

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP: J41C09000000005

## U.O. GEOLOGIA TECNICA, AMBIENTALE E DEL TERRITORIO

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO

QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO

REPORT INDAGINI GEOELETTRICHE - Località "Casteller"

SCALA:

-

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

I B 0 Q 3 A R 6 9 I G G E 0 0 0 5 0 0 6 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	D. Roverselli 	Aprile 2021	S. Rodani 		G. Mazzocchi 		M. Comedini 



File: IB0Q3AR69IGGE0005006A

n. Elab.:

**REPORT INDAGINI GEOELETTRICHE**

Località “Casteller”

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 006	A	2 di 20

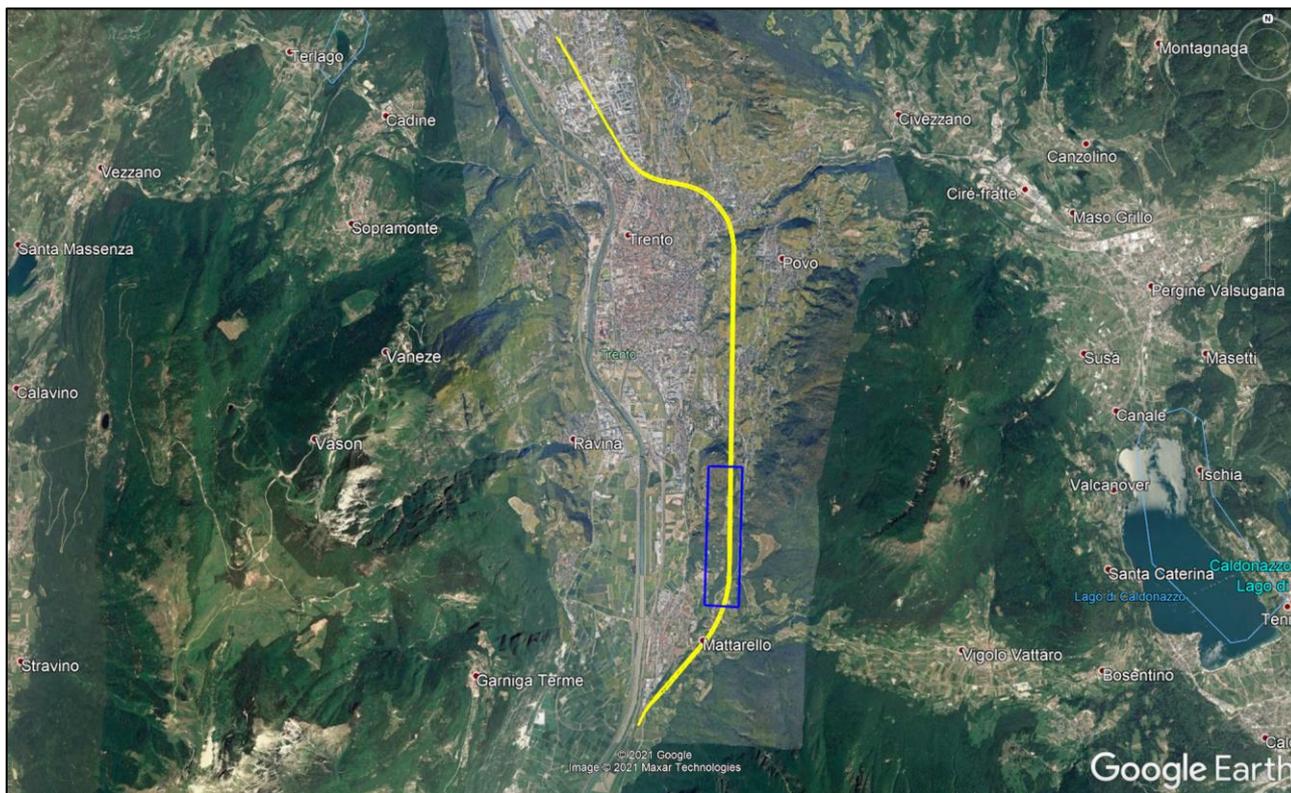
## INDICE

1	PREMESSA GENERALE .....	3
2	SINTESI DELLE ATTIVITA' SVOLTE .....	4
2.1	REPORT FOTOGRAFICO ATTIVITÀ SVOLTE.....	7
3	RILIEVI TOMOGRAFICI ELETTRICI.....	8
3.1	TOMOGRAFIA ELETTRICA .....	9
3.2	CENNI TEORICI .....	9
3.3	MODALITÀ DI MISURA.....	9
3.4	MODALITÀ DI INTERVENTO .....	10
3.5	ACQUISIZIONE DATI .....	11
3.6	ELABORAZIONE DATI .....	12
3.7	ANALISI DEI DATI.....	14
3.7.1	<i>Sezione tomografica elettrica 2D – L1.....</i>	<i>15</i>
3.7.2	<i>Sezione tomografica elettrica 2D – L2.....</i>	<i>16</i>
3.7.3	<i>Sezione tomografica elettrica 2D – L3.....</i>	<i>17</i>
3.8	MODELLAZIONE 3D .....	18
3.8.1	<i>Sezioni verticali, orizzontali (slices) e isovolumi .....</i>	<i>18</i>

## 1 PREMESSA GENERALE

Nell’ambito del progetto di fattibilità tecnico-economica della circonvallazione di Trento (Lotto 3 Fortezza-Verona), sono state eseguite specifiche prospezioni geofisiche, di tipo geoelettrico, a supporto della ricostruzione del modello geologico del sottosuolo.

In Fig. 1 è riportata l’area interessata dalle indagini, rispetto all’andamento del tracciato ferroviario della circonvallazione in progetto.



**Fig. 1 - Area interessata dalle indagini geofisiche (riquadro blu) e tracciato ferroviario “Circonvallazione di Trento” in progetto (linea gialla).**

Costituiscono parte integrante del presente rapporto i seguenti elaborati:

- **IB0Q3AR69IGGE0005004A:** Planimetria indagini geoelettriche (L1, L2 e L3 – Località “Casteller”) – Scala: Varie;
- **IB0Q3AR69IGGE0005005A:** Esiti indagini geoelettriche (L1, L2 e L3 – Località “Casteller”) – Scala: Varie.

**REPORT INDAGINI GEOELETTRICHE**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00.05.006	A	4 di 20

Località “Casteller”

## 2 SINTESI DELLE ATTIVITA' SVOLTE

Le indagini geofisiche sono state eseguite in prossimità dell'asse del tracciato ferroviario in progetto, in particolare interessando il tratto di futura realizzazione della galleria naturale “a doppia canna” compresa tra le progressive di tracciato da circa Km 0 + 837 a Km 11 + 312.

Le planimetrie di riferimento dell'area di studio e delle indagini eseguite in scala 1:2.500 sono allegate nel fascicolo degli elaborati grafici (PROGRESSIVA **004**); in Fig. 2 e Fig. 3 sono riportati gli elaborati planimetrici sopra menzionati in formato ridotto.

L'attività di “campagna” si è quindi articolata con l'applicazione della seguente metodologia geofisica:

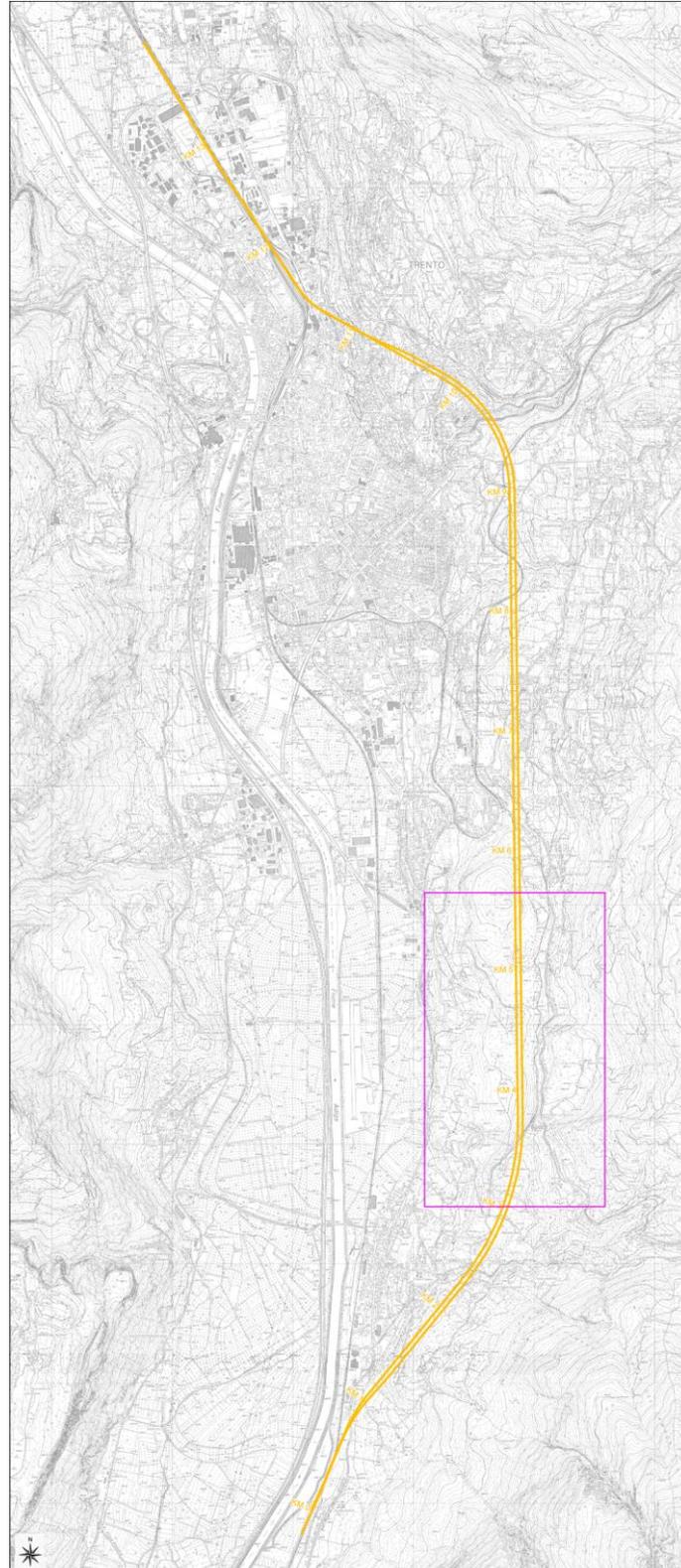
- **N. 3 profili tomografici elettrici in acquisizione 2D**, denominati con sigle da **L1 a L3**, eseguiti nell'area di Riserva del Casteller; i profili sono stati costituiti da n. 240 elettrodi con passo regolare ogni 10.0 m per un'estensione lineare di 2390 m ciascuno;

L'adeguata localizzazione planimetrica delle indagini è stata realizzata tramite un dettagliato rilievo topografico con strumentazione GPS “**Trimble R2**” dotata di “GNSS Receiver” e di “TSC3 Controller”.

**REPORT INDAGINI GEOELETTRICHE**

Località “Casteller”

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 006	A	5 di 20



**Fig. 2 - Estratto inquadramento territoriale dell'area oggetto di indagine (riquadro magenta) rispetto il tracciato della Circonvallazione di Trento (in giallo).**

**REPORT INDAGINI GEOELETTRICHE**

Località “Casteller”

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 006	A	6 di 20



**Fig. 3 - Estratto planimetrico delle indagini eseguite – Zona Riserva del Casteller: in blu gli stendimenti tomografici elettrici (L1, L2 e L3) e in verde i sondaggi geognostici. In giallo è indicato il tracciato ferroviario in progetto.**

**REPORT INDAGINI GEOELETTRICHE**

Località “Casteller”

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00 05 006	A	7 di 20

## 2.1 Report fotografico attività svolte

INDAGINE TOMOGRAFICA ELETTRICA 2D – *Particolare di stendimento elettrodico (sopra) ed apparecchiatura di registrazione (sotto).*



### 3 RILIEVI TOMOGRAFICI ELETTRICI

L'esecuzione dei rilievi tomografici elettrici, finalizzata alla ricostruzione spaziale delle unità geofisiche (nello specifico dette unità elettrostratigrafiche) presenti nel sottosuolo, caratterizzate quindi, in termini di resistività elettrica, si è articolata con l'acquisizione di dati in configurazione bidimensionale.

I profili sono stati acquisiti mediante il posizionamento di n. 240 elettrodi con spaziatura di 10.0m pari ad uno sviluppo lineare di 2390 m ciascuna; le ubicazioni planimetriche di dettaglio sono riportate negli elaborati grafici PROGRESSIVA **004** in scala 1:2.500.

In Fig. 4 è riportata l'area interessata dalle indagini realizzate, con riferimento all'andamento del tracciato di progetto della Circonvallazione di Trento.

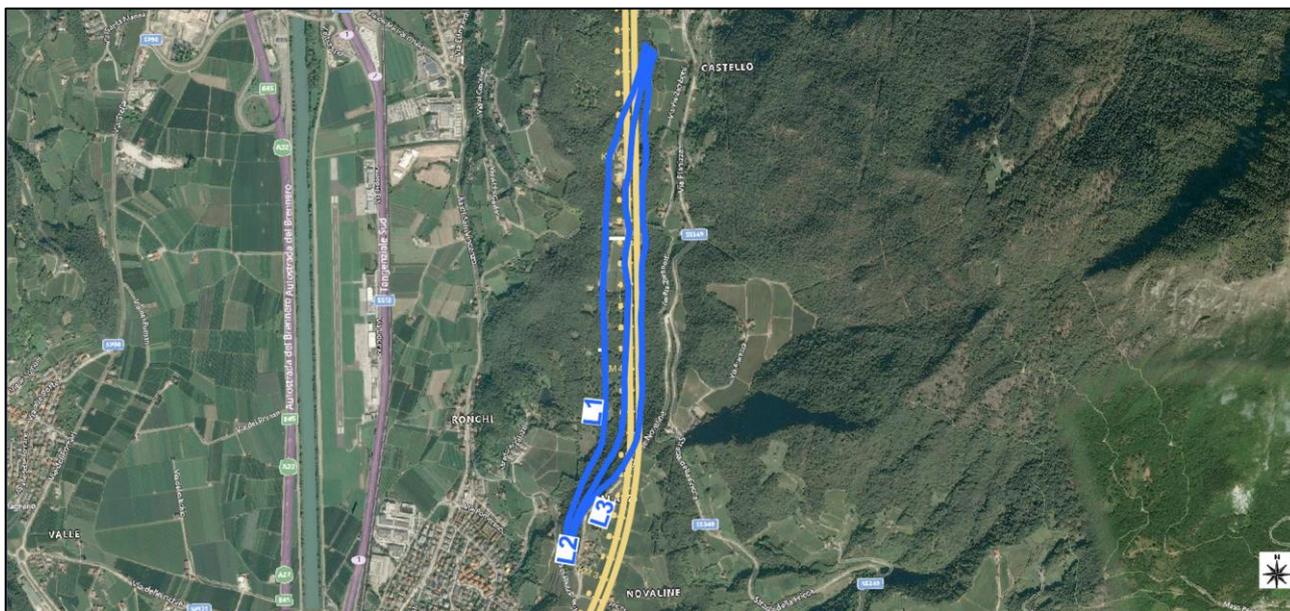


Fig. 4 – Ubicazione delle indagini tomografiche elettriche di tipo 2D (in blu) rispetto allo sviluppo del tracciato della Circonvallazione di Trento (linea gialla).

In Tabella 1 si riassumono le ubicazioni delle stese geoelettriche rispetto le progressive proiettate del tracciato ferroviario in progetto.

Sigla Prova	Progressive chilometriche tracciato (km)	
	da	a
L1	circa Km 3 + 220	circa Km 5 + 500
L2	circa Km 3 + 210	circa Km 5 + 500
L3	circa Km 3 + 220	circa Km 5 + 475

Tabella 1 – Ubicazione delle stese geoelettriche L1, L2 e L3 rispetto le progressive chilometriche del tracciato ferroviario di progetto.

 <p>GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>ASSE FERROVIARIO MONACO – VERONA          ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO          QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA – VERONA          LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</p>												
<p><b>REPORT INDAGINI GEOELETTRICHE</b>          Località “Casteller”</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IB0Q</td> <td>3A</td> <td>R 69 IG</td> <td>GE 00.05.006</td> <td>A</td> <td>9 di 20</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00.05.006	A	9 di 20
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00.05.006	A	9 di 20								

### 3.1 Tomografia elettrica

La metodologia “geoelettrica” rappresenta uno dei metodi geofisici storicamente più utilizzati per la ricostruzione delle strutture presenti nel sottosuolo con particolare riferimento alle tematiche legate alla caratterizzazione delle diverse formazioni geolitologiche.

Gli sviluppi dell’elettronica e delle procedure di acquisizione dati gestite via software, hanno consentito di applicare questa metodologia, un tempo lenta e laboriosa, ai più disparati settori dello studio del sottosuolo con tempistiche e grado di dettaglio del tutto innovativi.

### 3.2 Cenni teorici

Il parametro di base è la “resistività elettrica”, proprietà fisica che esprime la “resistenza” che i materiali offrono al passaggio della corrente elettrica.

Le misure geoelettriche consentono, valutando le deformazioni del flusso di corrente indotte dalle proprietà fisiche dei materiali, di caratterizzare i materiali stessi e ricostruirne la distribuzione spaziale.

La resistività che caratterizza le “unità geologico-stratigrafiche” presenti nel sottosuolo, è determinata essenzialmente dai seguenti fattori:

- natura litologica (conducibilità intrinseca dei componenti minerali di base);
- porosità e/o fratturazione e quindi forma, dimensione e continuità dei pori;
- percentuale di presenza di fluidi interstiziali (essenzialmente presenza di acqua);
- grado di salinità dell’acqua di saturazione;
- presenza di matrice fine.

### 3.3 Modalità di misura

La misura del valore di resistività elettrica si realizza, dalla superficie del terreno, creando un campo elettrico artificiale, studiandone la distribuzione nel sottosuolo e, in particolare, le “distorsioni” indotte dalle eterogeneità presenti nello stesso.

Il dispositivo di misura classico è costituito da due coppie di elettrodi metallici infissi nel terreno a distanze opportune (dispositivo quadripolare). Generalmente i dispositivi utilizzati sono simmetrici rispetto ad un punto centrale O, al quale si riferisce il valore misurato (Fig. 5).

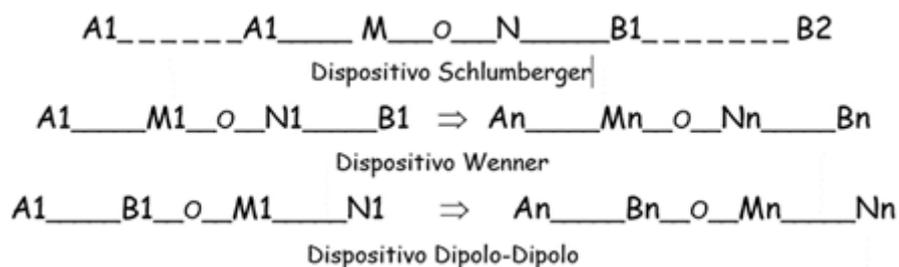


Fig. 5 – Esempi di alcune possibili configurazioni elettrodiche.

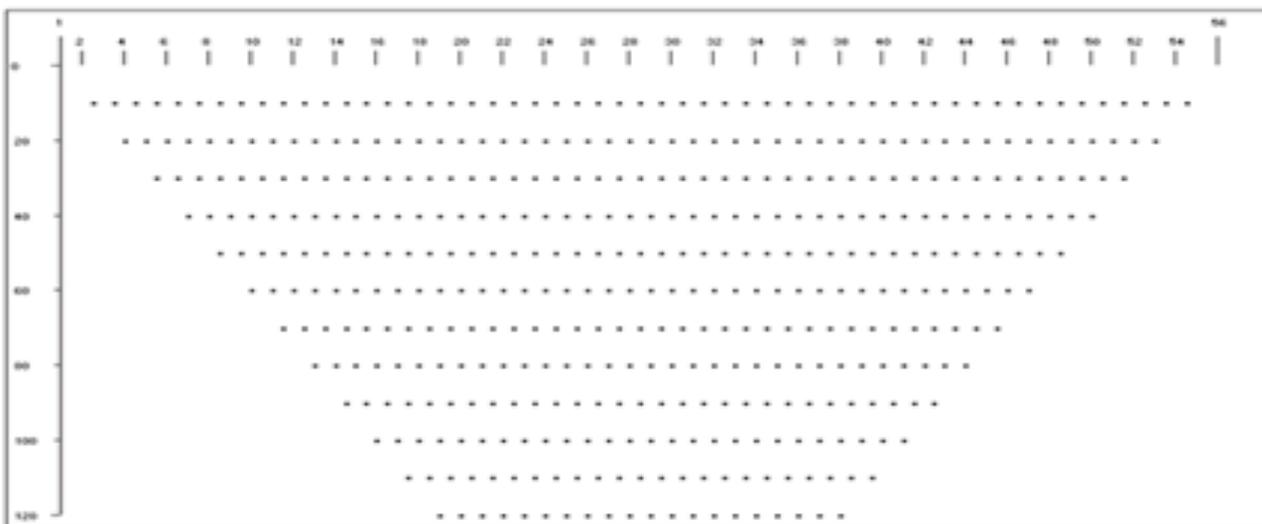
	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO – VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA – VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
<b>REPORT INDAGINI GEOELETTRICHE</b>  Località “Casteller”	<b>COMMESSA</b>  IB0Q	<b>LOTTO</b>  3A	<b>CODIFICA</b>  R 69 IG	<b>DOCUMENTO</b>  GE 00.05.006	<b>REV.</b>  A	<b>FOGLIO</b>  10 di 20

La coppia (A-B) costituisce il circuito di immissione della corrente nel terreno, misurata in termini di intensità (I), mentre la coppia (M-N) misura la differenza di potenziale (DV) generata nel terreno stesso dal passaggio della corrente. Si misurano così le variazioni del campo elettrico, indotte dalle eterogeneità litologiche presenti nel sottosuolo; queste variazioni sono più o meno marcate in funzione del contrasto di resistività elettrica esistente fra mezzi con caratteristiche differenti.

La profondità dell’esplorazione è direttamente proporzionale alla distanza tra i due elettrodi A e B e alle caratteristiche intrinseche del mezzo esplorato.

La scelta del dispositivo più opportuno è legata alle condizioni dell’area da indagare, sia in termini strutturali sia di rapporto segnale-rumore (S/N).

L’innovazione fondamentale introdotta dalla metodica tomografica è rappresentata dall’utilizzo di strumentazioni digitali “multicanale”, in grado di gestire automaticamente un gran numero di elettrodi che, riducendo largamente i tempi di acquisizione dei dati, forniscono la misura della resistività in corrispondenza di un elevato numero di punti costituenti la sezione indagata (Fig. 6).



**Fig. 6 - Tomografia elettrica – Esempio di distribuzione delle misure in acquisizione 2D.**

Grazie all’elevata densità dei punti si rende quindi possibile, nella fase di elaborazione, l’applicazione di potenti algoritmi di “inversione” che consentono, per cicli di iterazione successivi, la ricostruzione di un modello di resistività calcolata di estremo dettaglio, sia in senso verticale (stratificazione), sia in senso orizzontale. Definendo in tal modo anche la presenza di eventuali “variazioni laterali” e quindi restituendo una rappresentazione finale largamente corrispondente alla reale distribuzione delle diverse unità geologiche presenti nel sottosuolo.

La capacità della tomografia elettrica di discriminare con grande dettaglio le diverse unità geofisiche, le variazioni laterali, nonché le eventuali “inversioni di resistività” (che costituiscono un grande limite per altre metodologie di indagine) rappresenta una fondamentale caratteristica del metodo.

### 3.4 Modalità di intervento

In termini operativi, l’acquisizione della tomografia elettrica si realizza secondo sezioni bidimensionali (2D) nelle quali gli elettrodi vengono installati sul terreno, a passo regolare, lungo lo stendimento oggetto dell’indagine, la cui lunghezza è definita in funzione dalla profondità che si intende esplorare, mentre il dettaglio è funzione della distanza

elettrodica. Entrambe queste dimensioni rappresentano quindi un aspetto fondamentale per la progettazione dell'intervento.

Per ambiti di indagine limitati, è possibile intervenire anche con modalità di acquisizione a geometria tridimensionale (3D), disponendo gli elettrodi secondo griglie regolari (XY).

In fase di elaborazione è comunque possibile, come nel caso in esame, l'elaborazione 3D sulla base di una geometria di acquisizione 2D, laddove la distribuzione geometrica dei singoli profili lo consente.

### 3.5 Acquisizione dati

I dati sono stati acquisiti tramite un georesistivimetro digitale a 144 canali del tipo AMBROGEO MANGUSTA SYSTEM MC (Fig. 7). Lo strumento è costituito da una unità hardware di acquisizione gestita da un laptop e da unità periferiche (switch box, elettrodi passivi, cavi impermeabili e picchetti metallici) e da moduli esterni di energizzazione “booster” elevatori di corrente.



Fig. 7 - Georesistivimetro digitale del tipo MANGUSTA SISTEM MC (a sinistra in alto), strumentazione utilizzata in fase di acquisizione (a sinistra in basso) e particolare di elettrodo passivo posizionato su picchetto metallico (a destra).

La principale innovazione introdotta dalla strumentazione utilizzata è rappresentata dalla gestione totalmente automatizzata delle misure che si realizza attraverso un “command file”, che consente l'acquisizione di un numero di

	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO – VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA – VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>REPORT INDAGINI GEOELETTRICHE</b>  Località “Casteller”	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 00.05.006	REV. A

misure molto elevato in tempi decisamente ridotti, aspetto che si traduce nella possibilità di raggiungere un livello di indagine di estremo dettaglio.

L’acquisizione automatica dei dati e quindi l’elevata velocità di esecuzione devono essere, peraltro, precedute da una scrupolosa fase preliminare di verifica del “layout” ottimale della linea degli elettrodi che riveste una fondamentale importanza al fine di ottenere un elevato standard di qualità dei dati. A tale scopo la strumentazione è in grado di eseguire, in questa fase, la verifica dei valori di resistenza di contatto degli elettrodi in modo da consentire un eventuale intervento di miglioramento dalla stessa e quindi evitare misure di bassa qualità. Solo a seguito della verifica del layout si procede con la fase di acquisizione dati (Fig. 8).

Ogni misura di resistività viene effettuata con una ripetizione del ciclo “+-+” di cui viene calcolato il valore della deviazione standard.

La configurazione elettrodica in genere utilizzata per i rilievi tomografici elettrici 2D è del tipo Wenner e Schlumberger.



**Fig. 8 – Fase di registrazione dati**

### 3.6 Elaborazione dati

L’elaborazione dei dati ha seguito il seguente schema:

- analisi statistica preliminare del dato acquisito, attraverso lo studio della distribuzione di frequenza dei valori di resistività apparente originali misurati; successivamente a tale confronto si è eseguito un filtraggio scartando di volta in volta i valori più estremi (meno rappresentati nell’istogramma di frequenza);
- creazione del modello iniziale da utilizzare per l’inversione 3D;
- esecuzione di algoritmi finalizzati al calcolo della resistività reale del terreno in funzione della profondità (processo di inversione);
- inversione 3D e la ricostruzione dei volumi di resistività elettrica tramite iterazioni finalizzate alla riduzione dei valori di resistività teorica e quella misurata;

I passi indicati sono stati sinteticamente sviluppati tramite l’utilizzo dei seguenti pacchetti software:

- RES3DINV 2.16

Programma che, dai dati di resistività apparente calcolata e già preliminarmente filtrati attraverso analisi statistica, utilizzando adeguate tecniche d’inversione, produce un modello tridimensionale di resistività reale vs profondità.

Il programma permette all’utente di selezionare i parametri d’inversione più adeguati, successivamente il processo prosegue in automatico.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO – VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA – VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
	<b>REPORT INDAGINI GEOELETTRICHE</b>  Località “Casteller”	COMMESSA IB0Q	LOTTO 3A	CODIFICA R 69 IG	DOCUMENTO GE 00.05.006	REV. A

• CTECH – EARTH VOLUMETRIC STUDIO

Programma che, dai dati di “resistività vera vs profondità” ottenuti dal processo d’inversione, permette di definire il modello elettrostratigrafico volumetrico dei terreni indagati.

Attraverso tale software è stato possibile produrre diverse “slices orizzontali” dei valori di resistività elettrica, relativi a diverse profondità d’indagine (in m s.l.m.) raggiunte dai rilievi tomografici elettrici eseguiti.

Infine, da tale software di elaborazione 3D, si sono estratti i dati necessari per ricostruire sezioni bidimensionali dei valori di resistività elettrica.

• GOLDEN SOFTWARE – SURFER

Software utilizzato per la rappresentazione bidimensionale dei dati acquisiti tramite curve ad isovalore (contouring) di resistività elettrica.

Le procedure di lavoro adottate hanno consentito di acquisire dati di un elevato livello qualitativo e pertanto il successivo processo d’inversione per l’elaborazione dei modelli delle sezioni/volumi finali, ha raggiunto livelli minimi di scostamento tra i valori di resistività apparente acquisiti e i valori calcolati.

Inoltre, la ricostruzione volumetrica dei modelli di resistività dei terreni è conforme ai dati in ingresso, questo grazie all’algoritmo “Kriging” implementato in maniera robusta nel programma di elaborazione 3D utilizzato, che ha permesso diverse possibilità di parametrizzazione del processo di calcolo e una robusta valutazione del variogramma in base ai dati di ingresso.

Le sezioni e i modelli volumetrici allegati (PROGRESSIVA 005) ed inseriti negli estratti da Fig. 10 a Fig. 17, nei quali tramite opportune scale colorimetriche (Fig. 9), è stata rappresentata la distribuzione dei valori di resistività elettrica, mostrano il miglior modello bidimensionale e tridimensionale calcolato e consentono di evidenziare la presenza di differenti unità geofisiche ed i reciproci rapporti stratigrafici.

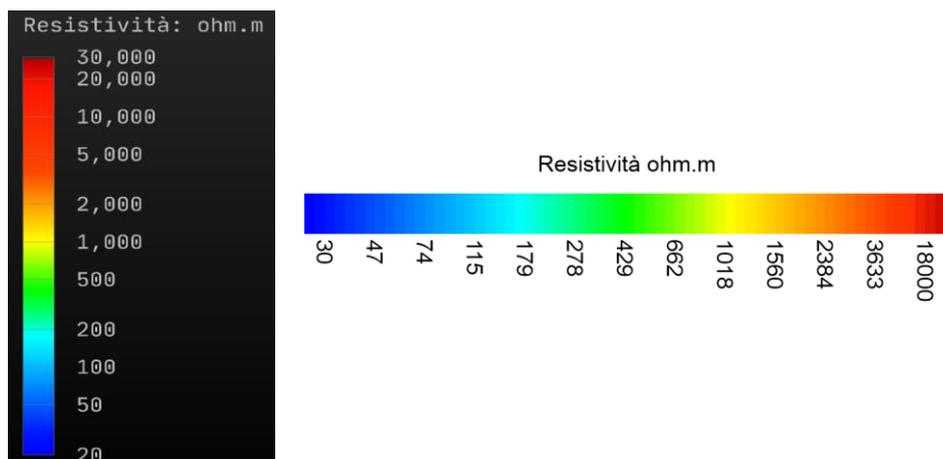


Fig. 9 – Scale colorimetriche dei valori di resistività elettrica (ohm.m) utilizzate per le elaborazioni 3D (a sinistra) e 2D (a destra).

	<b>ASSE FERROVIARIO MONACO – VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA – VERONA</b> <b>LOTTO 3A: CIRCONVALLAZIONE DI TRENTO</b>					
<b>REPORT INDAGINI GEOELETTRICHE</b>  Località “Casteller”	<b>COMMESSA</b>  IB0Q	<b>LOTTO</b>  3A	<b>CODIFICA</b>  R 69 IG	<b>DOCUMENTO</b>  GE 00.05.006	<b>REV.</b>  A	<b>FOGLIO</b>  14 di 20

### 3.7 Analisi dei dati

I valori di resistività registrati, rapportati ai litotipi presenti nella zona, nonché al contesto geologico dell'area, hanno consentito la discriminazione di n.2 unità geofisiche:

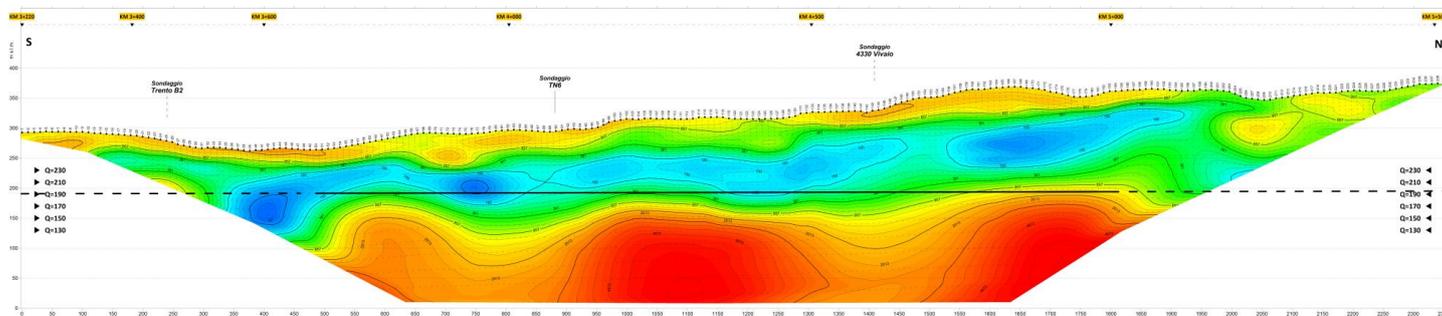
- unità da **resistive a molto resistive** ( $\rho > 1000$  ohm.m - colore giallo-arancione-rosso) riferibili a materiali grossolani prevalentemente ghiaioso-sabbiosi insaturi (depositi quaternari) e/o in profondità ad elementi del substrato roccioso più compatto;
- unità da **mediamente resistive a conduttive** ( $\rho < 1000$  ohm.m - colore verde-azzurro-blu) rappresentative dei materiali a granulometria piuttosto eterogenea, costituiti sia da materiali grossolani con abbondante presenza di matrice fine (limi e argille) e/o alle porzioni di substrato con incremento della componente pelitica e/o alle porzioni meno compatte e più tettonizzate e alterate del substrato roccioso di diversa natura. Ove i valori di resistività risultano inferiori a 200 ohm.m (colore azzurro-blu), è verosimile ipotizzare il passaggio a una prevalente presenza di materiali fini (limi ed argille).

Con tale premessa, è possibile osservare che il sottosuolo dell'area presenta, in generale, la sovrapposizione di n.3 livelli:

- Livello di copertura resistivo individuato con buona continuità soprattutto nel settore meridionale e centrale dell'area indagata, con uno spessore mediamente compreso tra 20.0 e 40.0 m e riferibile a materiale di accumulo detritico, grossolano localmente insaturo;
- Livello intermedio, complessivamente da mediamente resistivo a conduttivo, riferibile in prevalenza a materiali detritico-grossolani con abbondante presenza di matrice fine, verosimilmente saturi e/o alle porzioni meno compatte e/o alterate del substrato roccioso di diversa natura. Il livello è caratterizzato da spessore piuttosto variabile anche in ragione della possibile presenza di elementi strutturali (faglie), intersecanti le sezioni, in corrispondenza dei quali si verifica una riduzione dei valori di resistività dell'ammasso, dovuta alle relative fasce di alterazione;
- Livello di fondo, nel complesso altamente resistivo, indicativo delle porzioni più compatte del substrato roccioso.

Con riferimento a tale schema generale, nei paragrafi seguenti da 3.7.1 a 3.8.1, sono riportati in dettaglio i risultati delle elaborazioni realizzate in configurazione 2D e 3D.

### 3.7.1 Sezione tomografica elettrica 2D – L1



**Fig. 10 – Sezione L1.**

La sezione L1 ha permesso di evidenziare le seguenti unità:

- Unità resistiva di copertura (colore giallo-arancione):** si differenzia con buona continuità nella porzione meridionale e centrale della sezione sino alla progressiva del profilo 1900 m. Presenta spessore medio prossimo a 30.0 m ed è riferibile ai depositi detritici di natura prevalentemente grossolana ghiaioso-sabbiosa. In tale livello i valori di resistività elettrica si mantengono compresi tra 1000 e 2500 ohm.m;
- Unità intermedia da mediamente resistiva a conduttiva (colore verde-azzurro-blu):** costituita nel complesso da valori di resistività elettrica compresi tra 200 e 1000 ohm.m (colore verde), riferibili sia a depositi detritici con più abbondante presenza di matrice fine (limi ed argille) e sia agli elementi sommitali meno compatti e/o alterati del substrato roccioso di natura eterogenea. Localmente si distingue la presenza di settori più conduttivi ove i valori di resistività elettrica si riducono sino a 60 ohm.m (colore azzurro-blu), associabili a una prevalenza di frazione fine. L'unità presenta spessore piuttosto omogeneo nel settore centrale della sezione, mediamente prossimo a 130.0 m. Solamente nel settore meridionale tende ad approfondirsi, mentre all'estremità settentrionale, oltre la progressiva 1900 m il livello appare prossimo al piano campagna.
- Unità di fondo altamente resistiva (colore arancione scuro-rosso):** è caratterizzata da valori di resistività elettrica abbondantemente superiori a 2000 ohm.m sino a 5000 ohm.m, riferibili alle porzioni più compatte del substrato roccioso. Il limite superiore dell'unità si attesta a partire mediamente da -150.0 m dal p.c..

### 3.7.2 Sezione tomografica elettrica 2D – L2

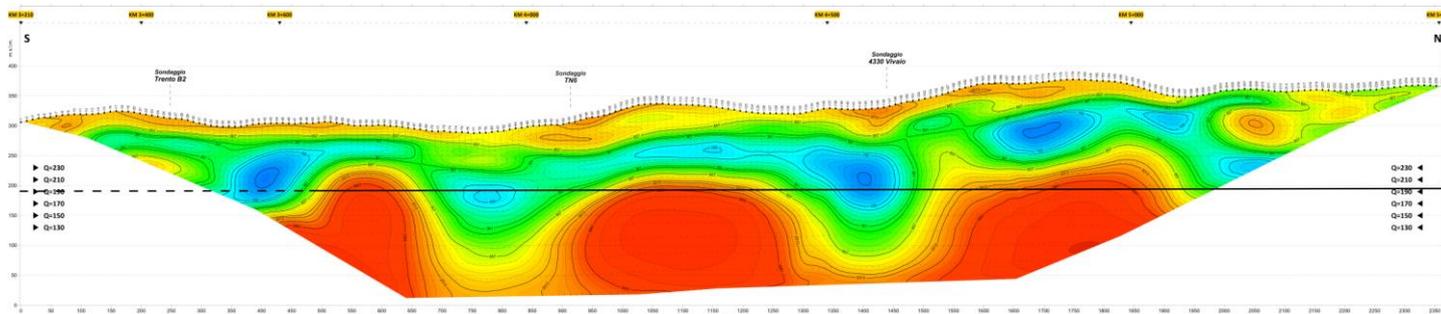


Fig. 11 - Sezione L2.

Nella sezione L2, analogamente alla sezione L1, è possibile distinguere le medesime unità già differenziate in precedenza, in particolare:

- **Unità resistiva di copertura (colore giallo-arancione):** si definisce con continuità, con spessore variabile tra 20 e 50 m, sino alla progressiva 1900 m. Punto oltre il quale, come già descritto per la L1, la situazione sembra più eterogenea;
- **Unità intermedia da mediamente resistiva a conduttiva (colore verde-azzurro-blu):** presenta spessore piuttosto disomogeneo, dovuto verosimilmente all'intersezione di diversi possibili elementi strutturali (piani di faglia) verosimilmente localizzati in corrispondenza dei punti di evidente contrasto laterale dei valori di resistività (passaggio colore rosso-verde). Tali strutture, nel dettaglio, si individuano in prossimità della progressiva 500 m, tra le progressive 700 - 900 m, tra 1300 e 1500 m e in prossimità della progressiva 1950 m. Per tale ragione all'unità si associano inoltre gli elementi tettonizzati, localizzati nei pressi delle strutture indicate sopra e tra le quali si raggiunge la profondità massima del limite inferiore dell'unità superiore a -200 m dal p.c.;
- **Unità di fondo altamente resistiva (colore arancione scuro-rosso):** il livello, in ragione della presenza degli ipotizzati piani di faglia, si distingue con profondità variabili, da un minimo di circa -70.0 m dal p.c. (tra le progressive 500 e 650 m) a un massimo superiore a -200 m dal p.c., in prossimità delle strutture presenti nel tratto centrale della sezione.

### 3.7.3 Sezione tomografica elettrica 2D – L3

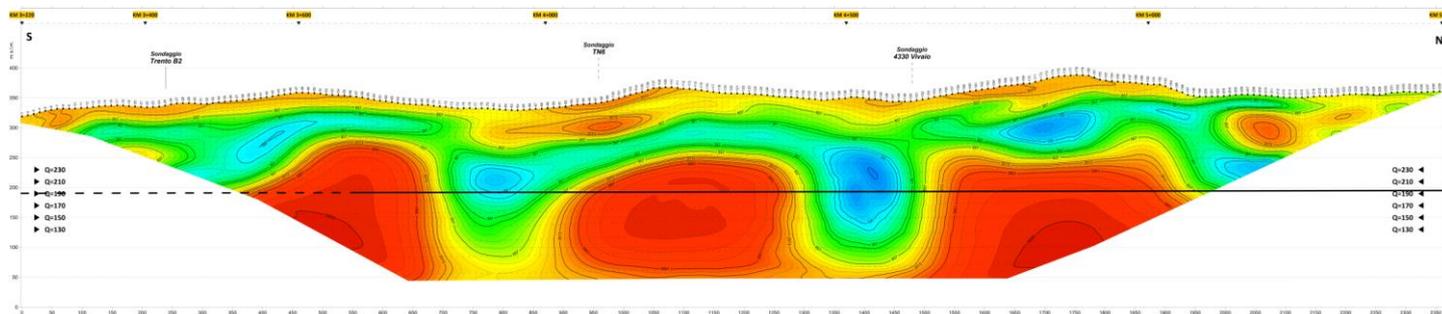


Fig. 12 - Sezione L3.

Nella sezione L3 (Fig. 12), l'andamento delle unità geofisiche individuate e le relative strutture associate, risulta comparabile alla precedente sezione L2. In particolare:

- **Unità resistiva di copertura (colore giallo-arancione):** si individua con continuità, sino alla progressiva 1950, con uno spessore variabile, che mostra un massimo di oltre 50 m nel tratto centrale;
- **Unità intermedia da mediamente resistiva a conduttiva (colore verde-azzurro-blu):** come nella precedente sezione L2 presenta spessore marcatamente disomogeneo dovuto all'intersezione di possibili piani di faglia. Essi si individuano nei tratti caratterizzati da un forte contrasto laterale dei valori di resistività (passaggio di colore rosso-verde), in particolare tra le progressive 350-500 m, tra 700-900 m, tra 1300-1500 m e tra 1900-1950 m;
- **Unità di fondo altamente resistiva (colore arancione scuro-rosso):** il limite superiore si attesta a profondità variabile in ragione della presenza della citata ipotizzata presenza di elementi strutturali. Il tetto dell'unità si individua quindi a partire da una profondità minima prossima a -70.0 m dal p.c. tra le progressive 500-650 m, sino ad un massimo superiore a -250.0 m dal p.c. nella porzione centrale della sezione.

### 3.8 Modellazione 3D

Dall’elaborazione congiunta delle tre sezioni parallele acquisite, è stato possibile ricostruire un modello 3D del sottosuolo dell’area, in modo da rendere possibile una “lettura” spaziale dell’unità geofisiche individuate e quindi ricostruire, in particolare, la geometria degli elementi strutturali ipotizzati (Fig. 13).

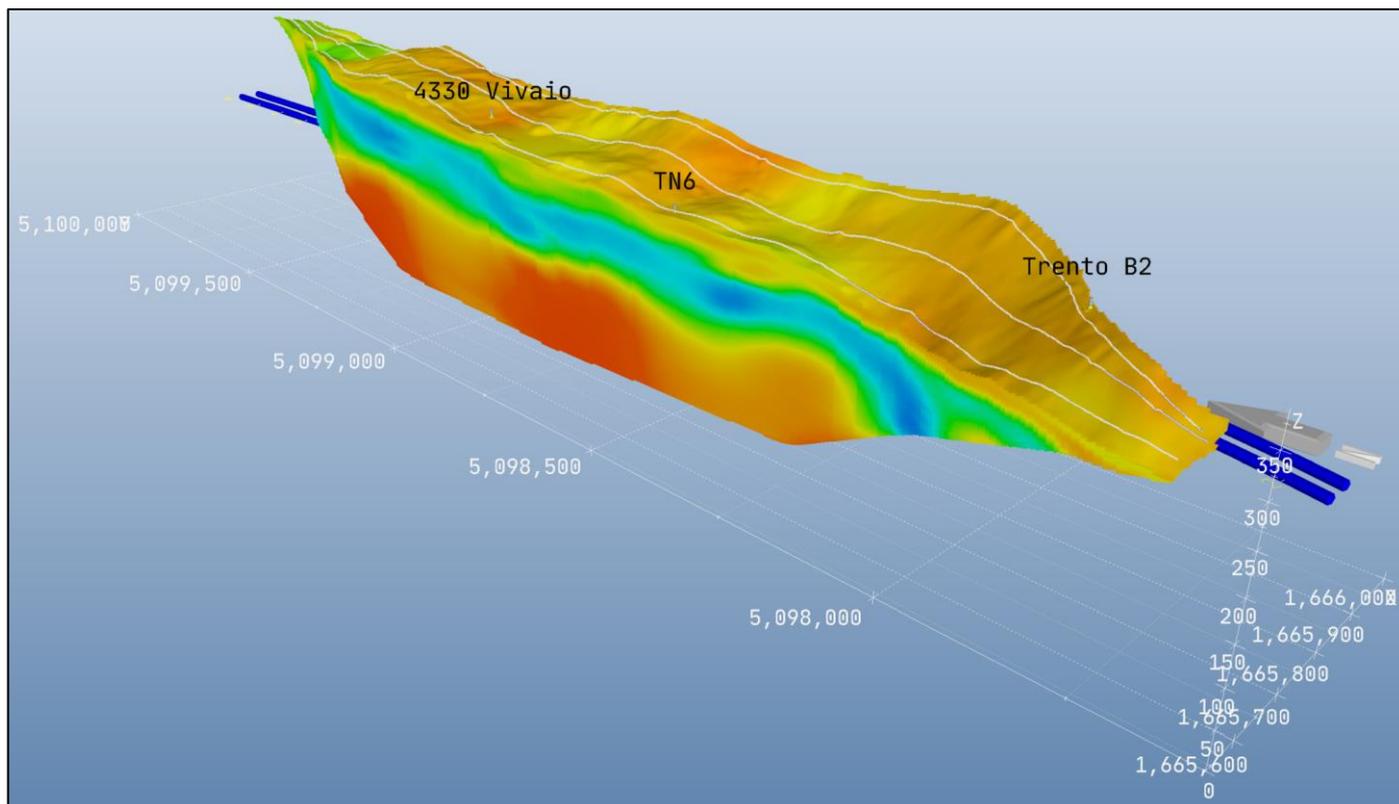


Fig. 13 – Modello 3D – Distribuzione volumetrica dei valori di resistività elettrica -vista da SW.

La disponibilità di tale modello 3D consente di “estrarre” e analizzare in dettaglio la distribuzione delle unità geofisiche sopradescritte secondo sezioni verticali, orizzontali e volumi preferenziali.

#### 3.8.1 Sezioni verticali, orizzontali (slices) e isovolumi

A titolo esemplificativo, in Fig. 14, è stata riportata la sezione verticale elaborata in corrispondenza della traccia del binario ovest della galleria in progetto. In particolare, si osserva la corrispondenza della distribuzione e degli spessori delle unità geofisiche evidenziate con le analoghe unità descritte per la sezione L2 (Fig. 11) a cui si rimanda.

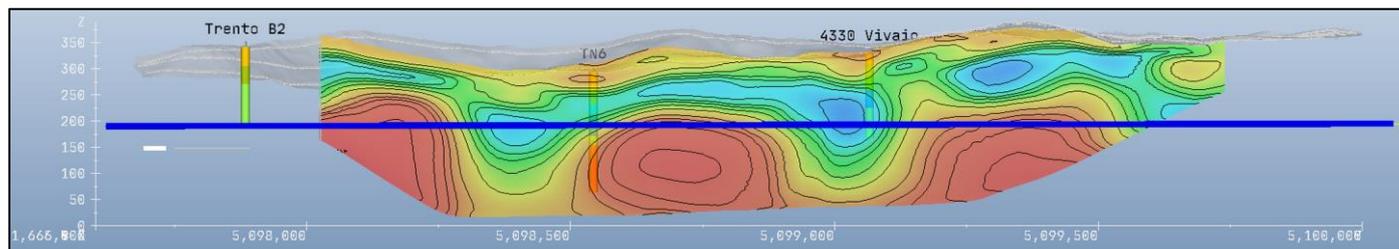


Fig. 14 – Sezione verticale “estratta” in corrispondenza del binario ovest della galleria in progetto (vista da Est).

L’elaborazione 3D dei rilievi tomografici elettrici eseguiti ha consentito di produrre anche diverse sezioni orizzontali (slices) della distribuzione dei valori di resistività, relative a diverse profondità di interesse espresse in m s.l.m..

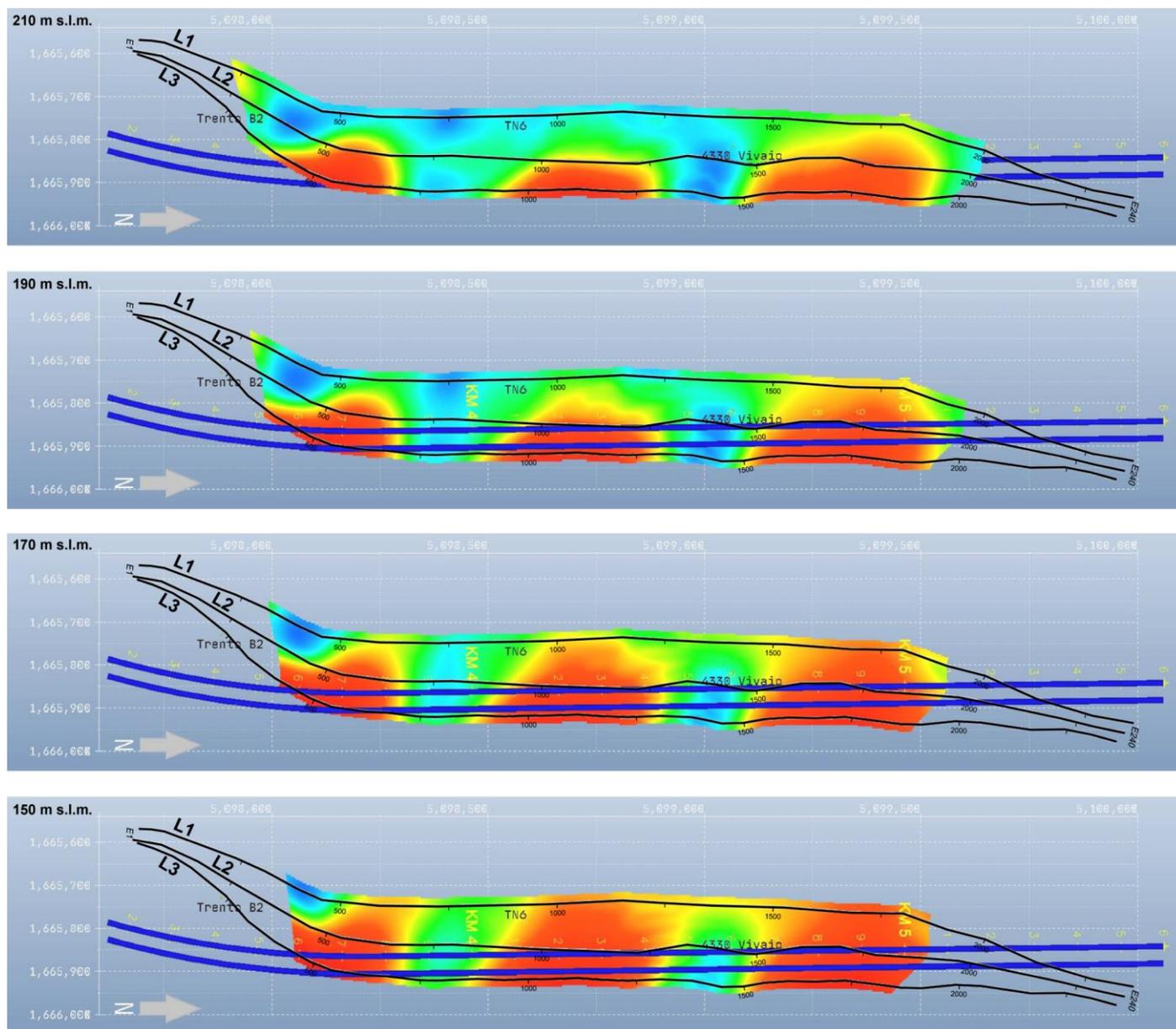


Fig. 15 - Estratto in formato ridotto di alcune delle sezioni orizzontali prodotte (slices) relative a diverse quote in m s.l.m. (da 210 a 150 m s.l.m.).

In particolare, dalle sezioni orizzontali sopra riportate (Fig. 15) è possibile osservare l’andamento laterale delle strutture presenti nel tratto centrale del modello e, in particolare, la variazione della loro geometria in funzione della quota e quindi dedurne informazioni sulle rispettive inclinazioni spaziali.

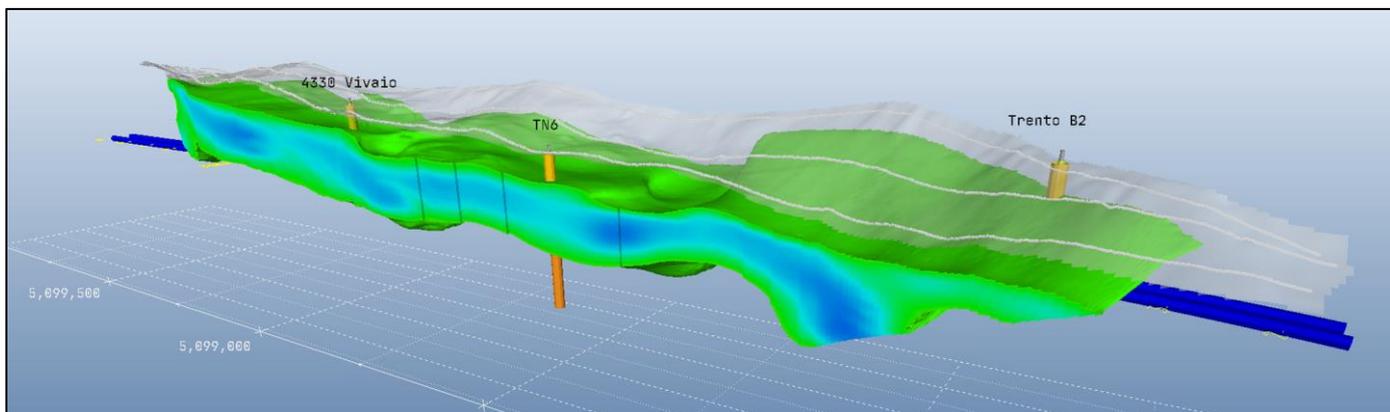
**REPORT INDAGINI GEOELETTRICHE**

Località “Casteller”

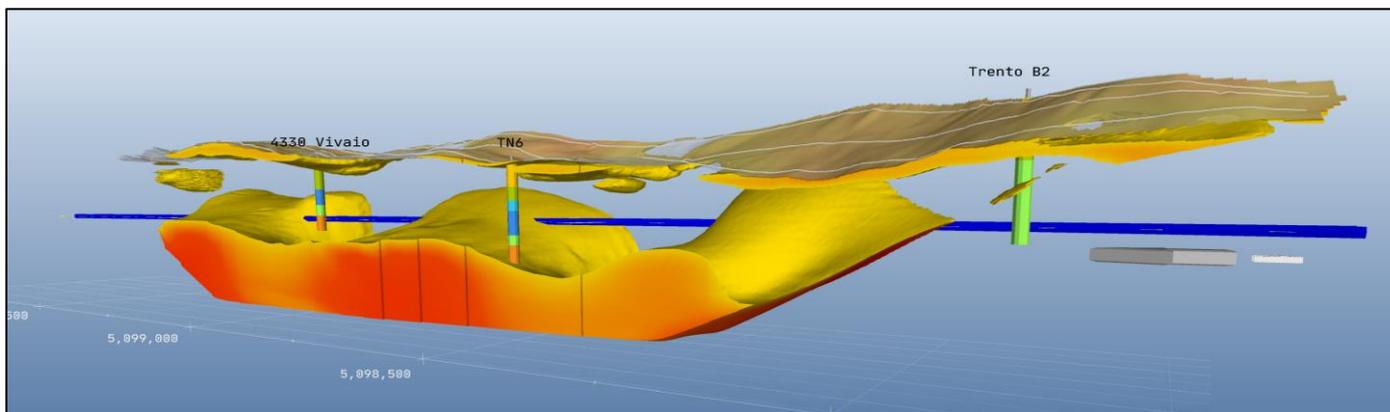
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IB0Q	3A	R 69 IG	GE 00.05.006	A	20 di 20

Tramite l’elaborazione 3D è inoltre possibile visualizzare l’estensione volumetrica delle unità geofisiche discriminate ed eventualmente estrarre lo sviluppo di una specifica unità geofisica. In Fig. 16, ad esempio, è visibile l’andamento spaziale dell’unità intermedia, individuata come “da mediamente resistiva a conduttiva”, visualizzata tramite l’isovolume dei valori di resistività elettrica < 500 ohm.m.

Nell’immagine successiva (Fig. 17) sono viceversa differenziate in particolare le due unità resistive, distinguibili tra unità di copertura, e l’unità profonda, associabile alle “porzioni più compatte del substrato roccioso” (isovolume > 1300 ohm.m).



**Fig. 16 – Estratto di isovolume di resistività elettrica, valori < 500 ohm.m (unità da mediamente resistiva a conduttiva) – Vista da SW.**



**Fig. 17 – Estratto di isovolume di resistività elettrica, valori > 1300 ohm.m (unità resistive) – Vista da SW.**