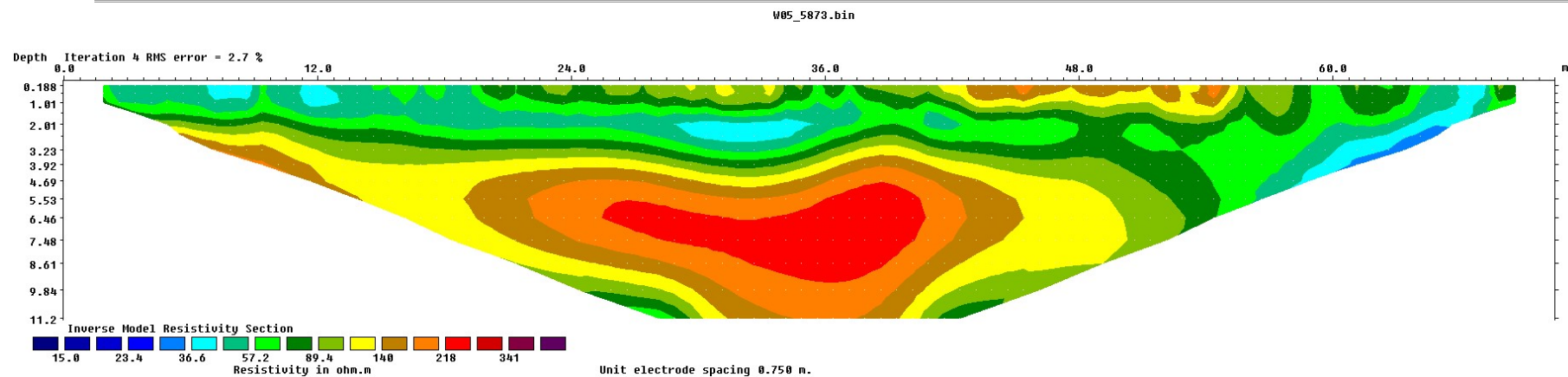


Fig. VII-2: ERT05 – Tomografie geoelettriche ERT2D Wenner di resistività

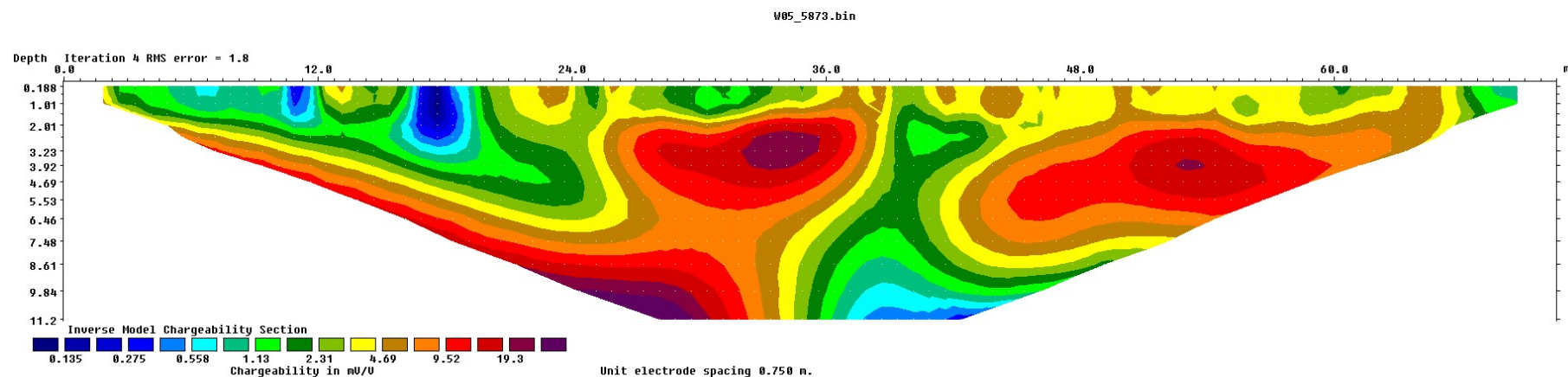


Fig. VII-3: ERT05– Tomografie geoelettriche ERT2D Polarizzazione Indotta

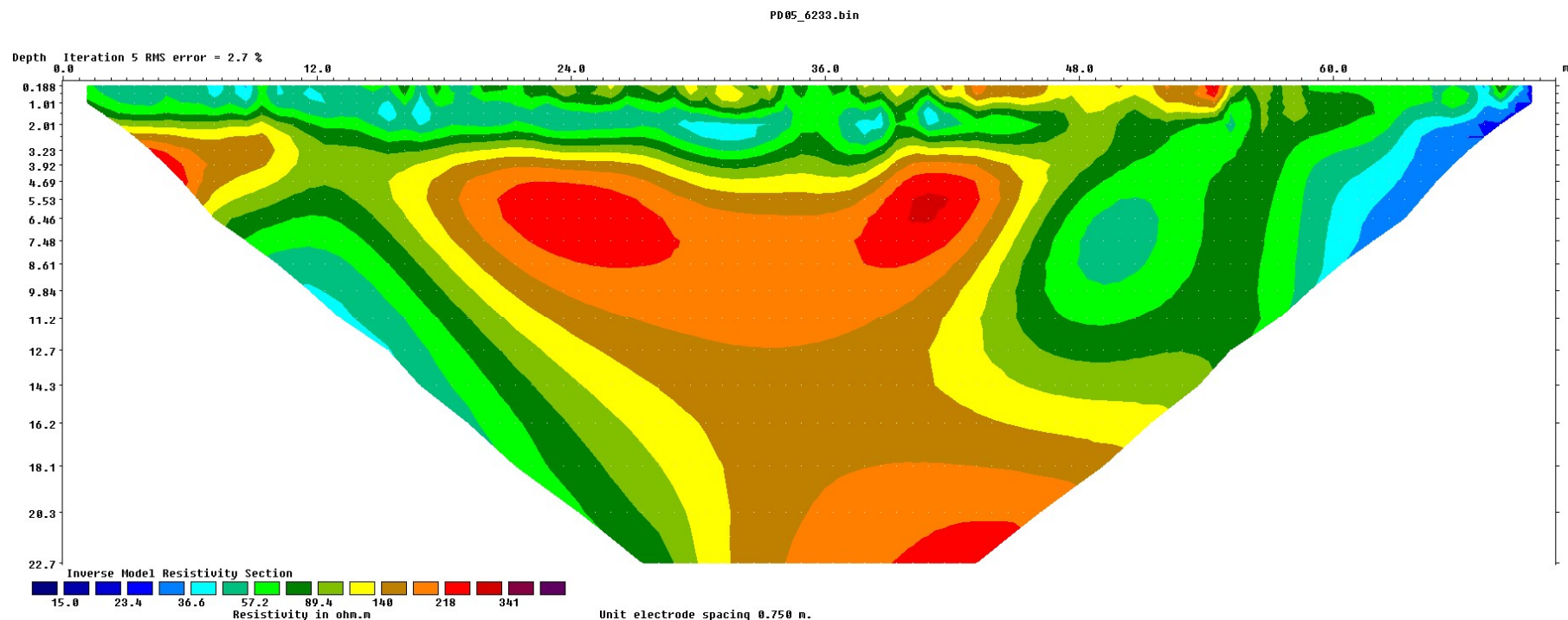


Fig. VII-4: ERT05 – Tomografie geoelettriche ERT2D Polo-Dipolo di resistività