

ERT (ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY)

RAPPORTO TECNICO



REV.	Data e località	Ditta	Redatto	Controllato	Approvato	COMM.-JOB:
0			Dott. Giuseppe Coco	<i>[Signature]</i> Dr. M. Corrao Dr.	Dott. Giuseppe Coco	

1

CONSORZIO L.R.
Laboratori Riuniti

Codice Fiscale, P. IVA e Iscrizione al Reg delle Imprese di Catania n. 05184000874. Iscritta al R.E.A. 270647

consorzio@lr-srl.it

www.LR-SRL.it

Uffici e Sede legale

Via Pablo Picasso n. 2
95037 San Giovanni La Punta (CT)

Tel. +39 095 336490

Laboratorio Aut. L. 1086/71

Zona Industriale, Capannone n. 5
94010 Catenanuova (EN)

Fax +39 095 7336297

Laboratorio Aut. Terre e Rocce

Via C. Colombo n. 69
94018 Troina (EN)

INDICE

pag.

1.0 -PREMESSE	3
2.0 - QUADRO NORMATIVO	3
3.0 –UBICAZIONE.....	4
6.0 -PROSPEZIONE GEO-ELETTRICA TOMOGRAFICA.....	4
6.1 - Generalità	4
6.1.2 Resistività delle rocce	5
6.1.3 - Strumentazione ed acquisizione dati.....	9
6.2 -PROSPEZIONE GEOELETTRICA TOMOGRAFICA BI-DIMENSIONALE	11
6.2.1 - Geometria	11
6.3 - RISULTATI ED INTERPRETAZIONE PROFILO ELETTRORESISTIVI.....	12
• ERT_1.....	13
• ERT_2-3	15
• ERT_4.....	17
• ERT_5.....	19
• ERT_6.....	21
• ERT_7.....	23

1.0 -PREMESSE

Le prove geofisiche oggetto del presente rapporto sono state eseguite nell'ambito di uno studio finalizzato alla definizione delle proprietà sismiche, elastiche e georesistive dei terreni interessati dal progetto per il Metanodotto Gagliano – Termini Imerese 2° fase.

A tal fine sono state eseguite prove geofisiche non invasive di tipo geo-elettrico tomografiche 2D (ERT2D ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY).

Di seguito sono tabulate le quantità, le denominazioni e le configurazioni geometriche eseguite:

ID Tomografia elettrica	Tipologia	LUNGHEZZA c-u- (m)	SOVRAPPOSIZIONE (m)
ERT_1	Resistività	320	/
ERT_2		320	/
ERT_3		240	40
ERT_4		320	/
ERT_5		160	/
ERT_6		220	/
ERT_7		220	/

Tabella 1 – Elenco e configurazione dei transetti sismici eseguiti.

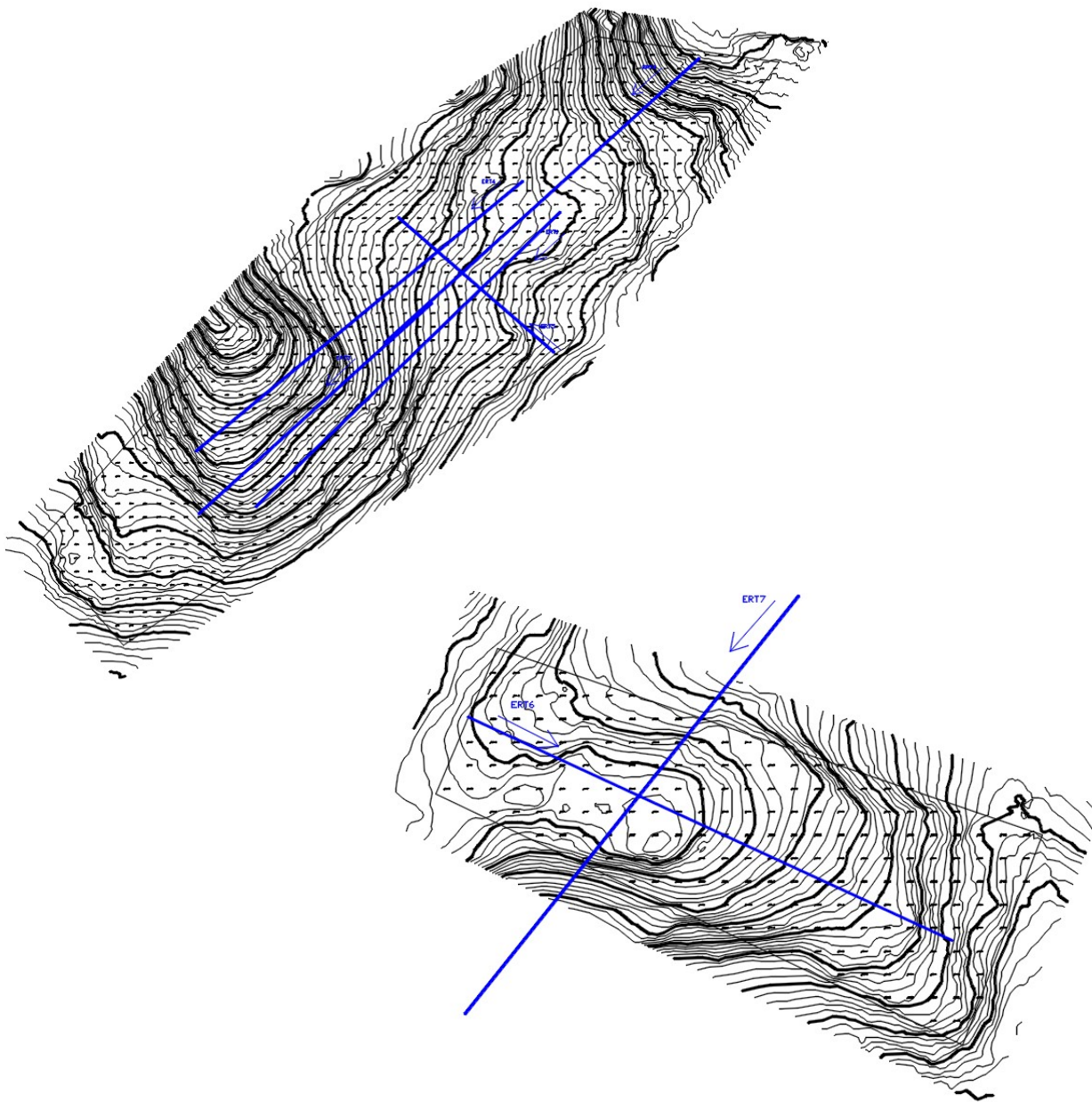
2.0 - QUADRO NORMATIVO

Le indagini geofisiche sono state eseguite secondo le seguenti norme tecniche:

- ✓ (ASTM D6431-99, 2005) – Tomografia elettrica

3.0 –UBICAZIONE

L'area investigata è ubicata nelle cartografie di seguito riportata.



La “Tomografia Elettrica”, consiste nella determinazione di profili di resistività e/o caricabilità attraverso la disposizione sul terreno di un numero elevato di elettrodi che progressivamente vengono spostati lungo una data direzione variandone la distanza inter-elettrodica al fine di aumentare la profondità d’investigazione. Il set di dati così ottenuto consente la costruzione di una matrice di valori di resistività la cui inversione, mediante algoritmi matematici, restituisce la definizione del mezzo investigato in “immagini” di elettro-resistive.

4.1.2 Resistività delle rocce

La resistività delle rocce, considerando che queste sono praticamente isolanti, dipende principalmente dalla presenza di acqua nei pori. La quantità dei pori nella roccia è definita dalla porosità che è data dal rapporto tra il volume dei pori e quello della roccia. Macrofessure o cavità laddove l’unica presenza è l’aria hanno un comportamento elettrico nullo, cioè la resistività tende a valori altissimi (infinito dal punto di vista teorico).

La resistività di una roccia dipende ancora dalla tessitura, cioè dalla disposizione, forma e dimensioni dei granuli che la compongono, e dai vuoti riempiti di acqua. Si precisa che le rocce ed i minerali non sono mezzi isotropi e cioè corpi materiali dove le grandezze fisiche si mantengono le stesse prescindendo dalla direzione, ma variano da leggermente a fortemente anisotropi. L’anisotropia delle rocce, relativamente alla resistività, è il risultato di una combinazione di differenti caratteristiche spaziali legate a microfessurazioni, stratificazioni variabili, tessitura, porosità.

Quindi riepilogando la resistività elettrica, oltre alle proprietà elettriche intrinseche del materiale indagato, principalmente dai seguenti fattori:

- grado di saturazione dei pori;
- porosità;
- la densità, ovvero lo stato d’addensamento (specie in terreni alluvionali) della formazione;
- la granulometria;
- l’eventuale grado di fatturazione;

<p>CONSORZIO L.R. Laboratori Riuniti</p> <p>Codice Fiscale, P. IVA e Iscrizione al Reg delle Imprese di Catania n. 05184000874. Iscritta al R.E.A. 270647</p> <p>consorzio@lr-srl.it</p> <p>www.LR-SRL.it</p>	<p>Uffici e Sede legale</p> <p>Via Pablo Picasso n. 2 95037 San Giovanni La Punta (CT)</p> <p>Tel. +39 095 336490</p>	<p>Laboratorio Aut. L. 1086/71</p> <p>Zona Industriale, Capannone n. 5 94010 Catenanuova (EN)</p> <p>Fax +39 095 7336297</p>	<p>Laboratorio Aut. Terre e Rocce</p> <p>Via C. Colombo n. 69 94018 Troina (EN)</p>
--	---	--	--

- la presenza di acqua o di umidità e quindi il grado di saturazione;
- salinità del fluido presente nei pori;
- la presenza di vuoti;
- temperatura;
- presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, ecc.);
- presenza di argilla.

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

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

dove:

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

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

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

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

In geoelettrica si osserva il “flusso” delle cariche attraverso le rocce, trascurando le tendenze allo squilibrio elettrico. Il flusso di cariche è la corrente elettrica che scorre per convezione da un polo positivo (+) ad un altro negativo (-). Questa si misura in Ampere (A) e cioè la quantità che passa in un punto del circuito nell’unità di tempo (1 secondo). Ciò che determina il flusso è la differenza di potenziale (d.d.p.) e cioè la depressione elettrica tra due punti distanti. La d.d.p. si misura in Volt (V). Nelle rocce il flusso di corrente è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale (V). Il rapporto tra d.d.p. e corrente (I), a meno di un coefficiente geometrico (K), definisce la resistenza offerta da un corpo a farsi attraversare da cariche. Questo semplice rapporto, definito come legge di Ohm, introduce una terza grandezza: la resistività elettrica (ρ).

$$\rho = K \frac{V}{I}$$

Vengono di seguito elencati i “range” di resistività di alcune rocce, minerali e metalli:

ROCCE – MINERALI - METALLI	Resistività (ohm*m)
Rocce sedimentarie	
Calcare	100 – 5000
Argilla	1 – 100
Ghiaia	100 – 5000
Sabbia	100 – 103
Arenaria	100 -104
Marna	1 - 100
Quarzite	5000 – 105
Rocce ignee e metamorfiche	
Basalto	10 – 105

*I valori sono assolutamente approssimativi.

Granito	100- 105
Marmo	100 – 106
Scisto	10 – 104
Gabbro	103 – 106
Ardesia	100 – 106
Minerali e metalli	
Pirite	0,0001 - 10
Argento	10-7
Grafite	0,001 - 1
Quarzo	105
Salgemma	10 – 109
Bauxite	200 - 6000
Galena	0,01 - 200
Acque	
Di mare	< 0,2
Pura	100 – 103
Naturale	1 - 100
Con 20% di sale (NaCl)	0,001

4.1.3 - Strumentazione ed acquisizione dati

La strumentazione utilizzata è un geo-resistivimetro multi-elettrodo digitale (24 bit) modello X612-EM aventi le seguenti caratteristiche tecniche:

Corrente in uscita:

- Regolazione automatica (5 step)
- Intensità massima: 5 A a 50V
- Tensioni di uscita: $\pm 50V$, $\pm 100V$, $\pm 250V$, $\pm 500V$, $\pm 800V$ (950V con generatore esterno opzionale)
- Potenza massima: 250W (600W con generatore esterno opzionale)
- Tempo di immissione: impostabile a partire da 0,25 sec. (visualizzazione grafica dell'onda impostata)
- Precisione della misura: $\pm 0,2\mu A$

Misura di potenziale:

- Misura simultanea su tutti i canali impostati
- Auto range
- Fondo scala massimo: $\pm 25V$
- Impedenza di ingresso: 2,5 M Ω
- Filtro frequenza di rete: 50 Hz
- Protezione: superiore
- Precisione della misura: $\pm 1,5\mu V$ nel range $\pm 25V$
- Riduzione del rumore: con media da 2 a 10 misure
- Azzeramento automatico del potenziale spontaneo
- Accuratezza della resistività misurata: $\pm 0,5\%$

L'acquisizione dei dati consiste nel generare corrente continua tramite elettrodi di corrente (poli di immissione) e misurare la differenza di potenziale che si genera nei picchetti di misura M – N, secondo geometrie prefissate. Le procedure seguite per l'operazione d'acquisizione dati può essere così riassunta:

- disposizione sul campo degli elettrodi lungo la geometria prefissata (scelta della configurazione geometrica polo-dipolo, wenner, dipolo dipolo);
- controllo della resistenza di contatto elettrodo/terreno;
- controllo della continuità elettrica tra cavo ed elettrodi;
- riduzione della resistenza di contatto, fino ad un 1K ohm;
- scelta delle tabelle di misura;
- misura dei potenziali spontanei;
- immissione della corrente secondo forma d'onda quadra ad intervalli di tempo regolari;
- misura ed archiviazione dati.

I dati archiviati sono in forma matriciale e contengono informazioni sulla consentendone l'immediata elaborazione.

Località: Sclafani/Caltavuturo
riferimento: Gasdotto
configurazione: Wenner-Schlumberger
intervallo: 10 (m)
note: -

mis	A	B	M	N	I (mA)	V (mV)	PS (mV)	ρ (Ohm*m)	s.d.	M (ms)
1	1	4	2	3	334.1	214.97	21.09	12.13	0.02	3.2
2	1	7	3	5	327.13	9.72	54.38	1.12	0.01	33.5
3	1	10	4	7	245.85	8.4	-45.12	1.93	0.01	12.6

Tabella 2 – Tabella misure di campagna

4.2 -PROSPEZIONE GEOELETTRICA TOMOGRAFICA BI-DIMENSIONALE

Ha avuto lo scopo, nella fattispecie, di localizzare e designare anomalie elettriche imputabili alla presenza di grossi blocchi quarzarenitici.

4.2.1 – Configurazione dispositivo geoelettrico.

Le linee geoelettriche sono state eseguite con geometrie lineari e configurazioni quadripolari tipo Wenner (Figure 1).

La configurazione quadripolare tipo Wenner-è una matrice che consente di ridurre gli effetti del “rumore” elettrico di base. La sensibilità associata alle misure di resistività eseguite con la geometria Wenner assume contorni quasi orizzontali sotto il centro della matrice. Ciò fa della geometria Wenner un buon metodo per risolvere variazioni verticali (cioè strutture orizzontali).

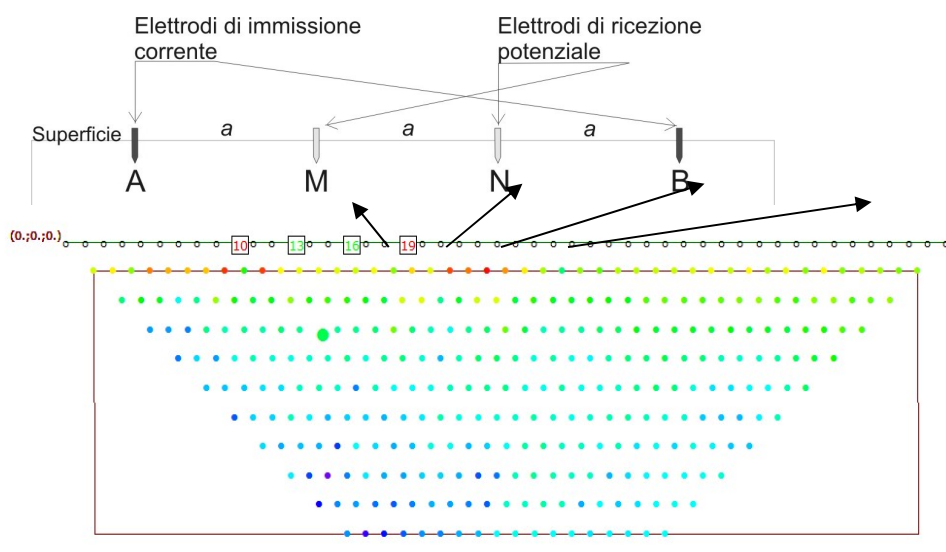


Figura 1. Configurazione Wenner

4.3 - RISULTATI ED INTERPRETAZIONE PROFILO ELETTRORESISTIVI

Di seguito si riportano i risultati delle linee elettro-tomografiche, che consistono nella restituzione grafica del modello di resistività normalizzato del sottosuolo (inversione tomografica) e del modello elettro-stratigrafico. Nella tabella seguente si riportano i valori di resistività, il tipo di elettrostrato, riferimento litologico e la relativa scala cromatica (figura 10).

resistività	elettrostrato	litotipo
Res. < 50.0 ohm*m	Conduttivo (C)	Argille e/o argille limose
50.1 Ohm*m > Res. < 150.1 Ohm*m	Medio-Resistivo (MR)	Rocce carbonatiche
Res. > 150.0 ohm*m	Resistivo (R)	Rocce fratturate

Tabella 3 - elettrostratigrafia

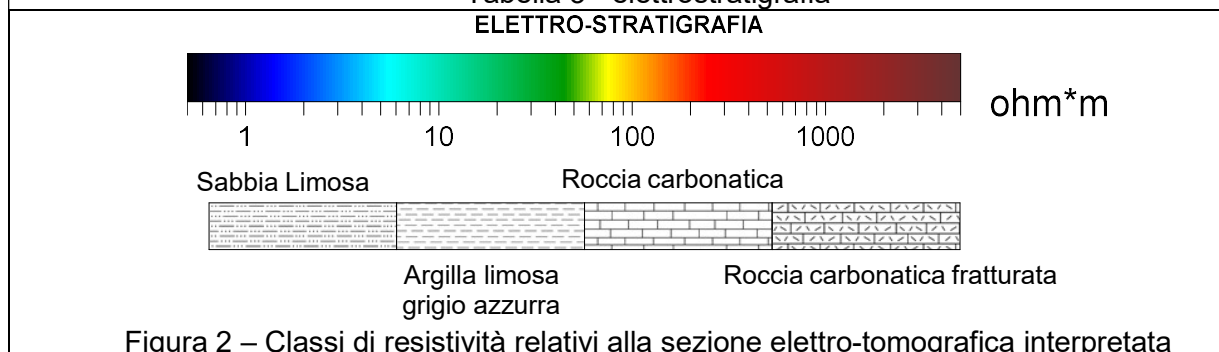


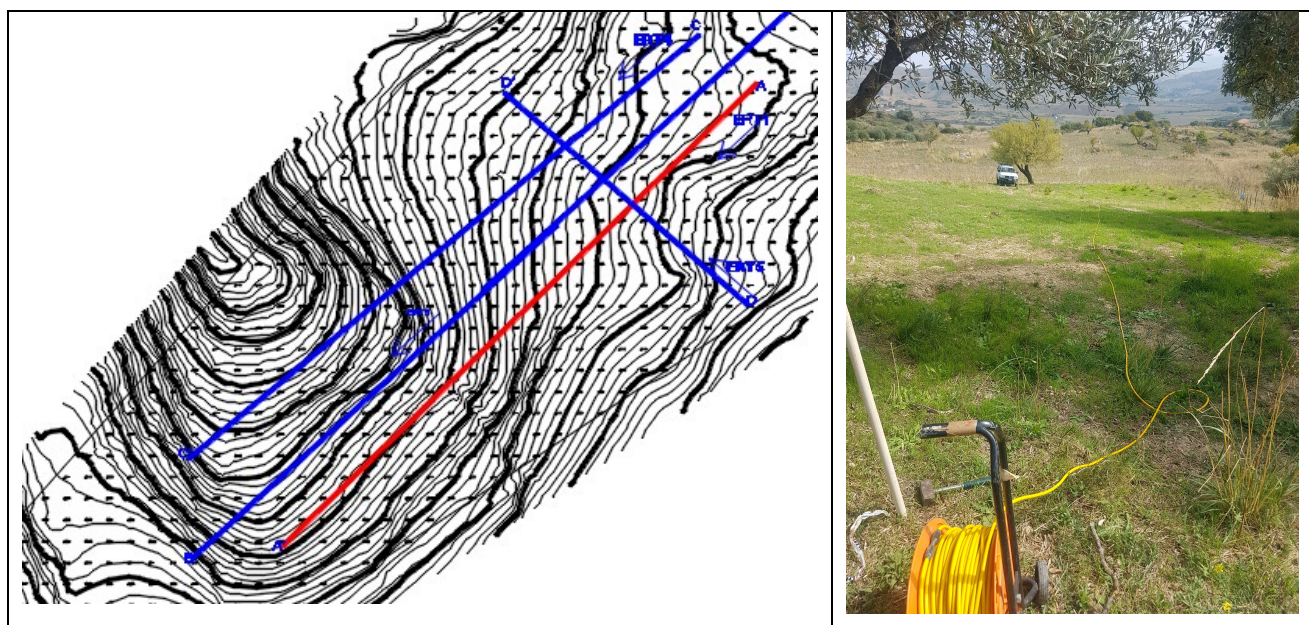
Figura 2 – Classi di resistività relative alla sezione elettro-tomografica interpretata

Dal punto di vista litologico, le sezioni elettro-tomografiche sono state eseguite su terreni sedimentari costituiti da terreni argillosi passanti lateralmente e verticalmente a terreni di natura carbonatica.

- **ERT_1**

INTERVENTO 1 da Km 8+370 a Km 8+735

La linea geoelettrica ERT_1 è stata eseguita per una lunghezza pari a 320 m. Il modello georesistivo è dato da blocco **C** (Argille e/o argille limose) con sparsi nuclei **MR** passante lateralmente ad elettrostrati medio resistivi e resistivi, riferibili a rocce carbonatiche. In profondità alla quota di 790 m (s.l.m.m.) ed alla distanza dall'origine di 90 m, si intercetta il tetto dell'elettrostrato resistivo.



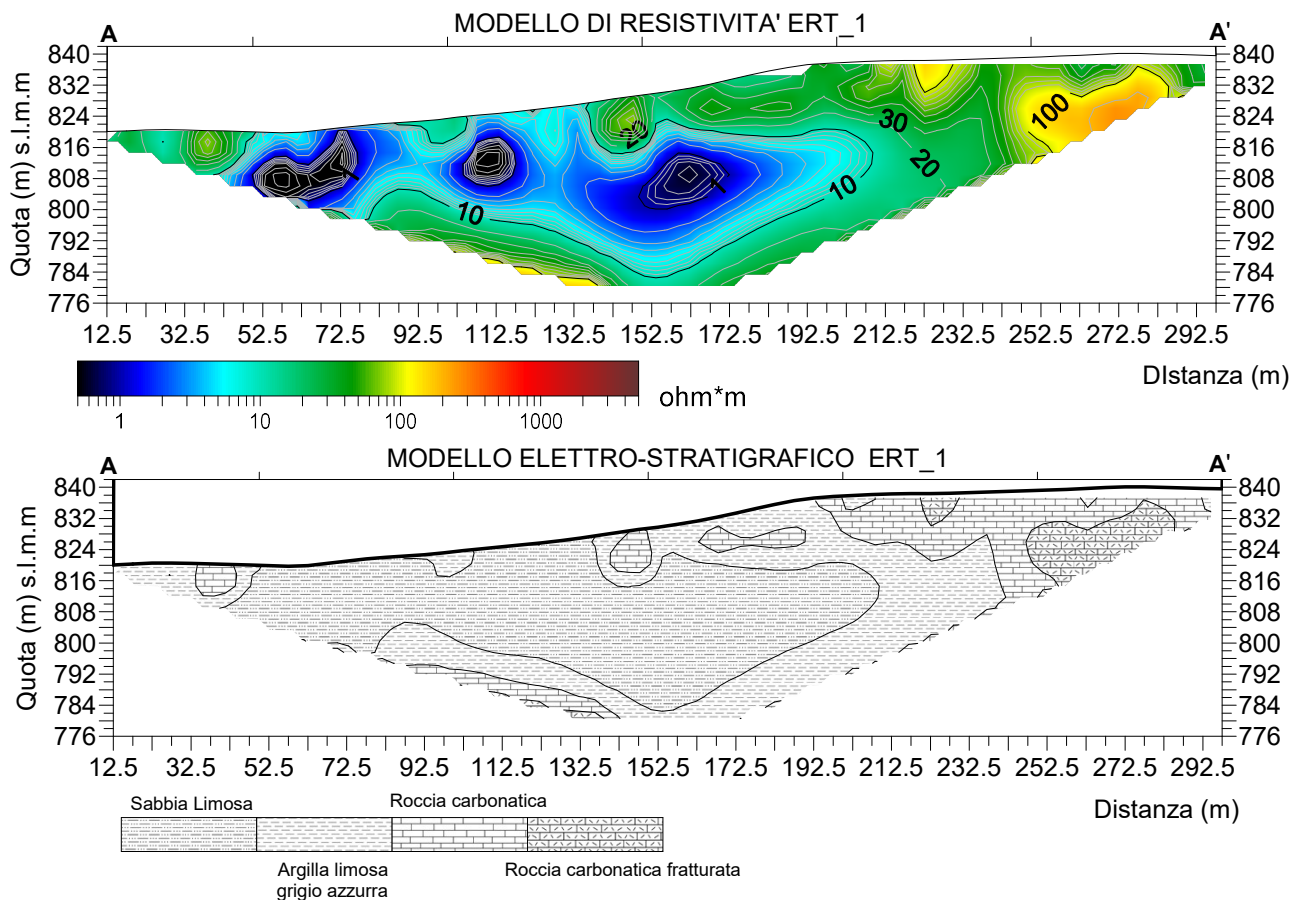
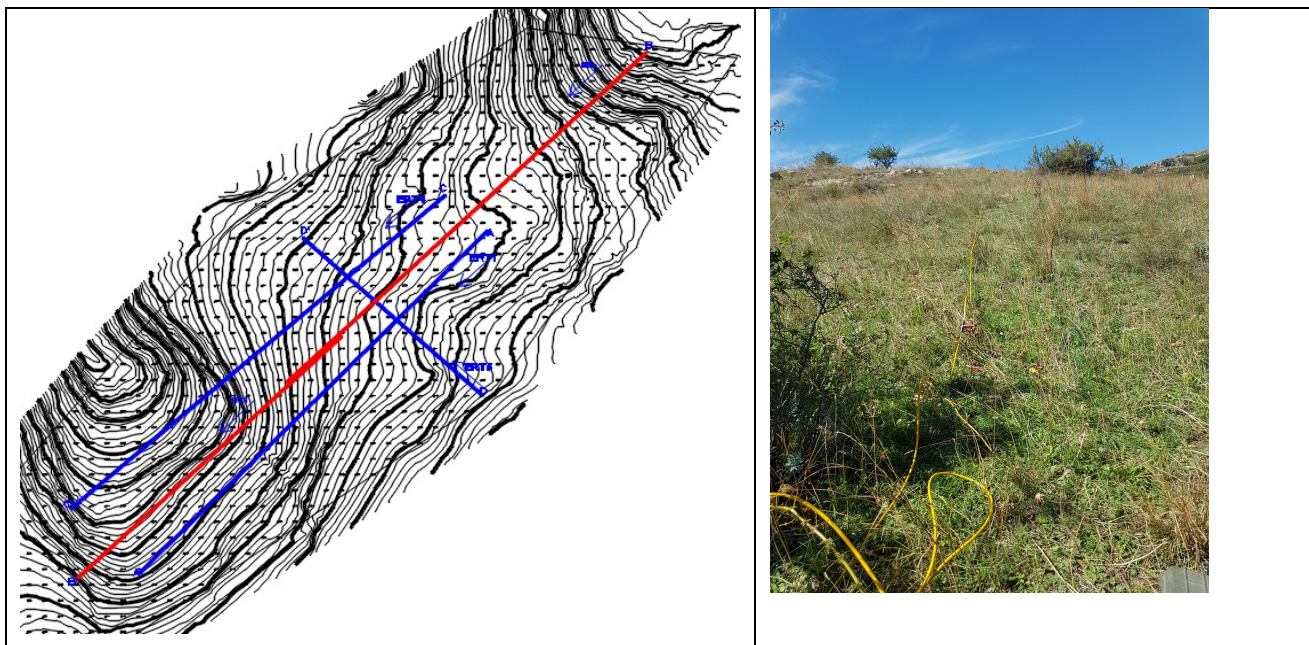


Figura 3 – Sezione elettro-tomografica ed elettro-stratigrafica

- **ERT_2-3**

INTERVENTO 1 da Km 7+865 a Km 8+735

La tomografia elettrica ERT_2-3 si sviluppa per una lunghezza complessiva di 560 metri con un tratto in sovrapposizione di 40 m. Il modello geo-resistivo è dato da un blocco conduttivo (**C**) posto al centro della sezione delimitato lateralmente da terreni medio-resistivi (**MR**) e resistivi (**R**). Tale variazione laterale di resistività è identificata nella figura 4 con un riquadro a tratteggio nero.



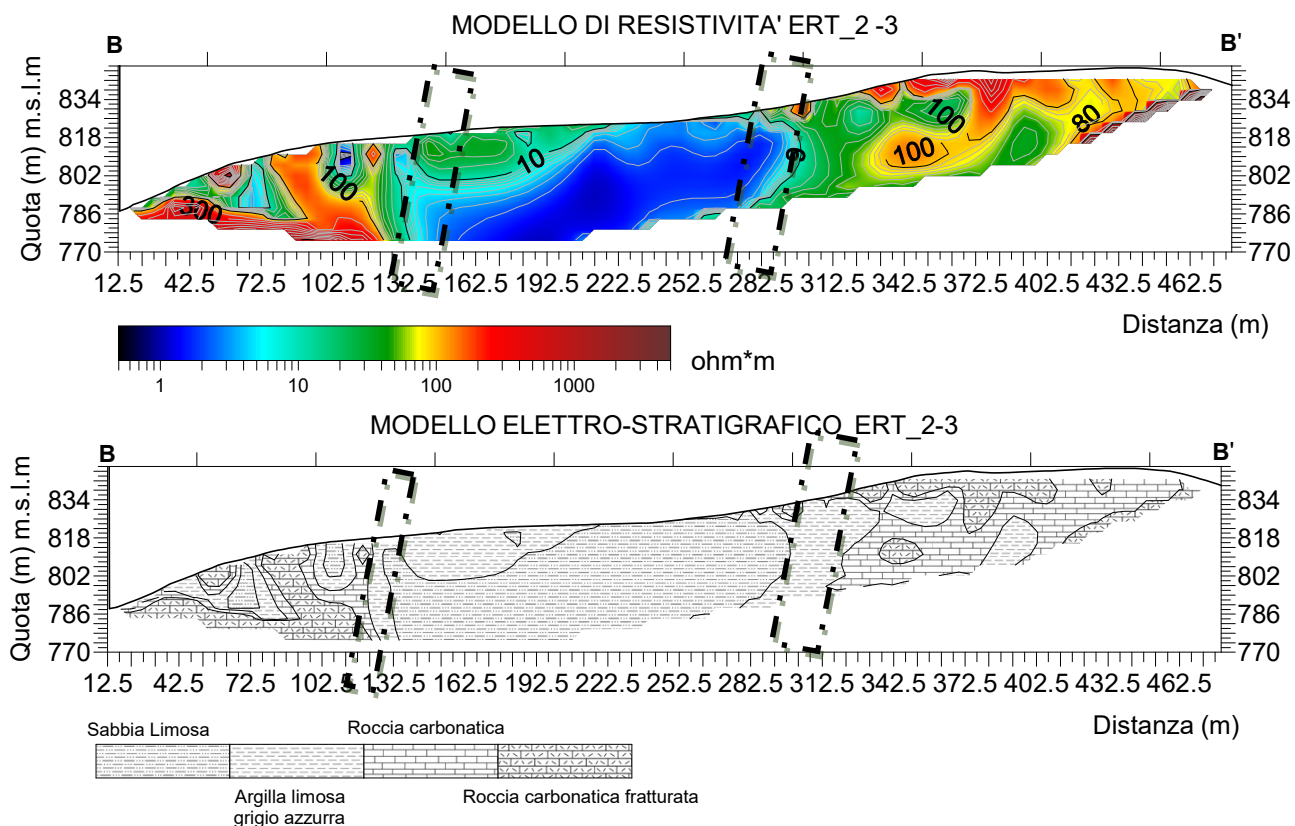
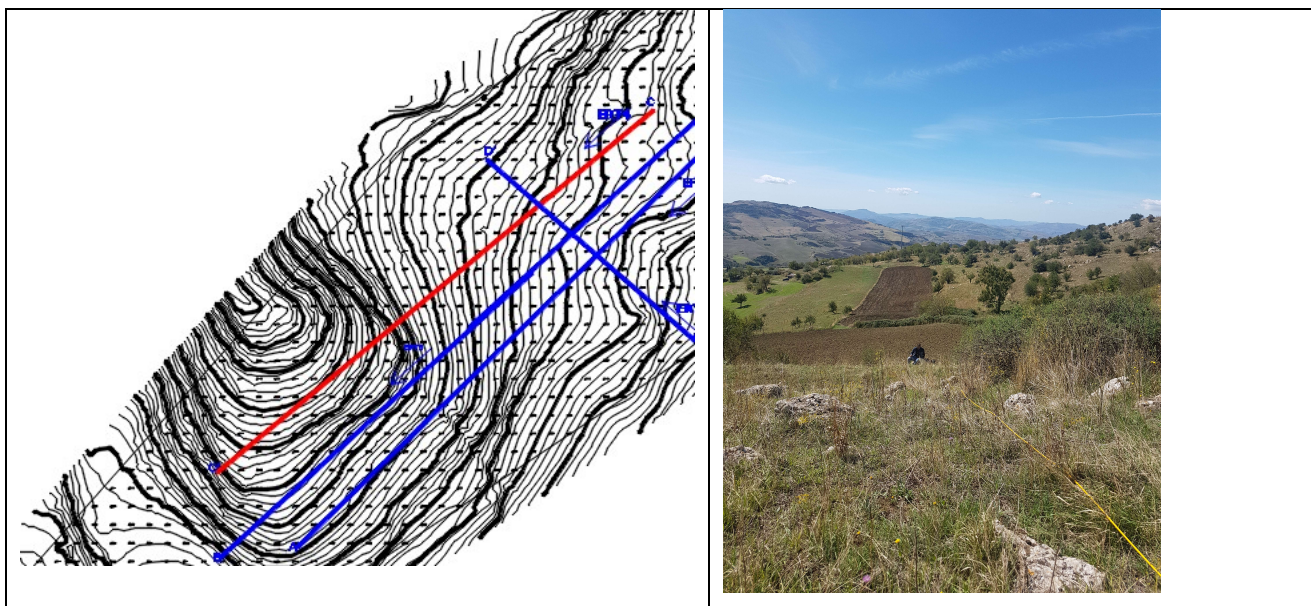


Figura 4 – Sezione elettro-tomografica ed elettro-stratigrafica

- **ERT_4**

INTERVENTO 1 da Km 8+370 a Km 8+735

La linea geoelettrica ERT_1 è stata eseguita per una lunghezza pari a 320 m. Il modello georesistivo, come già osservato nella **ERT1** e **ERT2-3** è dato da blocco **C** (Argille e/o argille limose) con sparsi nuclei **MR** passante lateralmente ad elettrostrati medio resistivi e resistivi, riferibili a rocce carbonatiche. In profondità alla quota di 790 m (s.l.m.m.) ed alla distanza dall'origine di 90 m, si intercetta il tetto dell'elettrostrato resistivo.



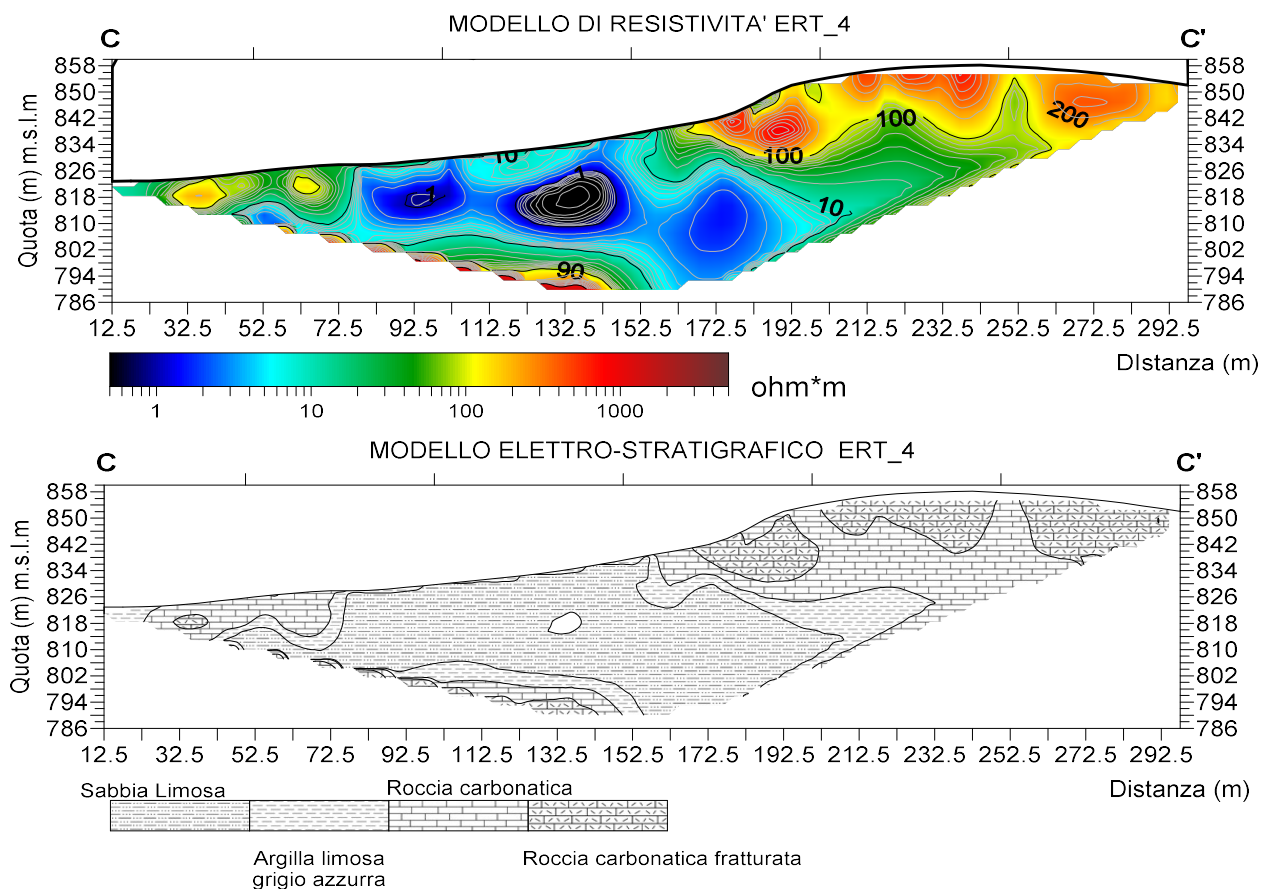
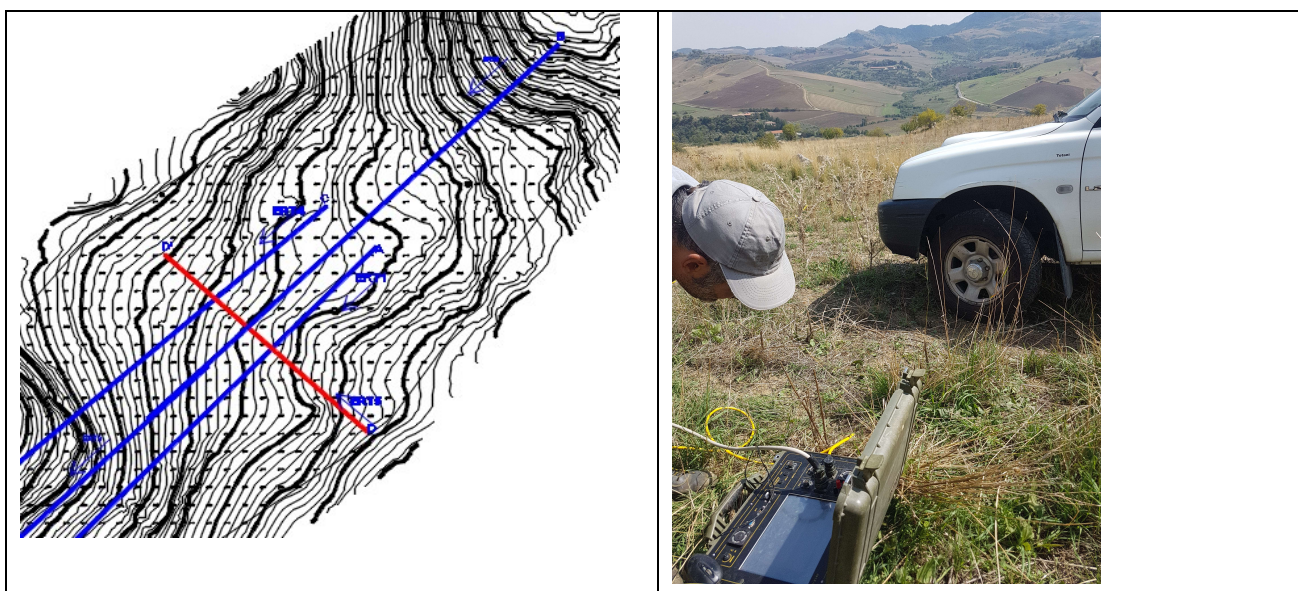


Figura 5 – Sezione elettro-tomografica ed elettro-stratigrafica

- **ERT_5**

INTERVENTO 1 Km 8+320

La tomografia elettrica ERT_5 si sviluppa per una lunghezza complessiva di 160 metri. Il modello geo-resistivo rappresentato da un blocco conduttivo attribuibile a terreni limo-argillosi



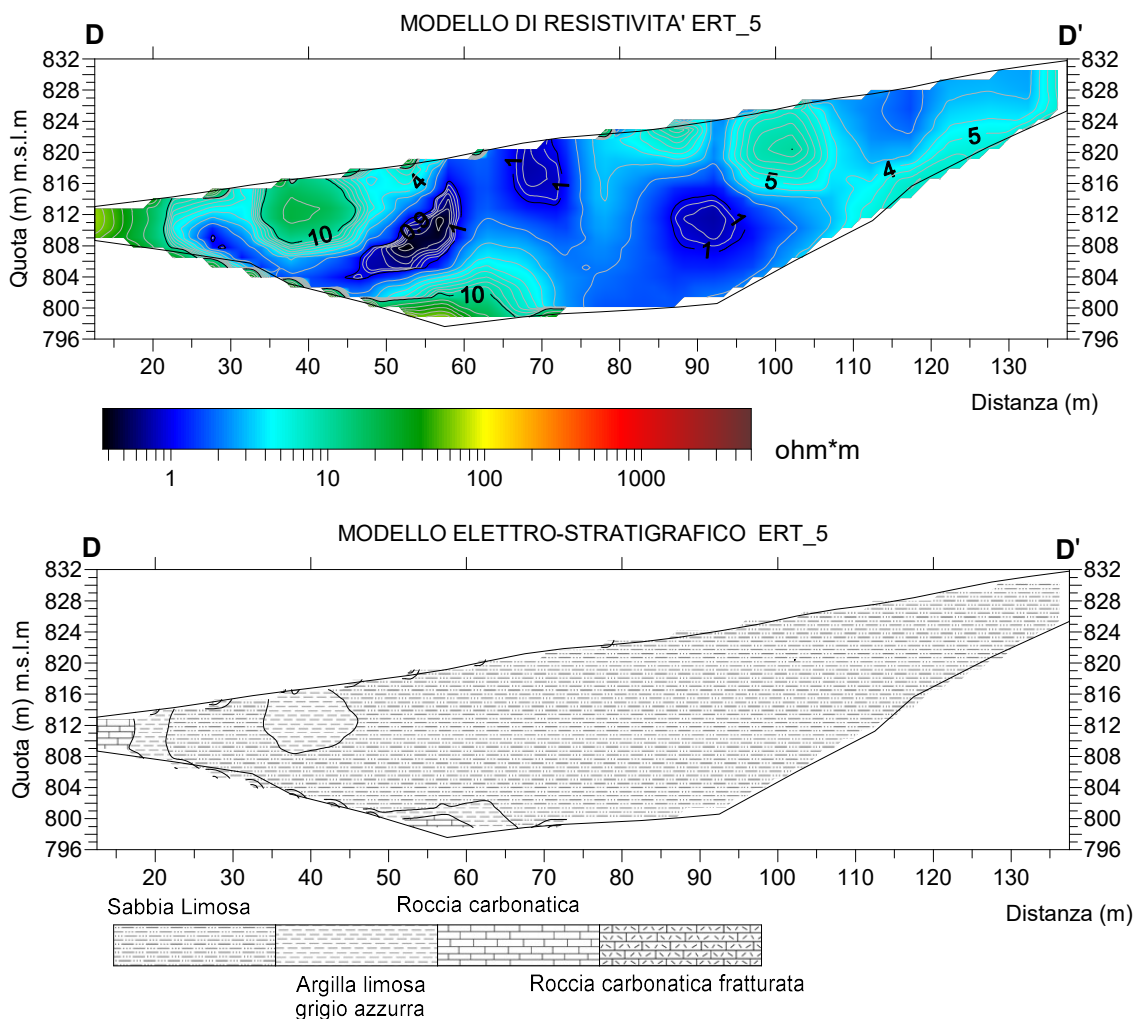
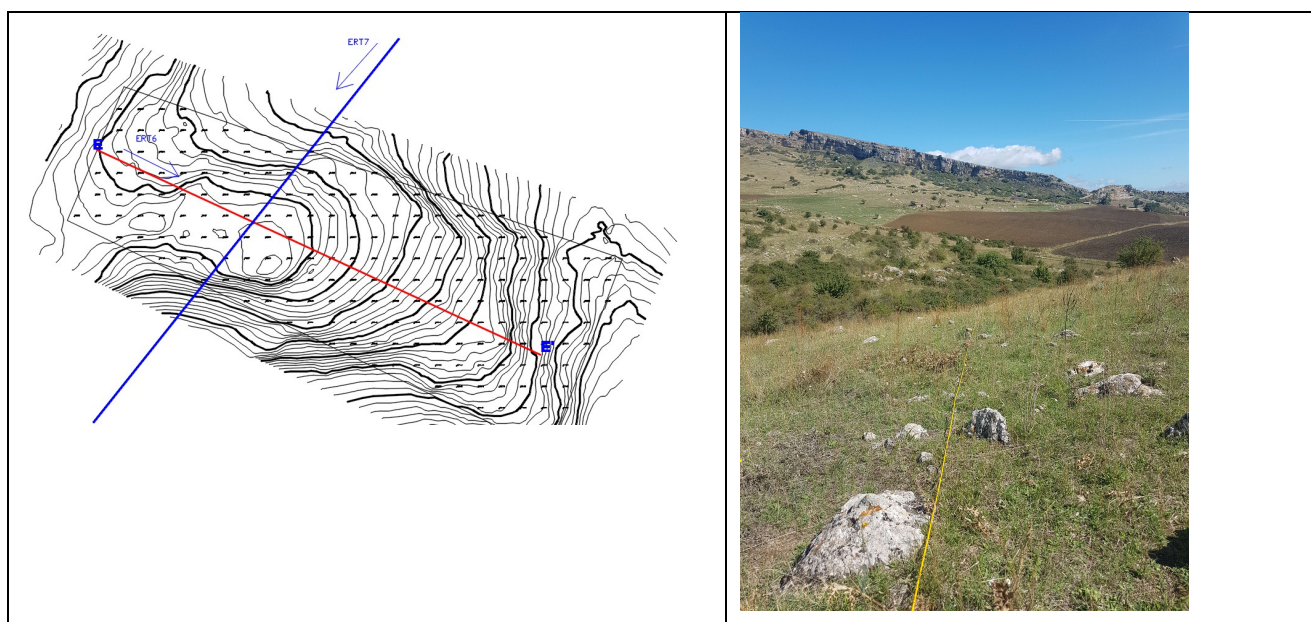


Figura 6 – Sezione elettro-tomografica ed elettro-stratigrafica

- **ERT_6**

INTERVENTO 2 da Km 0+205 a Km 0+625

La tomografia elettrica ERT_6 si sviluppa per una lunghezza complessiva di 240 metri. Il modello geo-resistivo è dato da una copertura medio-resistiva attribuibile a carbonatici da compatti fratturati, passanti lateralmente a terreni conduttivi (sabbie limose –argille).



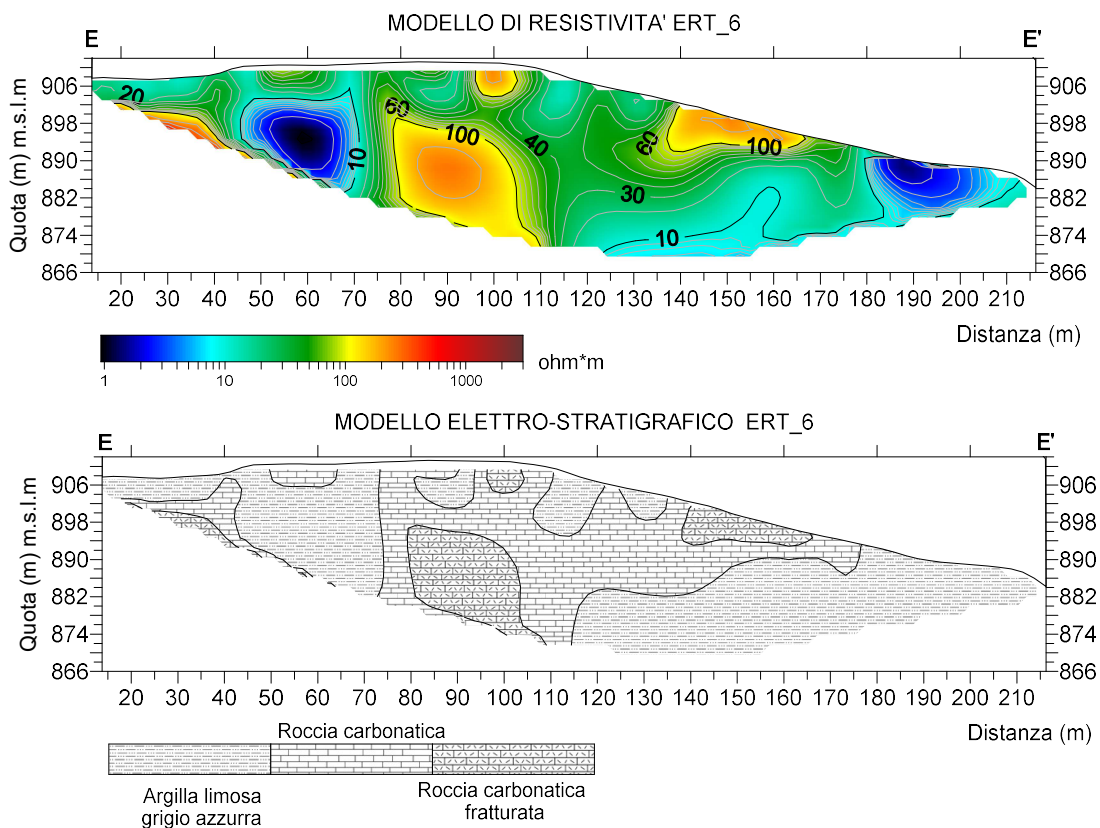


Figura 7 – Sezione elettro-tomografica ed elettro-stratigrafica

- **ERT_7**

INTERVENTO 2 da Km 0+205 a Km 0+625

La tomografia elettrica ERT_3 si sviluppa per una lunghezza complessiva di 240. Il modello geo-resistivo è costituito principalmente da elettrostrati medio-resistivi e resistivi riferibili a terreni carbonati da compatti a fratturati. In profondità si osserva una netta variazione di resistività a termini conduttivi riferibili a terreni argillosi.

