

REPORT INDAGINI



PROJECT:

ESECUZIONE DI PROSPEZIONI GEOFISICHE PRESSO LA
TENUTA MONTE SANT'ANGELO

OBJECT:

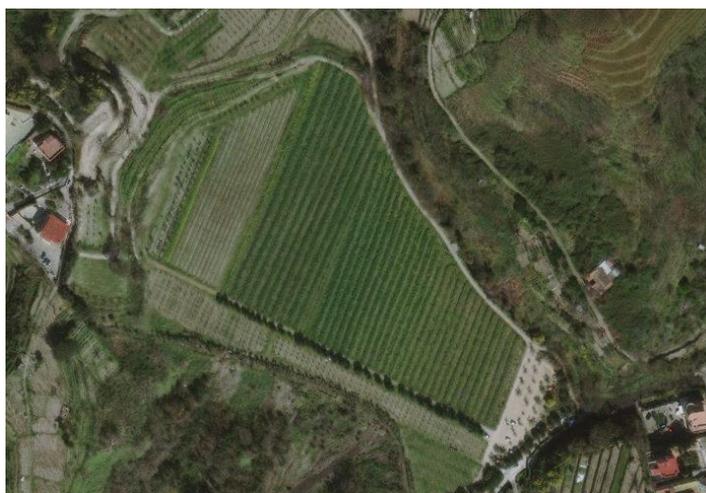
INDAGINI GEOELETTRICHE TOMOGRAFICHE ERT

LOCATION:

NAPOLI

CLIENT:

TENUTA MONTE SANT'ANGELO



Number ref.:	R.C. 061/20	Redacted by:	Dr. Geol. Luciano Nocerino
Rev. n°:	00	Reviewed by:	Dr. Geol. Giovanni Antonucci
Date:	13/05/2020	Approved by:	Dr. Geol. Lucio Amato
Description:	1^ emissione	Document code:	061_20_TENUTA MONTE SANT'ANGELO_Napoli_goelettrica.docx

INDICE

1. PREMESSA	3
2. TOMOGRAFIA ELETTRICA DI RESISTIVITÀ (ERT).....	4
2.1. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA.....	4
2.2. DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE ADOPERATA.....	5
2.3. DESCRIZIONE DELL'ELABORAZIONE DATI.....	7
2.4. DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ DI CAMPO.....	8
3. RISULTANZE DELLE INDAGINI GEOFISICHE	16
3.1. INDAGINI GEOELETTRICHE.....	16
3.1.1. Profilo EL1	17
3.1.2. Profilo EL2.....	19
3.1.3. Profilo EL3.....	21
3.1.4. Profilo EL4.....	23
3.1.5. Profilo EL5.....	25
4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE ALLE INDAGINI	29

ALLEGATI

Tavola 1: Pseudosezioni di Resistività

1. PREMESSA

La **Tecno In S.p.A.** è stata incaricata dalla società **TENUTA MONTE SANT'ANGELO** di eseguire una campagna di prospezioni geofisiche per approfondire le conoscenze geologiche in un'area adibita a vigneto afferente alla "Tenuta Monte Sant'Angelo", situata in Napoli in Via Ventilabro n.67.

Nelle presenti note, sono discusse le attività svolte e le risultanze ottenute dal seguente piano d'indagini:

- Esecuzione di 5 profili di tomografie elettriche di resistività (o ERT).

Le indagini in oggetto, la cui ubicazione ricade nell'area riportata nella *Figura 1*, si sono svolte dal 4 al 6 Maggio 2020.

Si precisa che il servizio di indagine è stato eseguito secondo le indicazioni del Commissario Straordinario per il SIN Bagnoli-Coroglio, Ing. Francesco Floro Flores, forniteci in data in data 20 marzo 2020.



Figura 1. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Inquadramento area d'indagine.

2. TOMOGRAFIA ELETTRICA DI RESISTIVITÀ (ERT)

2.1. DESCRIZIONE DELLA METODOLOGIA

Le prospezioni geoelettriche si basano sugli effetti prodotti da una corrente elettrica, di origine naturale o artificiale, rilevabili in superficie attraverso misure di differenza di potenziale. I metodi di investigazione attivi solitamente adottati, consistono in misurazioni della resistività elettrica.

Il metodo geoelettrico in corrente continua, detto di resistività, consiste nella determinazione sperimentale di un set di valori che, in accordo ad una formulazione matematica deducibile direttamente dalle leggi dell'elettromagnetismo per campi stazionari, descrivono una qualsiasi struttura complessa formata da materiali fisicamente diversi in contatto elettrico.

La resistività elettrica, esprime la maggiore o minore predisposizione di un materiale a farsi attraversare dalla corrente e dipende da molteplici fattori, i più importanti dei quali sono la presenza di acque ionizzate e/o di particelle minerali metalliche nella struttura dei pori. Entrambi i fattori, infatti, possono dar luogo a traiettorie interne particolarmente conduttive, in contrasto con situazioni resistive caratterizzate da strutture compatte e/o pori anidri. In particolare, la tecnica di tomografia elettrica bidimensionale (ERT), consente di ottenere gli andamenti della resistività elettrica nel sottosuolo in termini *bidimensionali* ovvero attraverso pseudo sezioni elettriche.

In fase esecutiva, attraverso gli elettrodi C1 e C2, secondo una sequenza opportunamente predisposta ed automatizzata, si immette una corrente continua nel terreno, misurando la differenza di potenziale che si determina ai capi di altri due elettrodi, indicati con P1 e P2, posti secondo una geometria predefinita rispetto all'allineamento formato con gli altri due elettrodi C1 e C2 (*Figura 2*).

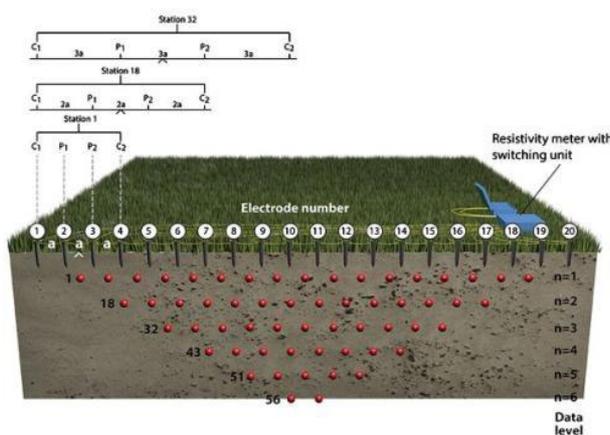


Figura 2. Schema di acquisizione di indagini geoelettriche multi elettrodo (ERT).

Poiché il sottosuolo non è elettricamente omogeneo ed isotropo, quando si immette corrente, una qualsiasi fonte di variazione della conducibilità ne altera il flusso naturale, provocando un'anomalia nella distribuzione del potenziale, rispetto ad un sottosuolo isotropo e omogeneo.

Di conseguenza, il valore di resistività che si misura nella realtà è "anomalo" rispetto al valore che si misurerebbe rispetto ad una distribuzione uniforme e prende il nome di resistività apparente (ρ_a); la resistività si calcola secondo la relazione di seguito:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I}$$

in cui:

" ρ_a " è la resistività apparente;

"k" è il coefficiente geometrico, dipendente dal tipo di array multi elettrodo adoperato;

" ΔV " è la differenza di potenziale ai capi degli elettrodi di potenziale P1 e P2;

"I" rappresenta l'intensità di corrente inviata tramite gli elettrodi di corrente C1 e C2.

2.2. DESCRIZIONE DELLA STRUMENTAZIONE ADOPERATA

Per l'esecuzione delle indagini tomografiche elettriche, è stata adoperata la strumentazione di cui si descrivono di seguito le caratteristiche principali:

- Georesistivimetro multicanale **MAE X-612 EM 96+**, con precisione della misura di $\pm 0,2 \mu A$, tensione massima in uscita (picco-picco) $\pm 800 V$, potenza massima 250 W, impedenza di ingresso 150 MOhm, accuratezza della resistività misurata $\pm 0,5 \%$ e azzeramento automatico dei potenziali spontanei.
- Elettrodi in acciaio.
- Set di cavi in PUR multipolari ognuno munito di 24" take out" per il collegamento agli elettrodi.

GEORESISTIVIMETRO	MAE X-612 EM 96+
CORRENTE IN USCITA	Intensità massima: 5 A a 50V
TENSIONI IN USCITA	$\pm 50V, \pm 100V, \pm 250V, \pm 500V, \pm 800V$
POTENZA MASSIMA	250W
ELETTRODI GESTIBILI	Sino ad 96
PRECISIONE DELLA MISURA	Precisione della misura: $\pm 0,2 \mu A$
PRECISIONE DELLA MISURA	$\pm 1,5 \mu V$
CERTIFICAZIONE	CE

Tabella 1. Caratteristiche del georesistivimetro MAE X-612 EM 96+.

La sequenza di scansione dei picchetti è stata preliminarmente prefissata, via software, mediante l'elaborazione di una matrice di punti, stabilendo il passo ed il valore dei livelli di approfondimento, i quali vanno a definire la densità spaziale e, conseguentemente, la risoluzione verticale/orizzontale delle misure.

Per ridurre gli effetti indotti dal rumore, sono state eseguite fino a 5 iterazioni da cui è stato calcolato il valore medio e la deviazione standard.

In relazione alla posizione reciproca degli elettrodi di corrente rispetto a quelli di potenziale, è possibile realizzare varie tipologie di configurazione elettrodica o *array*.

Il dispositivo scelto, per le indagini in oggetto, è quello dipolo – dipolo assiale, che prevede una spaziatura costante sia tra gli elettrodi di potenziale, che tra gli elettrodi di corrente, mentre aumenta, secondo multipli interi, la distanza reciproca tra le due coppie di dipoli.

Attraverso questa configurazione è possibile ottenere una buona copertura sia orizzontale che verticale del sottosuolo indagato, e soprattutto un approfondimento delle indagini migliore rispetto ad altre configurazioni elettrodiche simili.

2.3. DESCRIZIONE DELL'ELABORAZIONE DATI

Dalle misurazioni di campo si ottiene una pseudo sezione del dato "misurato", che fornisce un'approssimazione della distribuzione di resistività nel sottosuolo dando un primo step per un'interpretazione quantitativa.

Il passo successivo è la risoluzione del cosiddetto modello diretto mediante il quale si ottiene una pseudo sezione bidimensionale in cui è rappresentata la distribuzione della resistività apparente calcolata, avvalendosi di un ipotetico rilievo compiuto sulla medesima struttura.

L'elaborazione del modello diretto si esegue suddividendo il sottosuolo in un insieme di blocchi regolari, o celle elementari, per ognuno dei quali è determinata la resistività apparente mediante un procedimento iterativo ai minimi - quadrati; successivamente si verifica se il valore calcolato sia in accordo o meno con i valori di resistività misurati durante la fase di campo. In questa fase possono essere poste in input al modello eventuali strutture sepolte, se ipotizzate, quali aree fratturate, corpi sepolti, etc.

La suddetta procedura consente di ottenere la pseudo sezione "calcolata".

Verificata la congruenza tra la pseudo sezione misurata e la pseudo sezione calcolata, si deve procedere alla modellazione di un sottosuolo le cui caratteristiche elettriche siano proprio definite dai valori di resistività misurati in superficie.

Tuttavia, affinché si possa risalire ad un modello di sottosuolo che sia in accordo con i dati misurati, è essenziale avvalersi dei cosiddetti metodi d'inversione. La procedura d'inversione comporta che i parametri del modello siano costituiti da valori di resistività assegnati all'insieme di blocchi regolari costituenti il sottosuolo che sono posti successivamente a confronto con i valori misurati di resistività apparente.

Siccome è noto che per lo stesso insieme di dati esiste un'ampia gamma di modelli i cui valori calcolati di resistività apparente collimano con il dataset misurato, il metodo d'inversione cerca di minimizzare la differenza tra i valori di resistività apparente misurata e calcolata (problema di equivalenza). La variazione riscontrata è espressa in termini di scarto quadratico medio. L'iterazione che consente di ottenere un accordo tra i dati con il minore RMS possibile fornisce, quindi, il modello di sottosuolo che viene analizzato in fase interpretativa.

Per l'elaborazione dei dati di resistività, è stato utilizzato l'algoritmo di Loke e Barker (1996) ed in particolare il software **RES2DINV™** della **Geotomo Int.**

Le pseudo sezioni bidimensionali ottenute, sono state rappresentate mediante software di contouring, come l'**Oasis Montaj®** della **Geosoft** o **Surfer®** della **Golden Software Inc.**

2.4. DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ DI CAMPO

Per le attività oggetto di incarico, sono stati eseguiti **n.5** stendimenti di tomografia geoelettrica di resistività, di cui si riporta il dettaglio relativo alle lunghezze, al numero di elettrodi utilizzati e alla distanza interelettrodica (spaziatura).

#	id. profilo	lunghezza (m)	n. canali (o elettrodi)	spaziatura (m)
1	EL1	213	72	3,0
2	EL2	237	80	3,0
3	EL3	189	64	3,0
4	EL4	129	44	3,0
5	EL5	102	35	3,0

Tabella 2. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Profili geoelettrici eseguiti.

Per quanto concerne l'ubicazione, le indagini sono state eseguite, secondo le indicazioni del Commissario Straordinario per il SIN Bagnoli-Coroglio, Ing. Francesco Floro Flores, eseguendo all'interno del vigneto profili orientati in direzione longitudinale e trasversale.

Terminata l'attività di acquisizione, gli stendimenti geoelettrici sono stati oggetto di rilievo topografico di precisione, con opportuno sistema di georeferenziazione GPS Leica Geosystems GX 1200.

Di seguito, si riporta l'ubicazione di dettaglio dei profili geoelettrici (*Figura 3*) e l'elenco coordinate degli estremi di ogni profilo (primo e ultimo elettrodo rilevato), nel sistema di riferimento internazionale UTM-WGS 84, Fuso 33.



Figura 3. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Ubicazione dei profili di tomografia geoelettrica (ERT).

N° p.to	Sigla profilo Id. elettrodo	Sistema di riferimento UTM-WGS 84 – Fuso 33		
		Coordinata Est	Coordinata Nord	Quota ortometrica (m s.l.m.)
01	EL1_ch.1	430784,981	4521757,97	121,4
02	EL1_ch.72	430887,961	4521607,02	119,0

N° p.to	Sigla profilo Id. elettrodo	Sistema di riferimento UTM-WGS 84 – Fuso 33		
		Coordinata Est	Coordinata Nord	Quota ortometrica (m s.l.m.)
01	EL2_ch.1	430637,217	4521664,014	120,5
02	EL2_ch.80	430850,487	4521556,738	118,9

N° p.to	Sigla profilo Id. elettrodo	Sistema di riferimento UTM-WGS 84 – Fuso 33		
		Coordinata Est	Coordinata Nord	Quota ortometrica (m s.l.m.)
01	EL3_ch.1	430675,61	4521614,562	119,2
02	EL3_ch.64	430751,395	4521789,388	121,0

N° p.to	Sigla profilo Id. elettrodo o	Sistema di riferimento UTM-WGS 84 – Fuso 33		
		Coordinata Est	Coordinata Nord	Quota ortometrica (m s.l.m.)
01	EL4_ch.1	430762,426	4521575,653	119,5
02	EL4_ch.44	430812,266	4521699,492	119,8

N° p.to	Sigla profilo_Id. elettrodo	Sistema di riferimento UTM-WGS 84 – Fuso 33		
		Coordinata Est	Coordinata Nord	Quota ortometrica (m s.l.m.)
01	EL5_ch.1	430818,713	4521543,957	119,0
02	EL5_ch.35	430857,938	4521637,896	119,2

Tabella 3. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Indagini geoelettriche. Coordinate nel sistema UTM WGS84.

Di seguito, vengono riportate alcune foto scattate durante le fasi di acquisizione in campo.



Figura 4. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Profilo geoelettrico EL1.



Figura 5. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Profilo geoelettrico EL2.



Figura 6. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Profilo geoelettrico EL3



Figura 7. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Profilo geoelettrico EL4.



Figura 8. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Profilo geoelettrico EL5.

3. RISULTANZE DELLE INDAGINI GEOFISICHE

3.1. INDAGINI GEOELETTICHE

Di seguito, si riportano alcune considerazioni scaturite dall'analisi delle risultanze delle prospezioni geoelettriche.

Si rimanda alla tavola allegata, per una visione di dettaglio delle singole pseudosezioni elaborate.

Per ciascun profilo è stata rappresentata la pseudosezione risultante dal processo d'inversione tomografica, ottenuta tramite la procedura di elaborazione descritta nei paragrafi precedenti, caratterizzata dal valore percentuale più basso di scarto quadratico medio.

Lungo le sezioni sono stati inseriti i simboli rappresentativi dei picchetti e, agli estremi di ogni stendimento, è stato indicato anche il relativo numero di canale.

Si rammenta che la scala colorimetrica di rappresentazione è di tipo *logaritmica*; questo consente di apprezzare variazioni dei valori di resistività, anche di piccola entità, nei casi in cui il range dei valori misurati risulti molto ampio.

Anche i valori delle isolinee, nelle pseudosezioni, sono riportati in termini di logaritmo decimale dei valori di resistività elettrica apparente.

Tuttavia, per migliorare la comprensione, accanto alla scala logaritmica, sono stati riportati i valori equivalenti, espressi secondo una scala lineare (Ohm*m) del parametro misurato, come indicato nella *Figura 9*.

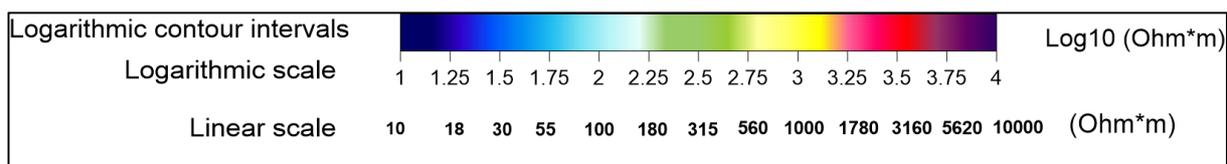


Figura 9. Indagini geoelettriche. Scala colorimetrica di rappresentazione delle pseudo sezioni tomografiche 2D di resistività.

3.1.1. Profilo EL1

Il profilo **EL1**, orientato in direzione Nord-Ovest Sud-Est, si sviluppa lungo una strada sterrata che borda la vigna sul lato Est.

Esso presenta una lunghezza complessiva pari a 213 m ed ha consentito un approfondimento massimo dell'indagine pari a circa 45 metri.

Osservando la sezione, si evidenzia un primo elettrostrato più superficiale, caratterizzato da valori di resistività compresi tra circa 100 - 400 $\Omega \cdot m$ circa, avente uno spessore medio di 5 m, seguito da un elettrostrato più conduttivo (30 - 100 $\Omega \cdot m$), caratterizzato da una leggera eterogeneità sia orizzontalmente che verticalmente.

In particolare, si osserva, ad una profondità di circa 100 m. s.l.m., tra le progressive 100 e 135 della pseudo-sezione, un'area caratterizzata da valori di resistività più elevate rispetto ai terreni incassanti con valori pari a 300 $\Omega \cdot m$ circa.

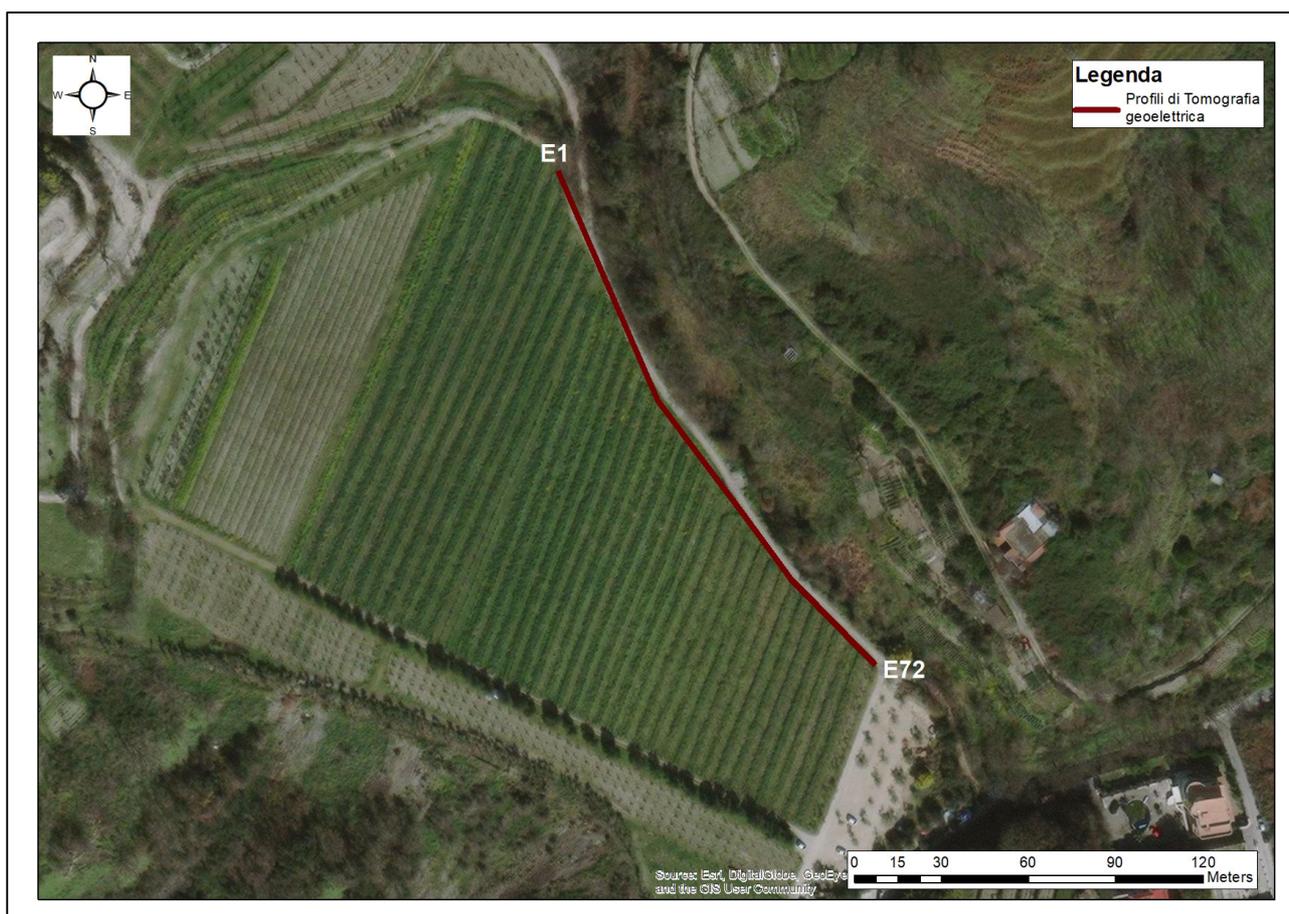


Figura 10. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Ubicazione profilo tomografia elettrica EL1.

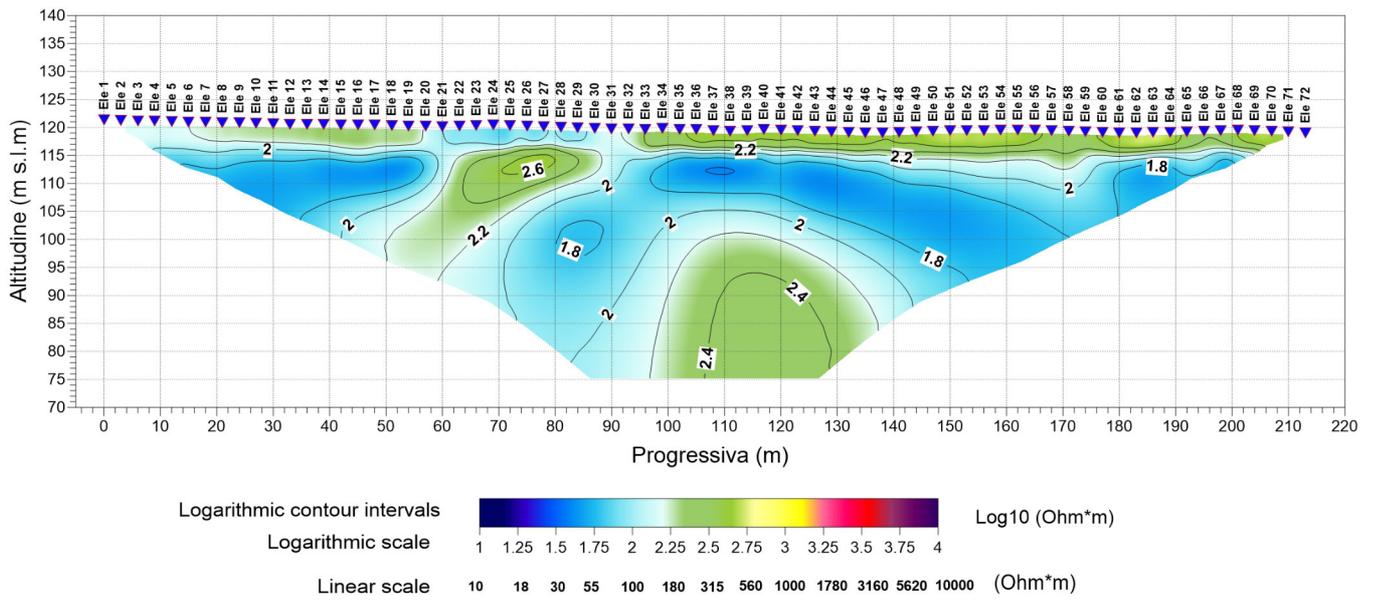


Figura 11. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Pseudo sezione tomografica 2D di resistività. Profilo EL1

3.1.2. Profilo EL2

Il profilo **EL2**, orientato in direzione Nord-Ovest Sud-Est, si sviluppa lungo una strada sterrata che borda la vigna sul lato Ovest.

Esso presenta una lunghezza complessiva pari a 237 m ed ha consentito un approfondimento massimo dell'indagine pari a circa 50 metri.

La sezione si presenta molto omogenea nella distribuzione dei valori di resistività.

Osservandola, si distingue un primo elettrostrato più superficiale, caratterizzato da valori di resistività compresi tra circa 50 - 400 $\Omega \cdot m$, avente uno spessore medio di 8 m. Inoltre, il suddetto elettrostrato, tra le progressive 60 e 100 m, si osservano aree di limitata estensione, caratterizzate da valori di resistività di circa 700 $\Omega \cdot m$.

A seguire, osservando la pseudosezione, si distingue un ulteriore elettrostrato caratterizzato da valori di resistività compresi tra 10 - 100 $\Omega \cdot m$ circa. Tale elettrostrato si estende fino alla massima profondità di investigazione.

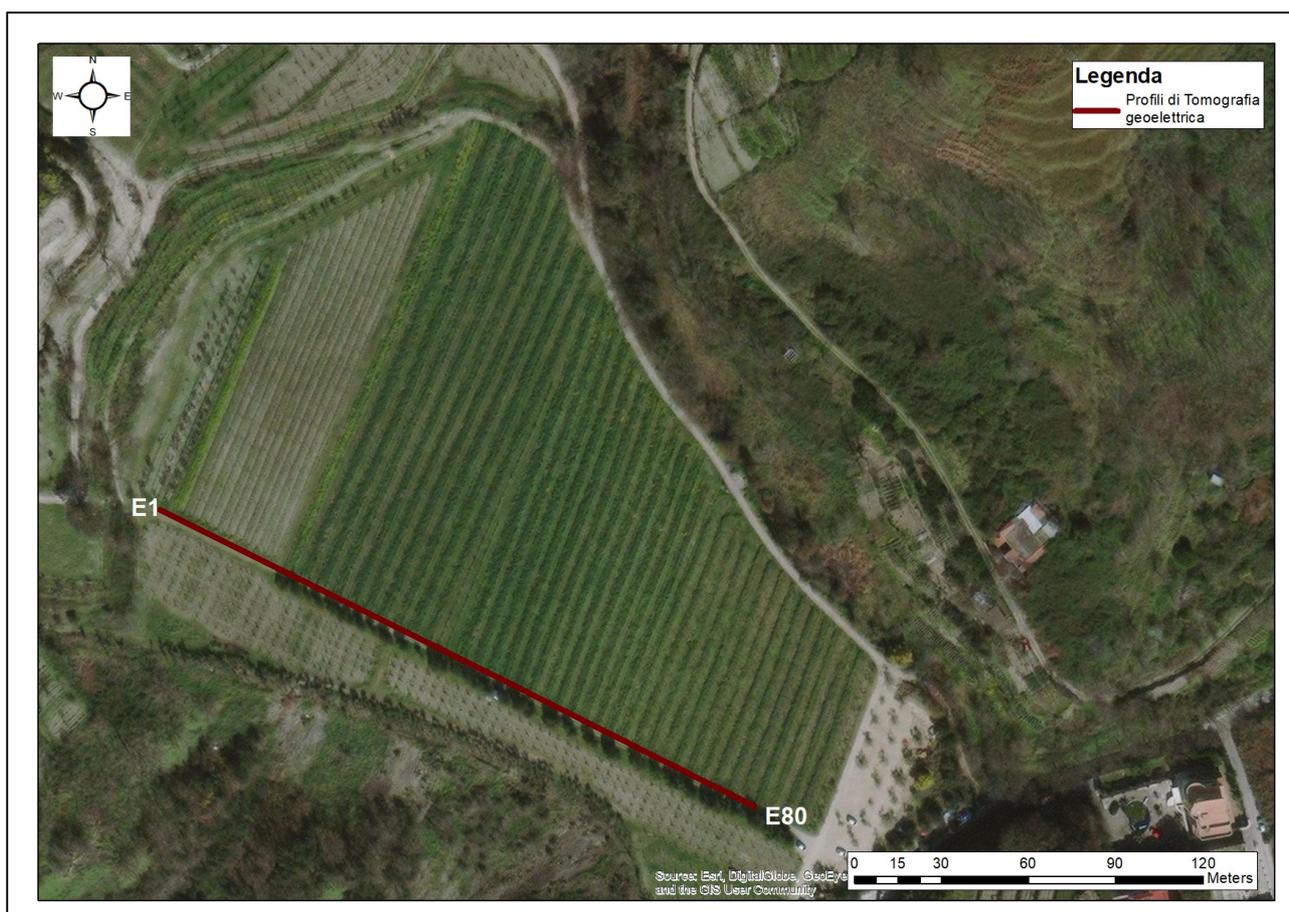


Figura 12. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Ubicazione profilo tomografia elettrica EL2.

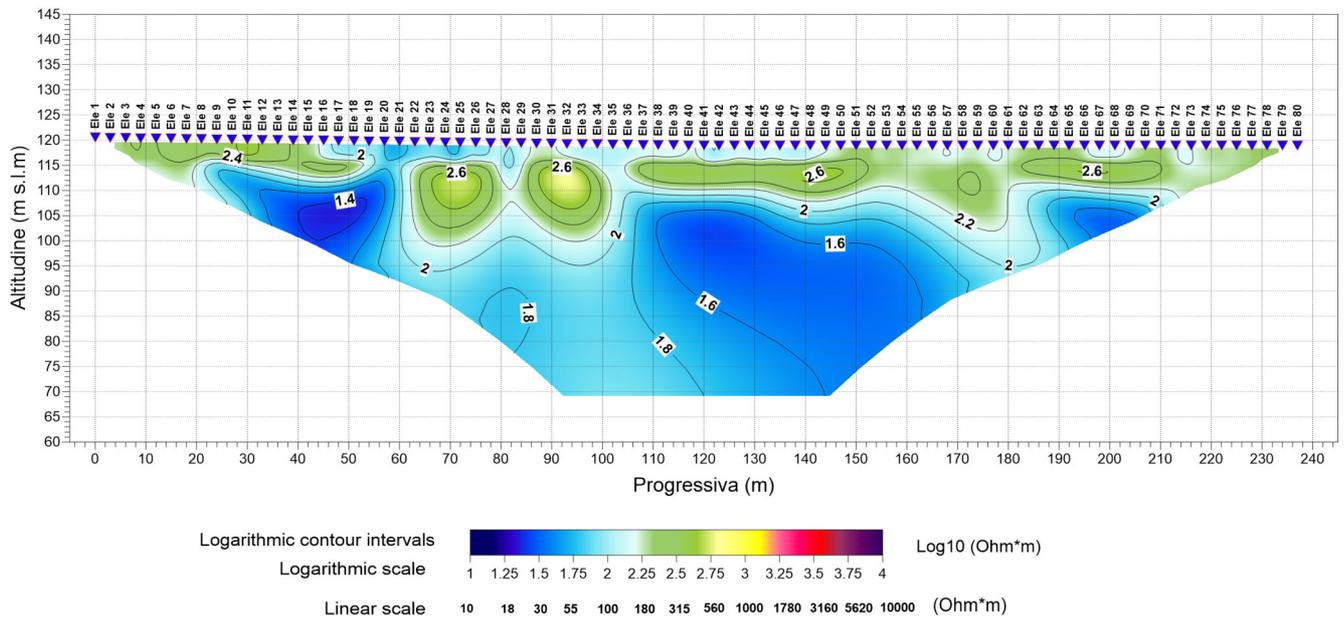


Figura 13. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Pseudo sezione tomografica 2D di resistività. Profilo EL2

3.1.3. Profilo EL3

Il profilo **EL3**, orientato in direzione Sud-Ovest Nord-Est, attraversa la vigna, intersecando alla metrica 26 il Profilo **EL2**.

Esso presenta una lunghezza complessiva pari a 189 m ed ha consentito un approfondimento massimo dell'indagine pari a circa 40 metri.

Osservando la sezione, in primo luogo si osserva un primo elettrostrato superficiale, caratterizzato da una variabilità dei valori di resistività compresi tra 30 – 400 $\Omega \cdot m$ circa.

Osservando la porzione di sezione a partire da 100 m.s.l.m., la distribuzione dei valori di resistività assume andamenti che variano tra 30 – 100 $\Omega \cdot m$ circa.

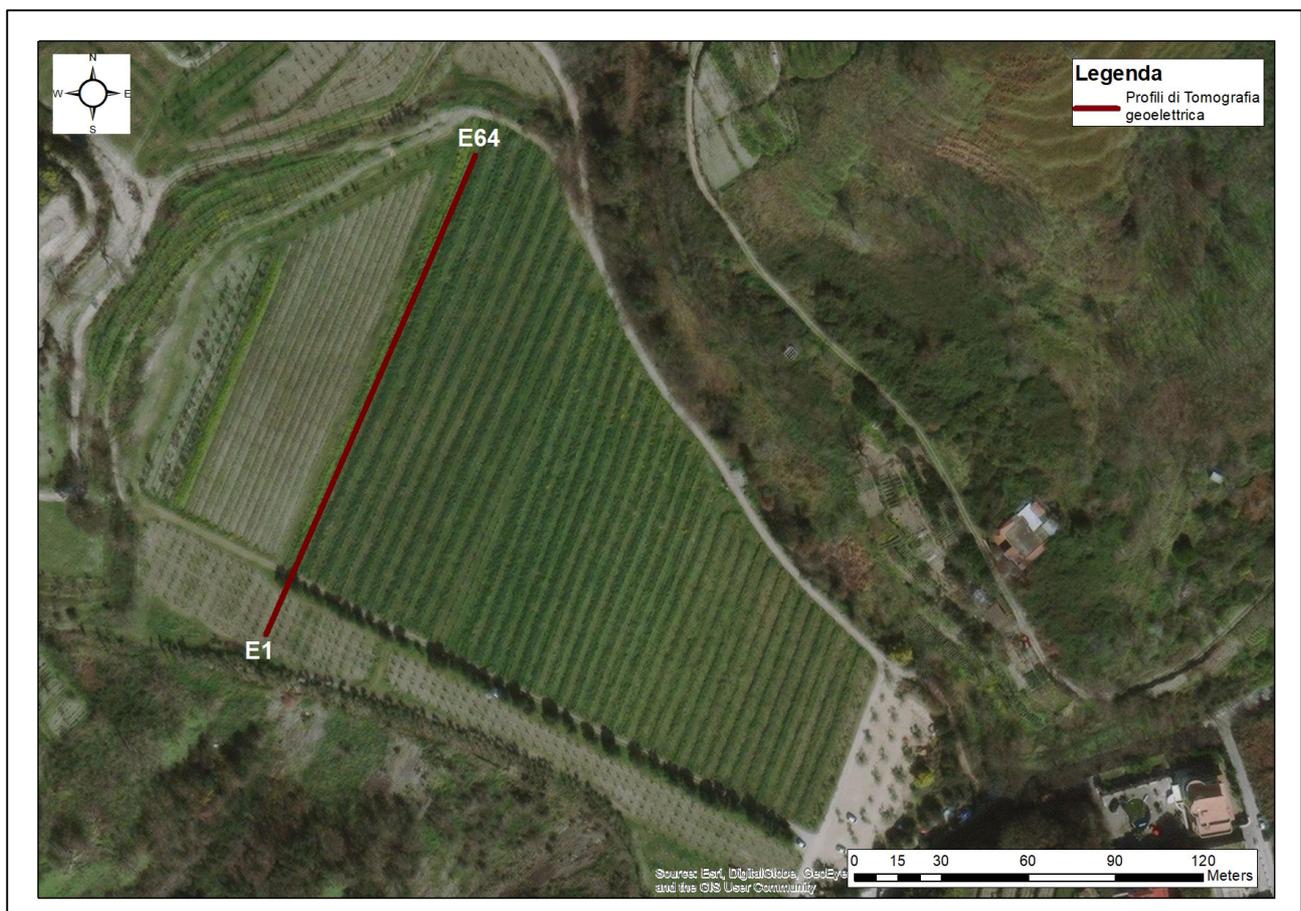


Figura 14. Tenuta Monte Sant'Angelo. Ubicazione profilo tomografia elettrica EL3.

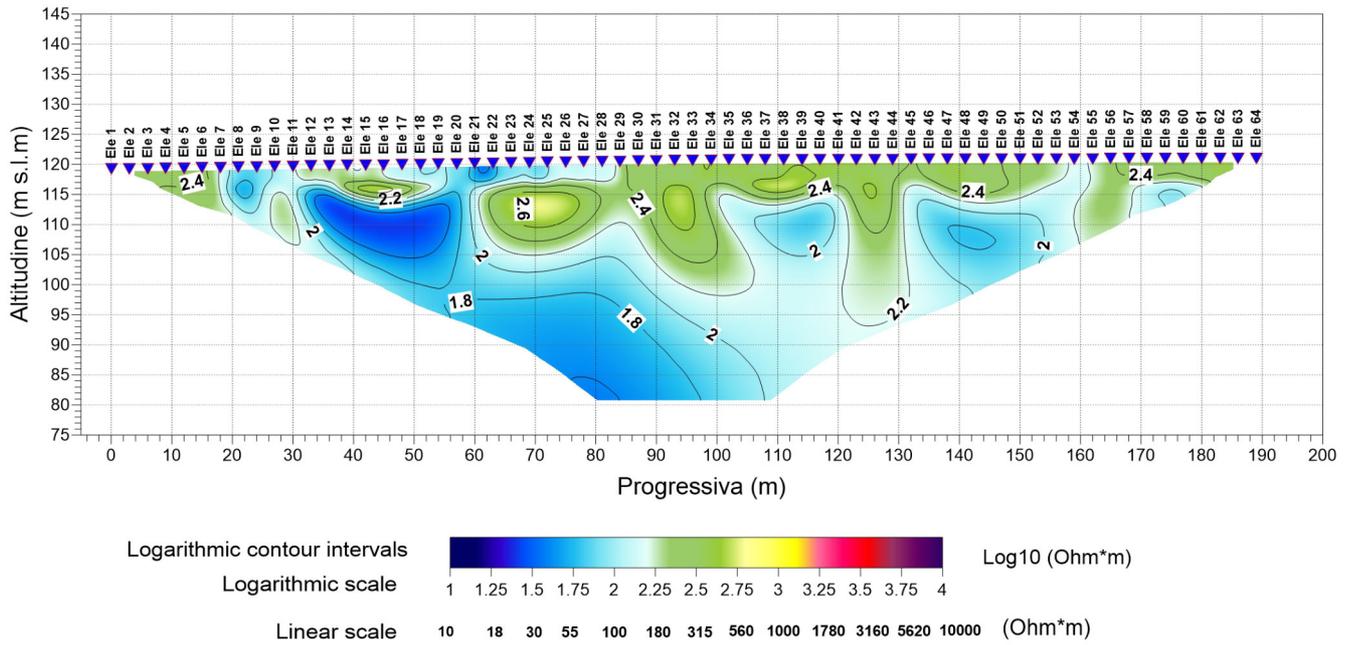


Figura 15. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Pseudo sezione tomografica 2D di resistività. Profilo EL3

3.1.4. Profilo EL4

A seguire, il profilo **EL4**, orientato in direzione Sud-Ovest Nord-Est, attraversa la vigna, parallelamente al profilo **EL3**, intersecando alla progressiva 150 il Profilo **EL2**.

Esso presenta una lunghezza complessiva pari a 129 m ed ha consentito un approfondimento massimo dell'indagine pari a circa 25 metri.

Osservando la sezione, si evidenzia un primo elettrostrato più superficiale, caratterizzato da valori di resistività compresi tra circa 180 - 700 $\Omega \cdot m$ circa, avente uno spessore medio di 12 m, seguito da un elettrostrato più conduttivo (10 - 100 $\Omega \cdot m$ circa), che si estende fino alla massima profondità di investigazione.

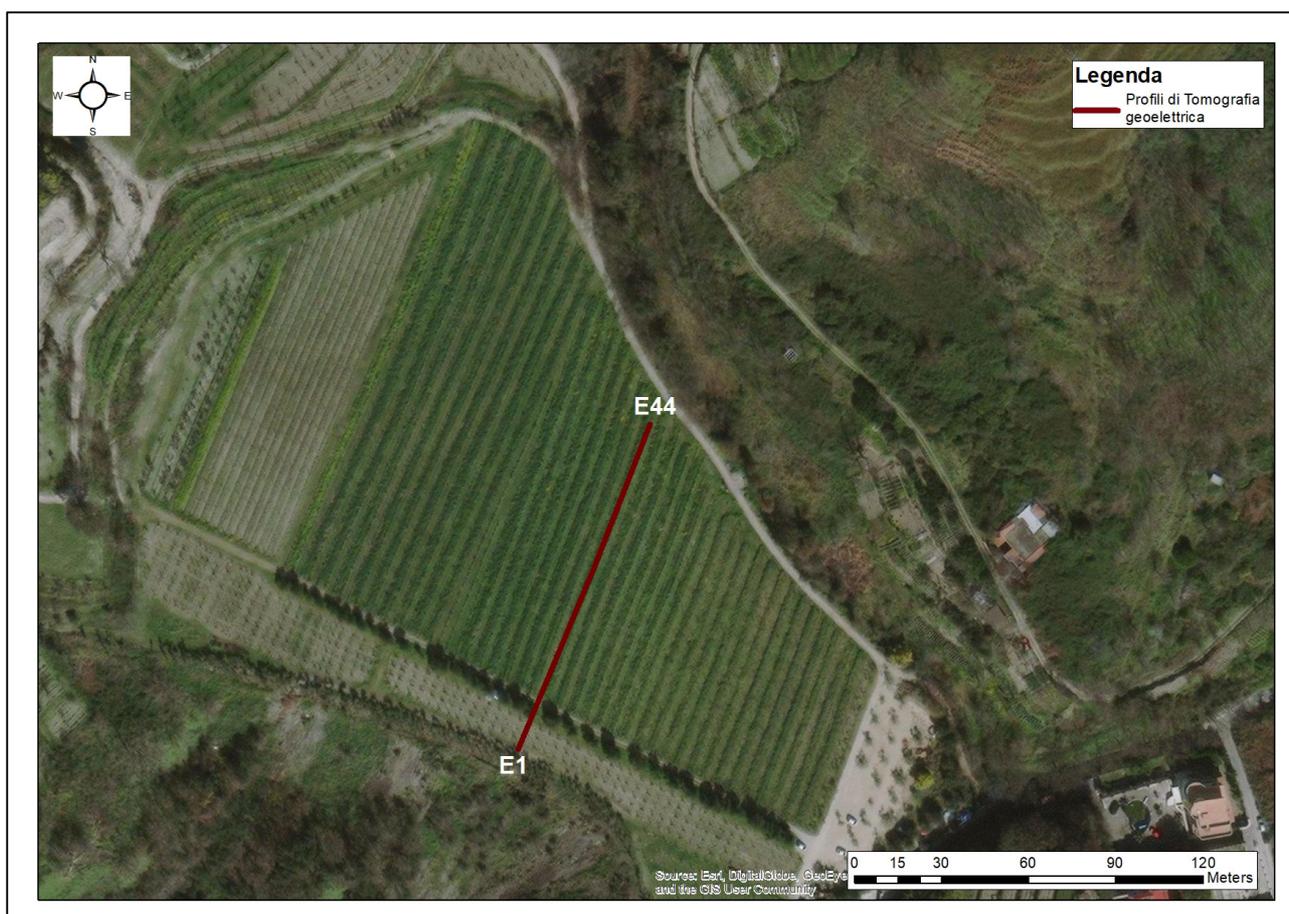


Figura 16. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Ubicazione profilo tomografia elettrica EL4.

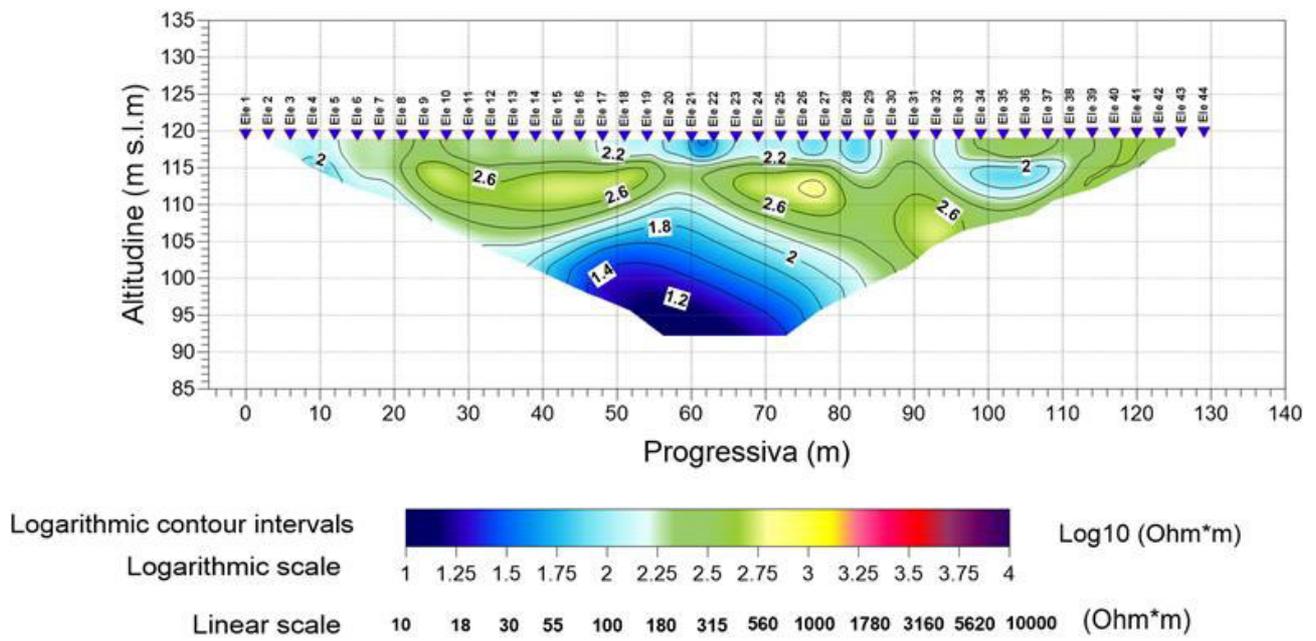


Figura 17. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Pseudo sezione tomografica 2D di resistività. Profilo EL4

3.1.5. *Profilo EL5*

Infine, per quanto concerne il profilo **EL5**, ubicato parallelamente al profilo **EL3** ed **EL4**, interseca il Profilo **EL2** alla metrica 215.

Esso presenta una lunghezza complessiva pari a 102 m ed ha consentito un approfondimento massimo dell'indagine pari a circa 20 metri.

Osservando la sezione, si osservano caratteristiche molto simili a quelle viste nella sezione **EL4**.

Si osserva un elettrostrato, che si estende tra le progressive 35 ed 85 metri, caratterizzato da resistività che raggiungono i $900 \Omega^*m$. Esso risulta incassato da terreni caratterizzati da valori di resistività elettrica inferiori compresi tra pochi Ω^*m (dovuto, presumibilmente, ad un locale incremento del contenuto d'acqua) sino a $300 \Omega^*m$ circa.

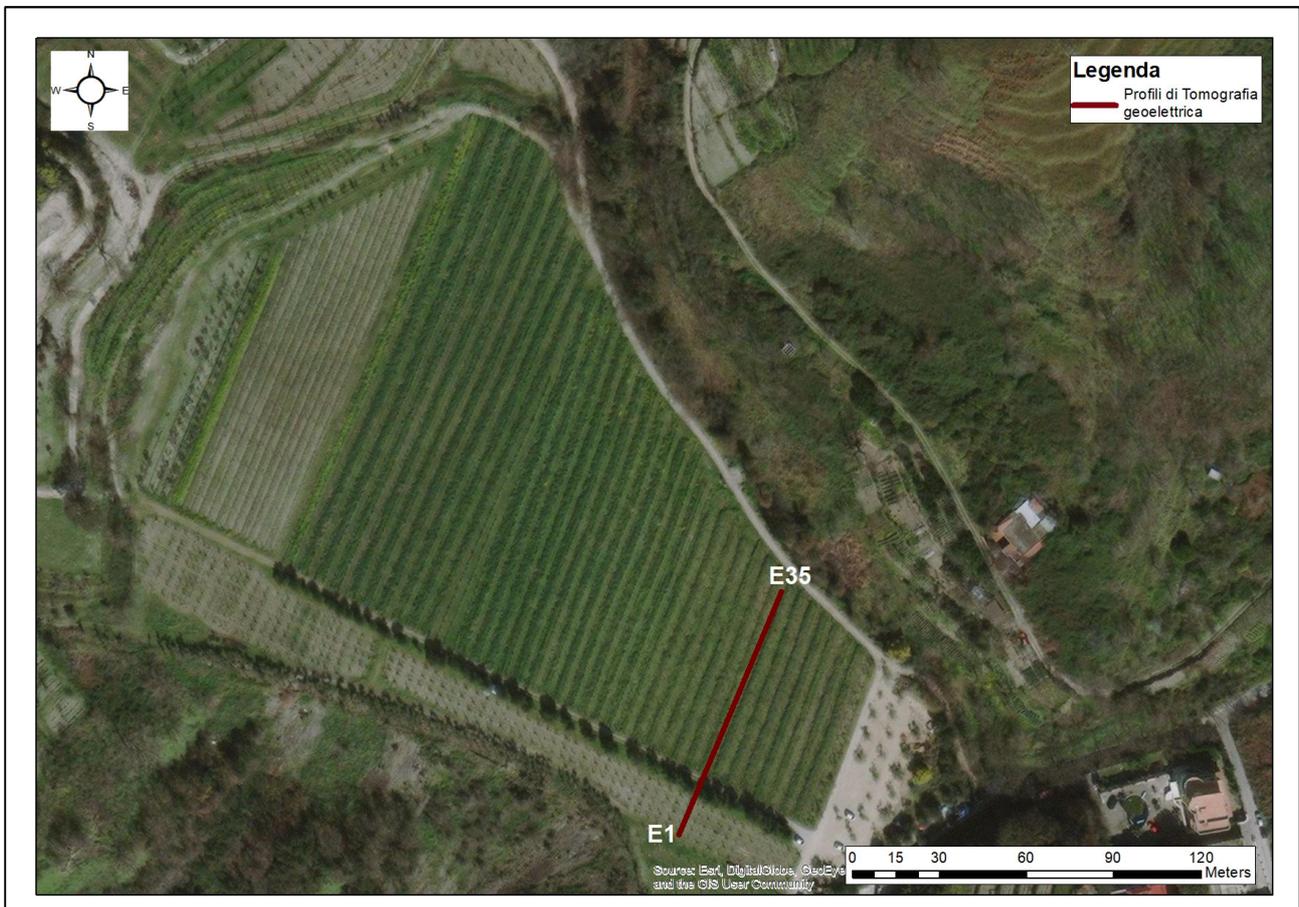


Figura 18. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Ubicazione profilo tomografia elettrica EL5.

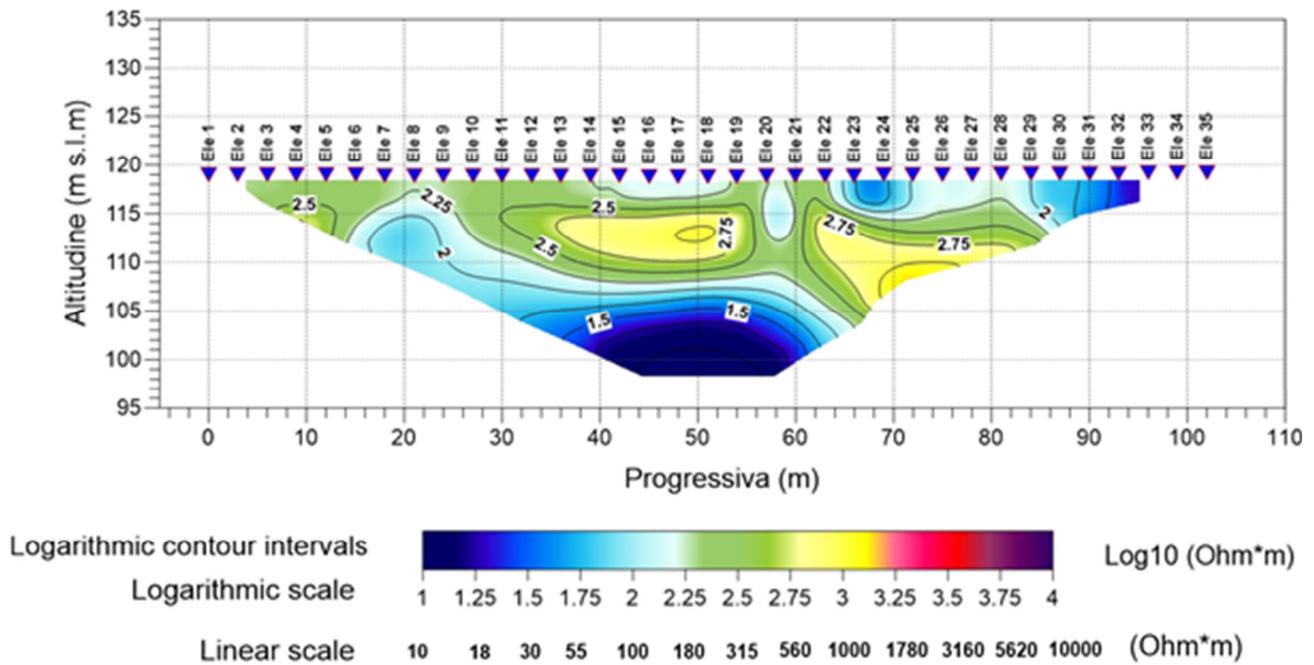


Figura 19. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Pseudo sezione tomografica 2D di resistività. Profilo EL5

Attraverso la ricostruzione del modello pseudo 3D delle indagini geoelettriche (Figura 20 e Figura 21) è possibile osservare la congruenza dei dati acquisiti ed elaborati, principalmente nelle zone di intersezione dei diversi profili, dove si evince una certa continuità degli orizzonti elettrici.

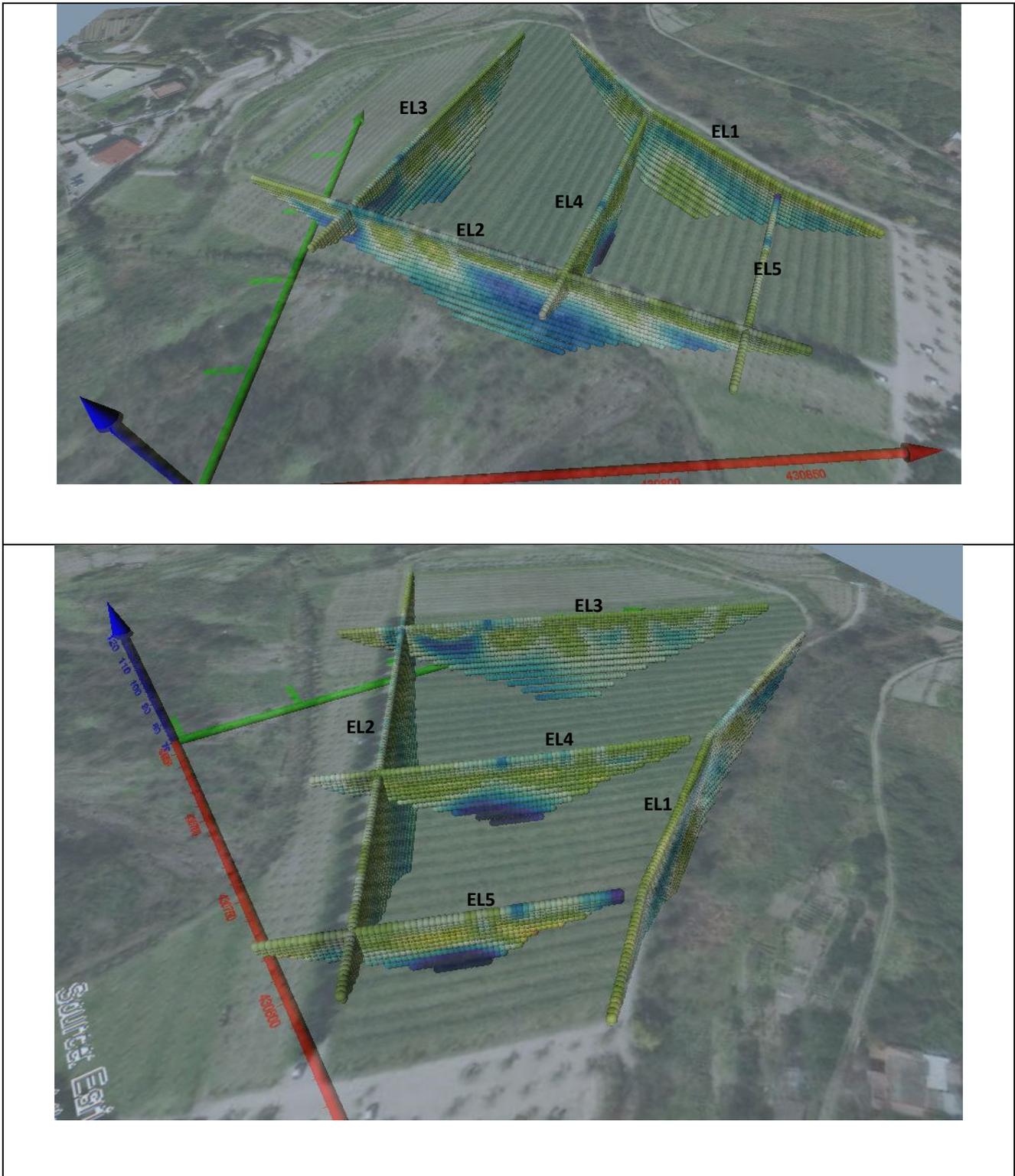


Figura 20. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Rappresentazione pseudo 3D delle sezioni tomografiche osservata da diverse angolazioni.

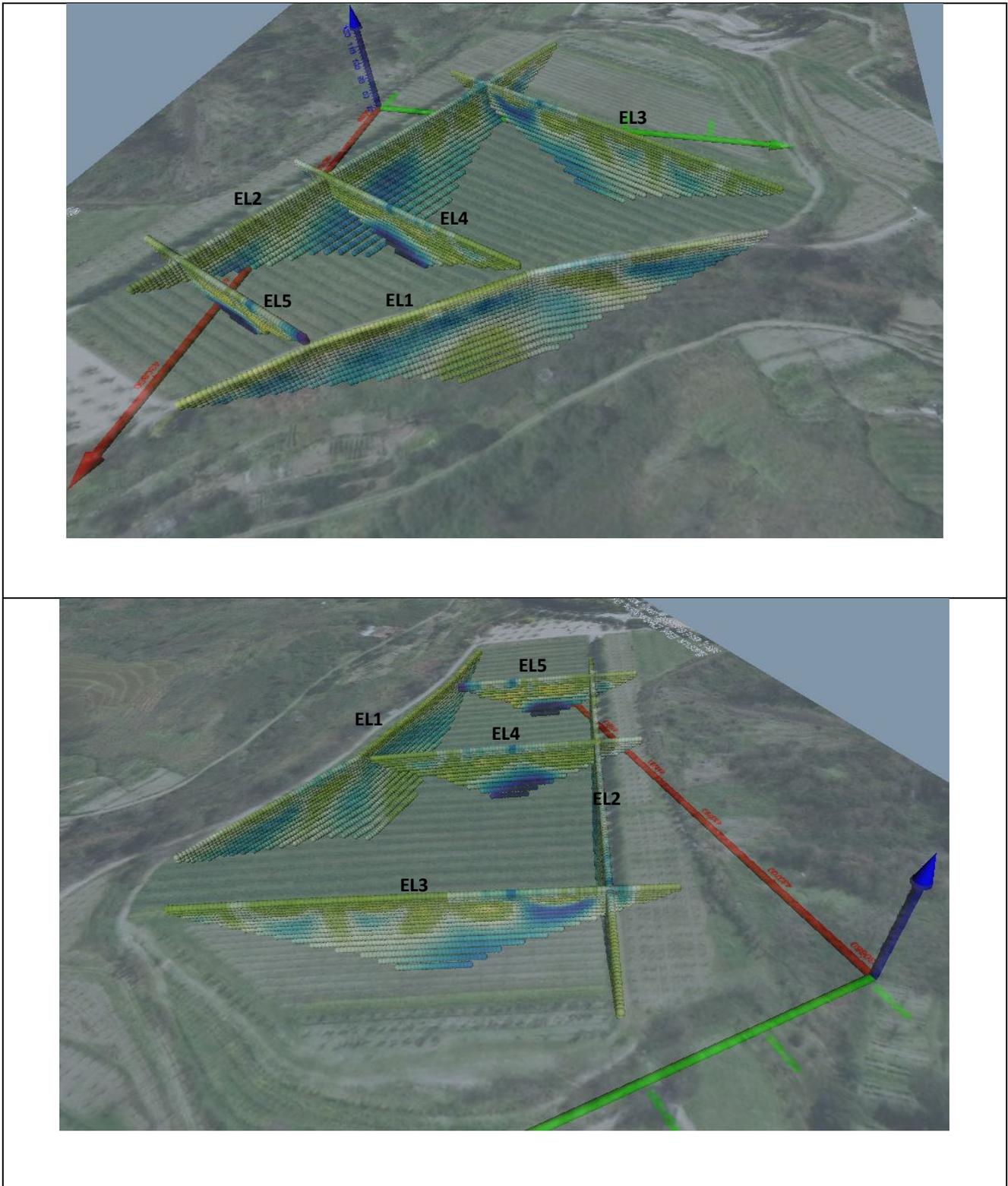


Figura 21. Napoli. Tenuta Monte Sant'Angelo. Rappresentazione pseudo 3D delle sezioni tomografiche osservata da diverse angolazioni.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE ALLE INDAGINI

La Tecno In S.p.A. è stata incaricata dalla società TENUTA MONTE SANT'ANGELO di eseguire una campagna di prospezioni geofisiche per approfondire le conoscenze geologiche in un'area adibita a vigneto afferente alla "Tenuta Monte Sant'Angelo", situata in Napoli in Via Ventilabro n.67.

Il piano delle indagini ha previsto l'esecuzione di prospezioni geofisiche di tomografia elettrica ERT al fine di ricostruire la distribuzione spaziale dei valori di resistività nel sottosuolo dell'area indagata.

Dall'analisi delle risultanze delle prospezioni eseguite, ai fini degli scopi di indagine, si espongono le seguenti considerazioni.

Complessivamente, dall'analisi delle tomografie geoelettriche emerge che i valori di resistività apparente presentano una distribuzione poco ampia, che va da pochi Ω^*m , ad un massimo di 900 Ω^*m .

I valori di resistività compresi tra pochi Ω^*m e 300 Ω^*m sono coerenti con la presenza di terreni piroclastici da sciolti a moderatamente addensati. I valori inferiori, sono presumibilmente da ascrivere da terreni caratterizzati da un superiore contenuto d'acqua.

Localmente, in particolare analizzando i profili EL4 ed EL5, si osserva un locale aumento della resistività elettrica che, presso il profilo EL5, raggiunge i 900 Ω^*m . Inoltre, analizzando il profilo EL2, sono state riscontrate due aree modeste dove la resistività elettrica è pari a circa 700 Ω^*m .

Tali valori possono essere dovuti alla locale presenza di materiale di riporto utilizzato per regolarizzare il sito.

Infine, non sono state riscontrate anomalie elettriche riconducibili a bersagli isolati da approfondire con indagini puntuali.

Tecno In S.p.A.