



Ricerca di Sistema elettrico

# Rilievi geoelettrici con tecnica tomografica per la caratterizzazione di resistività del sottosuolo nell'area della faglia di Matzaccara

A. Plaisant, A. Maiu  
S. Fais, M. Collu, P. Ligas, F. Cuccuru

RILIEVI GEOELETTRICI CON TECNICA TOMOGRAFICA PER LA CARATTERIZZAZIONE DI RESISTIVITÀ DEL SOTTOSUOLO NELL'AREA DELLA FAGLIA DI MATZACCARA

A. Plaisant, A.Maiu (Sotacarbo S.p.A.)

S. Fais, M. Collu, P.Ligas, F.Cuccuru (CINIGEO)

Settembre 2017

Report Ricerca di Sistema Elettrico

Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA

Piano Annuale di Realizzazione 2016

Progetto: *Tecnologie e metodologie low carbon e Edifici a energia quasi zero (nZEB) - CUP: I12F16000180001*

Obiettivo: Parte A – Tecnologie per l'impiantistica energetica 'low carbon'

Tema B: Monitoraggio e confinamento geologico della CO2

Task 5: Rilievi geoelettrici con tecnica tomografica per la caratterizzazione di resistività del sottosuolo nell'area della faglia di Matzaccara

Responsabile del Progetto: dott.ssa Franca Rita Picchia ENEA

Il presente documento descrive le attività di ricerca svolte all'interno dell'Accordo di collaborazione "*Tecnologie e metodologie low carbon e Edifici a energia quasi zero (nZEB)*"

Responsabile scientifico ENEA: ing. Paolo Deiana

Responsabile scientifico SOTACARBO: ing. Enrico Maggio

## Indice

SOMMARIO .....	4
1 INTRODUZIONE .....	5
1 DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ SVOLTE E RISULTATI .....	6
2 ALLEGATI.....	9

## Sommario

Questo lavoro si inserisce nell'ambito dell'Accordo di Programma Ministero dello Sviluppo Economico - ENEA sulla Ricerca di Sistema Elettrico, Piano Annuale di Realizzazione 2016, relativamente al tema di ricerca PARTE A Titolo B: Monitoraggio e confinamento geologico della CO<sub>2</sub>, Task.5 "Rilievi geoelettrici con tecnica tomografica per la caratterizzazione di resistività del sottosuolo nell'area della faglia di Matzaccara".

Le attività realizzate sino ad oggi nel sito nel Sulcis hanno permesso di individuare un'area dove poter realizzare delle sperimentazioni legate all'iniezione di piccole quantità di CO<sub>2</sub> in sottosuolo.

L'attività in esame prevede la prosecuzione delle attività sviluppate sino ad ora.

Nello specifico l'attività descritta nel presente lavoro ha l'obiettivo di portare un contributo alla caratterizzazione di una zona di faglia nell'area di Matzaccara - Bacino Carbonifero del Sulcis (Sardegna sud-occidentale), tramite una prospezione elettrica, effettuata in prossimità dell'abitato di Matzaccara finalizzata alla caratterizzazione di dettaglio della zona.

L'attività riguarda lo sviluppo di tre tomografie elettriche relative all'area della faglia di Matzaccara. Queste saranno utilizzate fra gli altri come input per lo sviluppo del modello geologico statico. Sono state fatte misure rilievi geoelettrici con tecnica tomografica per la caratterizzazione di resistività del sottosuolo, lungo sezioni bidimensionali. Le misure sono state effettuate con strumentazione specifica, eseguendo la tomografia elettrica su stendimenti di almeno 64 elettrodi e con intervalli di almeno 5 m. L'attività è stata svolta in collaborazione con il CINIGeo, che ha inoltre comparato il lavoro con i risultati ottenuti nelle precedenti campagne geofisiche precedentemente svolte, di indagini elettromagnetiche e sismiche i precedenti PAR.

## 1 Introduzione

L'attività descritta nel presente lavoro si inquadra nella caratterizzazione di una zona di faglia nell'area di Matzaccara - Bacino Carbonifero del Sulcis (Sardegna sud-occidentale), mediante la realizzazione di una prospezione elettrica costituita da otto tomografie elettriche (ERT), realizzate, con diverso passo di campionatura, lungo quattro profili di direzione NW-SE, di cui due approssimativamente coincidenti con i profili elettromagnetici VLF1 e VLF2, realizzati nella stessa area. La prospezione elettrica è stata effettuata in prossimità dell'abitato di Matzaccara, finalizzata alla caratterizzazione di dettaglio di una zona di faglia, dove studi pregressi condotti con metodi elettromagnetici, e sismici ad alta risoluzione, avevano evidenziato la presenza di una serie di discontinuità in giacitura sub-verticale, verosimilmente correlabili con strutture tettoniche.

Come è noto, mediante l'analisi dei dati di tomografia elettrica, è possibile definire la distribuzione di resistività elettrica nel sottosuolo, individuando, ad esempio, zone conduttive correlabili con zone di alterazione, zone di faglia o frattura nelle rocce che possono rappresentare vie preferenziali di drenaggio delle acque ed essere quindi, potenzialmente, caratterizzate da elevata permeabilità.

La metodologia di studio applicata nella presente indagine, risulta articolata nelle seguenti fasi:

- analisi preliminare dell'assetto litostratigrafico, geomorfologico e idrogeologico dell'area;
- valutazione dell'ubicazione e della configurazione geometrica degli stendimenti di tomografia elettrica, ritenuta più adeguata in funzione delle profondità da investigare e delle strutture ricercate;
- valutazione dell'accessibilità dei luoghi e permessi di accesso alle proprietà private;
- acquisizione dei dati di campagna e loro successiva elaborazione e interpretazione.

## 2 Descrizione delle attività svolte e risultati

Nell'area della faglia di Matzaccara (Bacino Carbonifero del Sulcis - Sardegna sud-occidentale), al fine di caratterizzare le formazioni geologiche dal punto di vista elettrico, è stata realizzata una prospezione geoelettrica. La prospezione è stata attuata utilizzando tecniche di tomografia elettrica.

La tomografia elettrica permette di investigare la distribuzione di resistività nel sottosuolo, mettendo in evidenza i contrasti di resistività elettrica che sono connessi con la natura dei terreni e con il loro contenuto in acqua.

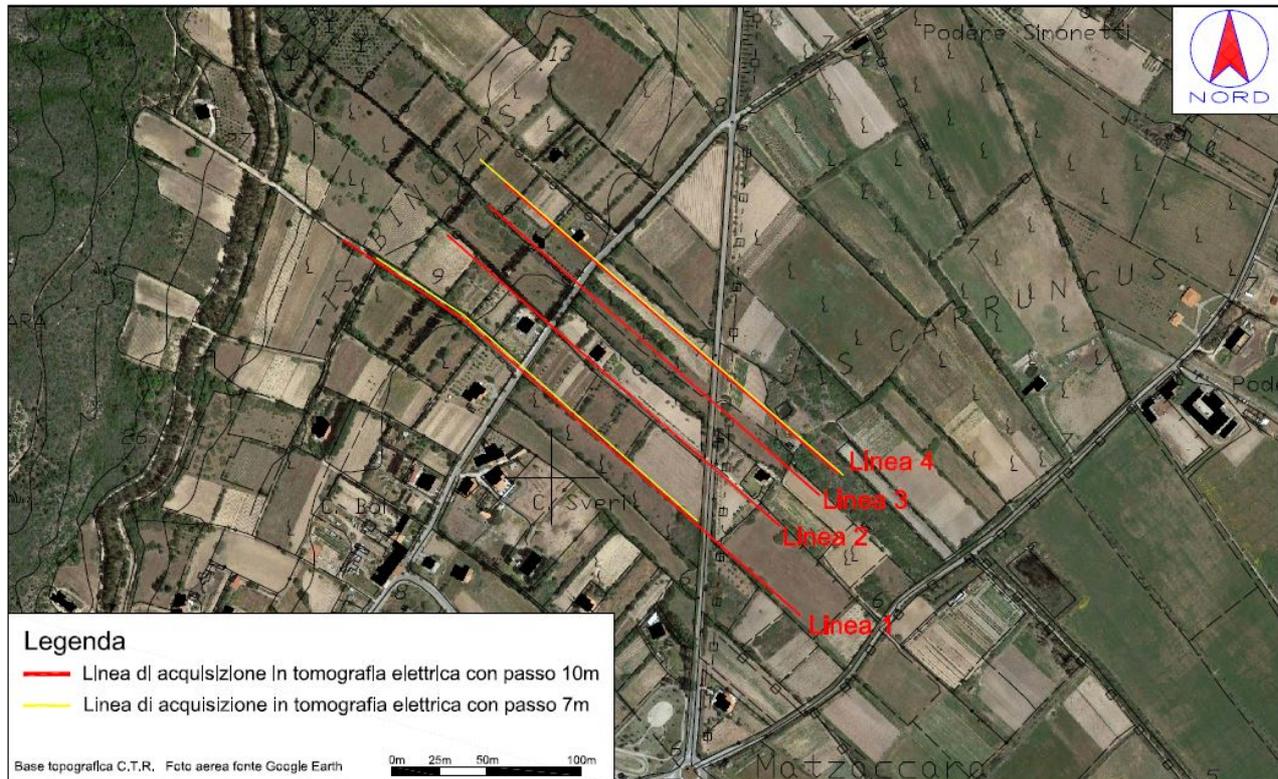


**Figura 1** Strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati di tomografia elettrica

L'area è in parte già stata esplorata nel corso di precedenti studi, mediante metodi elettromagnetici e sismici ad alta risoluzione. I dati esistenti hanno consentito di ottenere utili elementi conoscitivi sulla distribuzione della resistività nel sottosuolo e di integrare le informazioni ottenute dai dati elettromagnetici.

Nella zona di indagine sono stati materializzati quattro allineamenti, circa paralleli fra loro, in modo da investigare l'area di interesse nel dettaglio. La prospezione è stata costituita da otto tomografie elettriche (ERT), realizzate, con diverso passo di campionatura, lungo quattro profili di direzione NW-SE. Le sezioni tomografiche sono state realizzate tramite stendimenti di cavi multipolari che collegano una serie di elettrodi utilizzati tanto per l'immissione della corrente  $I$  che per la misura della differenza di potenziale  $V$ . Tramite le predette grandezze fisiche è possibile calcolare la resistività elettrica apparente  $\rho_a$  relativa alla configurazione elettrodica utilizzata.

L'ubicazione, l'orientazione e la numerazione delle linee sono riportate nella Figura 1.



**Figura 2** Posizionamento linee acquisizione

Poiché gli studi pregressi di carattere sismico ed elettromagnetico avevano individuato zone di anomalia associabili alla presenza di discontinuità strutturali che indicavano la presenza di una zona di faglia piuttosto articolata e complessa, gli stendimenti sono stati progettati per validare tali ipotesi. In particolare, le tomografie elettriche sono state realizzate in un'area d'interesse per il realizzando laboratorio di faglia, tra i profili elettromagnetici VLF1 e VLF2, in corrispondenza dei quali si erano individuate importanti anomalie associate a corpi conduttivi.

Per le tomografie elettriche sono state utilizzate due differenti configurazioni quadripolari con distanze inter-elettrode rispettivamente di 7m e 10m. La prima configurazione (Wenner-Schlumberger), è stata selezionata in quanto adeguata a fornire indicazioni sulle discontinuità delle proprietà elettriche del sottosuolo sia lateralmente sia lungo la verticale. La seconda configurazione (dipolo-dipolo) risulta, invece, più efficace per l'individuazione nel sottosuolo di contrasti laterali di proprietà elettriche (resistività). L'inversione dei dati di resistività apparente è stata effettuata utilizzando algoritmi specifici che si basano su procedimenti di deconvoluzione dei minimi quadrati e che consentono, in sintesi, di pervenire alla realizzazione di sezioni bidimensionali (pseudosezioni) che rappresentano la distribuzione della resistività apparente nel sottosuolo

Le sezioni tomografiche ottenute lungo i suddetti quattro allineamenti hanno messo in evidenza una complessa distribuzione della resistività: repentine variazioni laterali di detto parametro fisico, negli strati più superficiali caratterizzati da una resistività, prevalentemente, da bassa a media (<150  $\Omega$ m) e zone profonde ad alta resistività (>150  $\Omega$ m).

L'analisi di dettaglio delle singole sezioni tomografiche ha consentito di determinare diverse zone di anomalia, caratterizzate da bassa resistività e prevalente sviluppo in profondità che indicherebbero la presenza di corpi conduttivi in giacitura sub-verticale o inclinati.

Dalla analisi comparata tra i risultati delle tomografie elettriche e quelli elettromagnetici si denotano: strati superficiali a bassa-media resistività caratterizzati da numerose discontinuità laterali di proprietà elettriche e strati profondi, caratterizzati da elevata resistività, indice di assenza di intensi processi di alterazione e/o fratturazione delle rocce. Considerando il contesto geologico dell'area, gli elettrostrati superficiali più conduttivi, potrebbero essere associati ai depositi quaternari mentre gli elettrostrati più profondi, a

resistività più elevata, presentano caratteristiche che possono essere associate a rocce più compatte e sane che potrebbero identificarsi con le ignimbriti di composizione riolitica. In tale generale configurazione della distribuzione di resistività con la profondità, si sono riconosciute zone di anomalia ben localizzate, in giacitura verticale o sub-verticale che si sviluppano in profondità. Tali zone di anomalia si ritiene possano essere correlate con zone di alterazione e/o fratturazione della roccia, contatti tra formazioni geologiche con differenti caratteristiche elettriche e/o con zone di faglia che possono favorire la circolazione dell'acqua nel sottosuolo e i processi di alterazione delle rocce.

### 3 Allegati

**Rilievi geoelettrici con tecnica tomografica  
per la caratterizzazione della resistività del  
sottosuolo nell'area della faglia di  
Matzaccara**

**RAPPORTO TECNICO-SCIENTIFICO**

*Novembre 2017*



**CONSORZIO INTERUNIVERSITARIO NAZIONALE  
PER L'INGEGNERIA DELLE GEORISORSE**

Silvana Fais  
Mario Collu  
Paola Ligas  
Francesco Cuccuru

# INDICE

<b>PREMESSA</b> .....	2
<b>1.0 INQUADRAMENTO DEL SITO</b> .....	4
<b>2.0 INDAGINI GEOFISICHE E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA</b> .....	4
2.1 Resistività delle rocce .....	8
2.2 Tomografia elettrica .....	9
2.2.1 Descrizione del metodo .....	9
2.2.2 Strumentazione utilizzata.....	16
2.2.3 Elaborazione dei dati e software utilizzato .....	17
<b>3.0 ANALISI DEI RISULTATI</b> .....	18
3.1 Linea 1 .....	18
3.2 Linea 2.....	19
3.3 Linea 3.....	20
3.4 Linea 4.....	20
<b>4.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b> .....	21

## PREMESSA

L'attività descritta nel presente lavoro fa parte del Piano Annuale di Realizzazione (PAR) 2015 per la Ricerca di Sistema Elettrico, sub-attività C4 ed ha l'obiettivo di portare un contributo alla caratterizzazione di una zona di faglia nell'area di Matzaccara - Bacino Carbonifero del Sulcis (Sardegna sud-occidentale), mediante la realizzazione di una prospezione elettrica costituita da otto tomografie elettriche (ERT), realizzate, con diverso passo di campionatura, lungo quattro profili di direzione NW-SE, di cui due (Profili 1 e 4) approssimativamente coincidenti con i profili elettromagnetici VLF1 e VLF2, realizzati nella stessa area e descritti in uno studio precedente (Fais et al., 2016). La prospezione elettrica, effettuata in prossimità dell'abitato di Matzaccara è stata, pertanto, finalizzata alla caratterizzazione di dettaglio di una zona di faglia, dove, studi pregressi, condotti con metodi elettromagnetici, realizzati dal settore Geofisica del CINIGeo (Fais et al., 2016) di Roma e sismici ad alta risoluzione, realizzati ad opera dell'Unità operativa dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Oceanografia Sperimentale (OGS) di Trieste, avevano evidenziato la presenza di una serie di discontinuità in giacitura sub-verticale, verosimilmente correlabili con strutture tettoniche.

Come è noto, mediante l'analisi dei dati di tomografia elettrica, è possibile definire la distribuzione di resistività elettrica nel sottosuolo, individuando, ad esempio, zone conduttive correlabili con zone di alterazione, zone di faglia e/o frattura nelle rocce che possono rappresentare vie preferenziali di drenaggio delle acque ed essere quindi, potenzialmente, caratterizzate da elevata permeabilità.

La metodologia di studio applicata nella presente indagine, risulta articolata nelle seguenti fasi:

- analisi preliminare dell'assetto litostratigrafico, geomorfologico e idrogeologico dell'area;
- valutazione dell'ubicazione e della configurazione geometrica degli stendimenti di tomografia elettrica, ritenuta più adeguata in funzione delle profondità da investigare e delle strutture ricercate;
- valutazione dell'accessibilità dei luoghi e permessi di accesso alle proprietà private;

- acquisizione dei dati di campagna e loro successiva elaborazione e interpretazione.

Fanno parte integrante della presente relazione tecnico-scientifica i seguenti elaborati:

- Tavola 1. Planimetria con ubicazione delle linee di tomografia elettrica,
- Tavola 2. Linea 1 passo 10m – ubicazione anomalie elettriche,
- Tavola 3. Linea 1 passo 7m – ubicazione anomalie elettriche,
- Tavola 4. Linea 2 passo 10m – ubicazione anomalie elettriche,
- Tavola 5. Linea 3 passo 10m – ubicazione anomalie elettriche,
- Tavola 6. Linea 4 passo 10m – ubicazione anomalie elettriche,
- Tavola 7. Linea 4 passo 7m – ubicazione anomalie elettriche,
- Tavola 8. Correlazione fra anomalie.



In tutte le linee, l'acquisizione dei dati è stata realizzata eseguendo stendimenti di tomografia elettrica con interdistanza elettrodica pari a 10 m. Su due linee (Linea 1 e Linea 4) è stata eseguita anche un'acquisizione di maggior dettaglio, utilizzando un'interdistanza elettrodica di 7m.

Sulla Linea 1 sono stati eseguiti stendimenti con interdistanza elettrodica 7m e 10m. Gli stendimenti realizzati con passo elettrodico di 7m hanno prodotto sezioni elettriche di lunghezza totale pari a 441m. Tali sezioni sono state ottenute dall'unione di due stendimenti da 329m e parziale sovrapposizione per 217m (32 picchetti). Dalle stese realizzate con passo 10m sono state elaborate sezioni elettriche lunghe 630m. Queste sono il risultato dell'unione di due stendimenti da 470 m che si sovrappongono fra loro per una lunghezza pari a 310m (32 picchetti). La Tabella 1 riporta i parametri di acquisizione degli stendimenti realizzati sulla Linea 1.

ID		Data	N° picchetti	Interdistanza elettrodica [m]	Lunghezza totale [m]	Massima profondità indagata [m]	Direzione dal Picchetto 1 al Picchetto 48
L1 7m	L1 a	15/09/17	48	7	329	32 DD 47 WS	SE-NO
	L1 b	15/09/17	48	7	329	32 DD 47 WS	SE-NO
L1 10m	L1 c	22/09/17	48	10	470	67 DD 78 WS	NO-SE
	L1 d	22/09/17	48	10	470	67 DD 78 WS	SE-NO

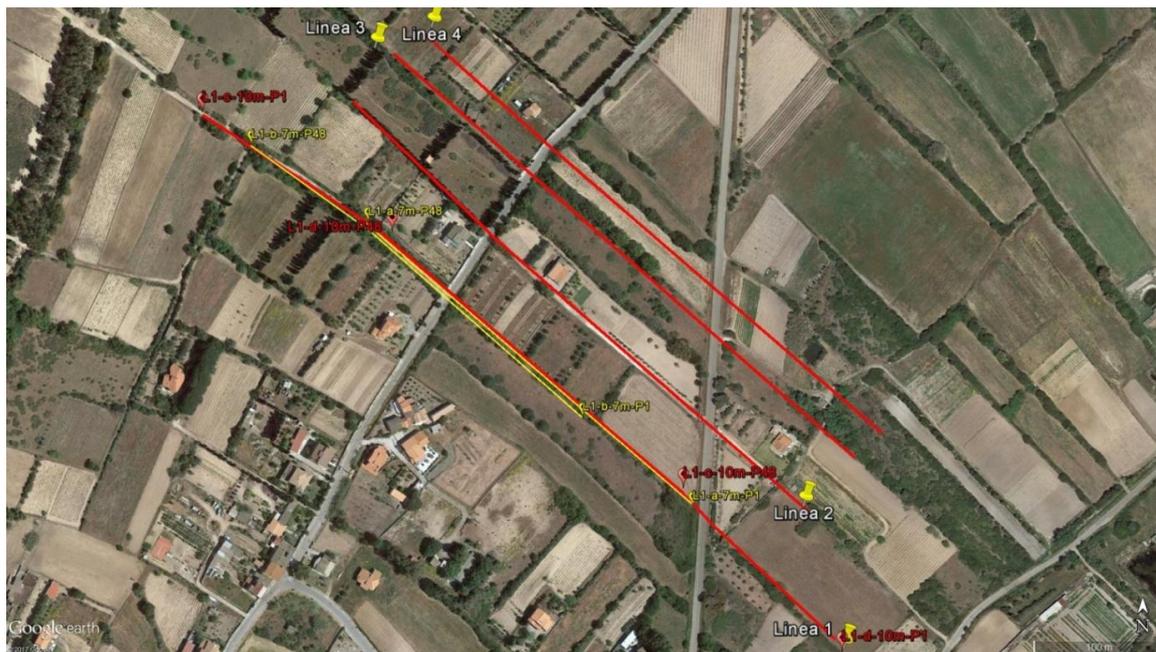
**Tabella 1 - Parametri di acquisizione - Linea 1.**

Nella Figura 2 è riportata l'ubicazione dei picchetti 1 e 48 dei singoli stendimenti eseguiti sulla Linea 1.

Sulla Linea 2 è stato eseguito un unico stendimento con interdistanza elettrodica 10m da cui deriva una sezione elettrica di 470m. La Tabella 2 riporta i parametri d'acquisizione dello stendimento realizzato sulla Linea 2.

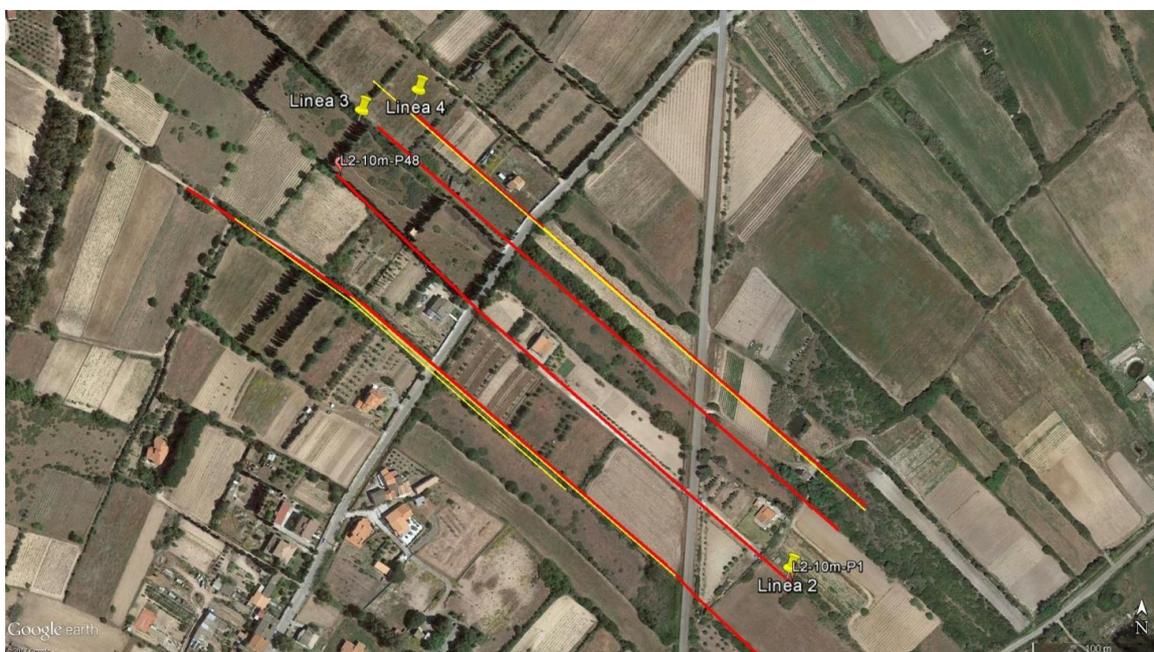
ID	Data	N° picchetti	Interdistanza elettrodica [m]	Lunghezza totale [m]	Massimo profondità indagata [m]	Direzione dal Picchetto 1 al Picchetto 48
L2 10m	21/09/17	48	10	470	67 DD-78 WS	SE-NO

**Tabella 2 - Parametri di acquisizione - Linea 2.**



**Figura 2 - Geometria di acquisizione - Linea 1.**

Nella Figura 3, è riportata l'ubicazione dei picchetti 1 e 48 dei singoli stendimenti eseguiti sulla Linea 2.



**Figura 3 - Geometria di acquisizione - Linea 2.**

Sulla Linea 3 è stato eseguito un unico stendimento con interdistanza elettrodica 10m da cui deriva una sezione elettrica di 470m.

La Tabella 3 riporta i parametri d'acquisizione dello stendimento realizzato sulla Linea 3.

ID	Data	N° picchetti	Interdistanza elettrodica [m]	Lunghezza totale [m]	Massimo profondità indagata [m]	Direzione dal Picchetto 1 al Picchetto 48
L3 10m	20/09/17	48	10	470	68 DD-68 WS	SE-NO

**Tabella 3 - Parametri di acquisizione - Linea 3.**

Nella Figura 4, è riportata l'ubicazione dei picchetti 1 e 48 dei singoli stendimenti eseguiti sulla Linea 3.



**Figura 4 - Geometria di acquisizione - Linea 3.**

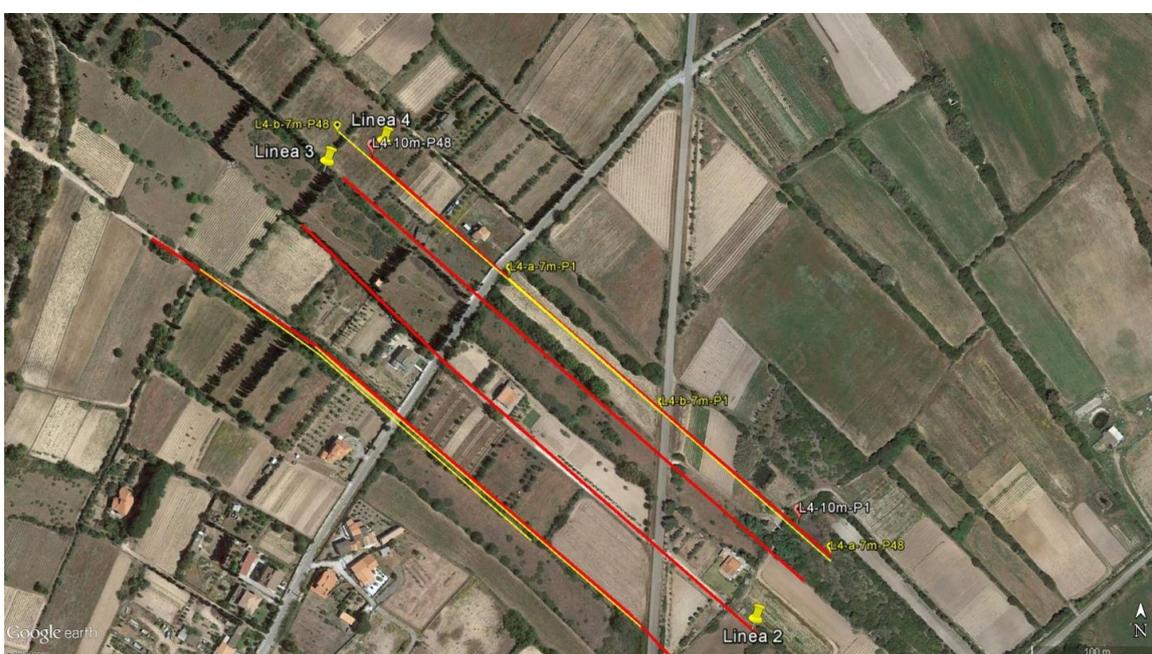
Sulla Linea 4 è stato eseguito uno stendimento con interdistanza elettrodica 10m da cui deriva una sezione elettrica di 470m; inoltre, sono stati realizzati due stendimenti da 329m, con passo elettrodico 7m e parziale sovrapposizione per 147m (22 picchetti), la sezione elettrica elaborata ha una lunghezza totale pari a 551m.

La tabella 4 riporta i parametri di acquisizione degli stendimenti realizzati sulla Linea 4.

ID		Data	N° picchetti	Interdistanza elettrodica [m]	Lunghezza totale [m]	Massima profondità indagata [m]	Direzione dal picchetto 1 al picchetto 48
L4 7m	L4 a	21/09/17	48	7	329	50 DD-55 WS	NO-SE
	L4 b	21/09/17	48	7	329	50 DD-55 WS	SE-NO
L4 10m		20/09/17	48	10	470	67 DD-68 WS	SE-NO

**Tabella 4 - Parametri d'acquisizione - linea 4**

Nella Figura 5 è riportata l'ubicazione dei picchetti 1 e 48 dei singoli stendimenti eseguiti sulla Linea 4.



**Figura 5 - Geometria di acquisizione - Linea 4.**

## 2.1 Resistività delle rocce

La resistività delle rocce 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. Nel caso di macrofessure o cavità piene d'aria, la resistività tende a valori molto elevati.

La resistività di una roccia dipende anche dalla sua tessitura, ossia, dalla disposizione, forma e dimensioni dei granuli che la compongono, e dai fluidi che riempiono gli interstizi. E' da considerare che le rocce ed i minerali non sono mezzi isotropi, ossia corpi materiali dove le grandezze fisiche si mantengono le stesse

prescindendo dalla direzione, ma generalmente presentano diversa anisotropia e possono essere 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.

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

- grado di saturazione dei pori e geometria del sistema poroso;
- densità delle rocce;
- granulometria;
- eventuale grado di alterazione e fratturazione della roccia.

## 2.2 Tomografia elettrica

### 2.2.1 Descrizione del metodo

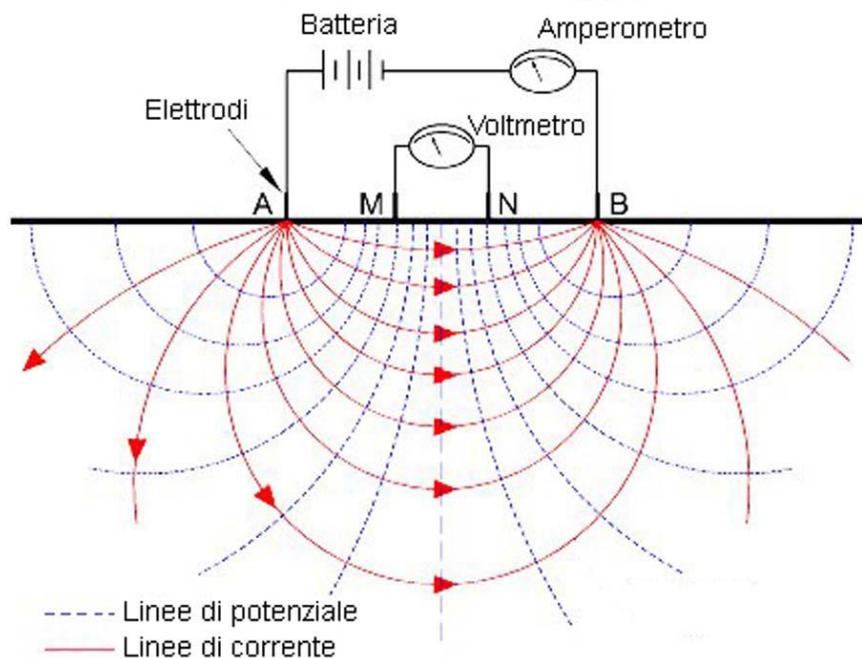
Lo scopo dei metodi geofisici è quello di ottenere informazioni sulla natura e struttura del sottosuolo attraverso una serie di misure opportunamente effettuate in superficie. Il metodo utilizzato in questa indagine ricade fra i metodi geoelettrici "attivi", ossia quelli che utilizzano correnti elettriche artificialmente immesse nel terreno. L'obiettivo è quello di misurare la resistività apparente degli strati attraversati dalla corrente elettrica.

Il metodo della tomografia elettrica in corrente continua, consente di ricostruire sezioni bidimensionali di resistività elettrica del sottosuolo.

Un profilo tomografico (ERT) viene realizzato tramite un cavo multipolare che collega una serie di elettrodi che vengono utilizzati tanto per l'immissione della corrente  $I$  che per la misura della differenza di potenziale  $\Delta V$ . Tramite queste due grandezze fisiche è possibile calcolare la resistività apparente relativa alla configurazione elettrodica utilizzata.

Gli elettrodi di corrente sono indicati, convenzionalmente, con A e B, quelli di potenziale con M e N; nella configurazione elettrodica Wenner, una delle due utilizzate per l'indagine in argomento, viene mantenuta sempre la stessa spaziatura tra gli elettrodi consecutivi, per cui si ha  $AM = MN = NB$ .

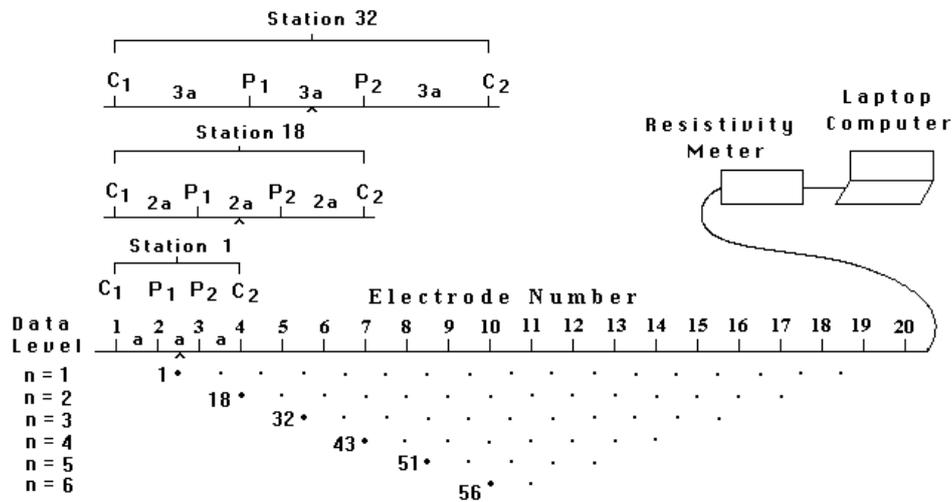
Spostando lateralmente il quadripolo, si registrano le variazioni orizzontali della resistività, mentre con il progressivo allargamento della spaziatura tra gli elettrodi, si acquisiscono informazioni sugli strati via via più profondi. Si ottiene così una pseudosezione di resistività apparente che, attraverso opportuni algoritmi di calcolo, può essere invertita per fornire una sezione bidimensionale di resistività. In Figura 6, si riporta lo schema della configurazione quadripolare di Wenner.



**Figura 6 - Configurazione quadripolare di Wenner.**

Per la realizzazione delle tomografie elettriche, effettuate nel presente studio, si è utilizzato uno stendimento costituito da un massimo di 48 elettrodi posti ad un'interdistanza costante l'uno dall'altro. Tali elettrodi vengono gestiti automaticamente dallo strumento di misura e commutati, alternativamente, come elettrodi di corrente e di misura della differenza di potenziale (d.d.p. -  $\Delta V$ ).

La metodologia consente, dunque, l'acquisizione di una considerevole quantità di dati di resistività "apparente", rappresentativa sia delle sue variazioni laterali che verticali, lungo il profilo, al fine di generare una sezione di Tomografia Elettrica (Figura 7).



Sequence of measurements to build up a pseudosection

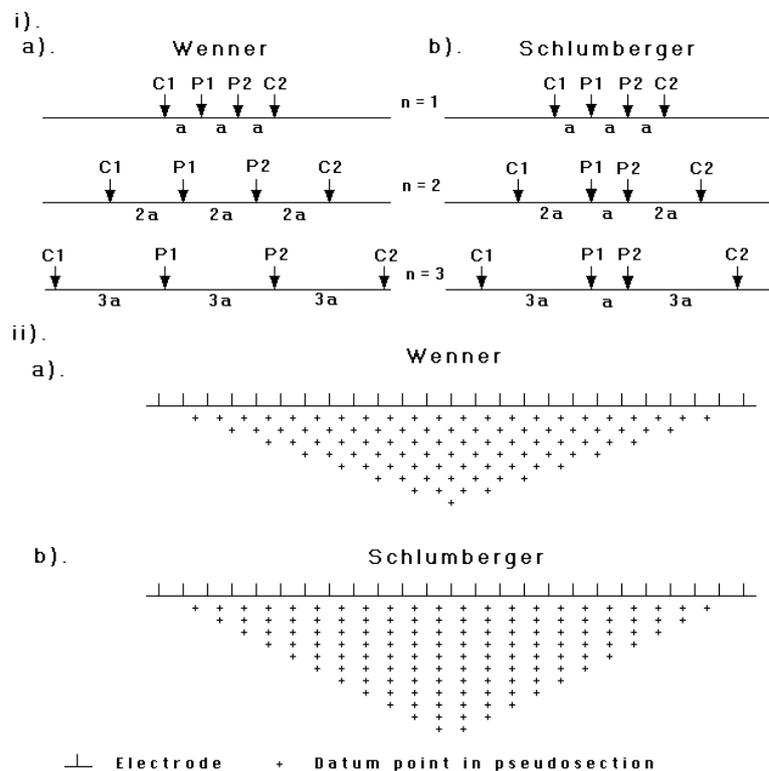
Figura 7 - Schema di acquisizione della tomografia elettrica.

Nel progettare una campagna d'indagine geoelettrica occorre considerare con attenzione le problematiche da risolvere e le strutture geologiche da individuare. Infatti, per un particolare modello di sottosuolo esiste una sola distribuzione dei dati che tale modello determina. Non necessariamente, però, il modello può essere ricostruito con un'unica tecnica di acquisizione del dato. Come si vedrà nel seguito, i dispositivi elettrodiici hanno diversa sensibilità nell'individuare le strutture geologiche. Per questo motivo, conoscendo a priori le profondità medie, le caratteristiche delle strutture e le litologie del sottosuolo, è possibile progettare una campagna di prospezione ottimale rispetto alla problematica oggetto di studio. In questo lavoro, sono state utilizzate due diverse configurazioni elettrodiiche, Wenner-Schlumberger (WS) e Dipolo-Dipolo (DD), di cui, nel seguito, si riportano le caratteristiche fondamentali. Sulla base di studi pregressi, si è, sperimentalmente, osservato, che dispositivi di acquisizione diversi lungo la stessa sezione di misura, possono mettere in evidenza aspetti diversi della stessa anomalia. A volte, a seconda della configurazione elettrodiica utilizzata, è possibile delineare, più o meno bene, i limiti di un'anomalia. Analizzando la funzione *sensitivity* per le varie configurazioni elettrodiiche, è possibile individuare limiti e

pregi di ciascuna configurazione e, di conseguenza, scegliere la configurazione più adatta al particolare problema da risolvere. Infatti, ogni configurazione quadripolare ha un utilizzo ottimale in determinati contesti geologici, in base alla sua sensibilità. Questa rappresenta un indice di quanto la variazione di resistività del terreno influenzi la misura di potenziale e ha con questa una relazione di proporzionalità diretta.

### **Configurazione Wenner-Schlumberger**

Questo tipo di dispositivo risulta dalla combinazione della configurazione elettrodica tipo Wenner con quella tipo Schlumberger (Pazdirek e Blaha, 1996). Il classico dispositivo Schlumberger è utilizzato comunemente per realizzare dei sondaggi di resistività ma, con degli opportuni accorgimenti, è possibile utilizzare lo stesso dispositivo per effettuare delle tomografie disponendo gli elettrodi come mostrato in Figura 8.

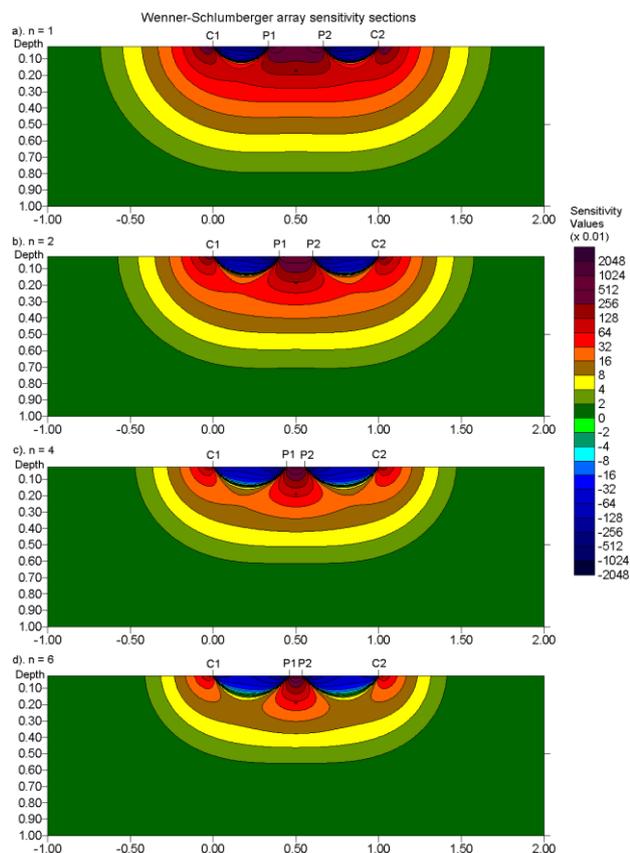


**Figura 8 - Configurazione elettrodica Wenner - Schlumberger.**  
 Courtesy from: *Loke,2009.*

Dove, C1 e C2 rappresentano gli elettrodi di corrente e P1-P2, quelli di potenziale. Nel dispositivo Schlumberger, la spaziatura tra gli elettrodi di potenziale rimane costante e pari ad **a**, mentre, la spaziatura tra gli elettrodi di corrente aumenta secondo multipli interi (**n**) di **a**.

Il fattore "n" per questo dispositivo è il rapporto tra la distanza elettrodica C1-P1 (o P2-C2) e la spaziatura P1-P2, coppia di elettrodi di potenziale. Questo è il motivo per cui la disposizione Wenner-Schlumberger (WS) è adeguata in contesti geologici caratterizzati dalla presenza sia di strutture in giacitura subverticale sia di strutture ad andamento orizzontale o suborizzontale. Tale configurazione rappresenta un buon compromesso tra quella di Wenner e quella Dipolo-Dipolo. Si noti che la configurazione Wenner non è che un caso particolare della configurazione Schlumberger (fattore "n" uguale a 1).

L'andamento della funzione *sensitivity* del dispositivo in esame, riportata in Figura 9, presenta una leggera curvatura al centro del quadripolo, bassi valori di *sensitivity* tra gli elettrodi C1 e P1 (e/o tra gli elettrodi C2 e P2) e una maggiore concentrazione di alti valori di *sensitivity* tra gli elettrodi di potenziale (P1-P2).



**Figura 9 - Andamento della funzione *sensitivity* per la configurazione elettrodica Wenner-Schlumberger.**

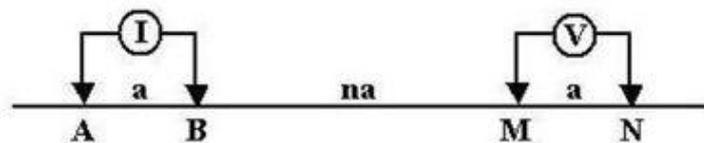
Gli andamenti della funzione *sensitivity* sono fortemente variabili in relazione ai valori di  $n$  considerati; infatti, per bassi valori di  $n$  l'andamento di tale funzione risulta essere piuttosto piatto (e quindi più sensibile ad individuare strutture orizzontali) mentre, per alti valori di  $n$ , l'andamento della funzione *sensitivity* presenta dei lobi di picco che si sviluppano maggiormente lungo la direzione verticale (vengono discriminate maggiormente le strutture in giacitura verticale).

A parità di distanza tra gli elettrodi di corrente, la profondità di investigazione che è possibile raggiungere con il dispositivo Wenner-Schlumberger è maggiore del 10% rispetto a quella raggiungibile con il dispositivo Wenner. L'intensità del segnale è inferiore rispetto a quella del dispositivo Wenner ma è più elevata di quella che caratterizza il Dipolo-Dipolo. Per quanto riguarda la copertura orizzontale, il dispositivo misto Wenner-Schlumberger presenta una copertura maggiore rispetto a quella del Wenner, per quanto inferiore rispetto a quella del Dipolo-Dipolo.

### **Configurazione Dipolo-Dipolo**

Il dispositivo Dipolo-Dipolo, è caratterizzato dal fatto che il dipolo di corrente (A - B) ed il dipolo di potenziale (M - N), presentano la stessa distanza e, a differenza degli altri dispositivi, i due dipoli sono separati, così come riportato in Figura 10. Dato che, in questa configurazione, i dipoli di corrente sono separati da quelli di potenziale, il dipolo-dipolo presenta bassi valori di *noise*.

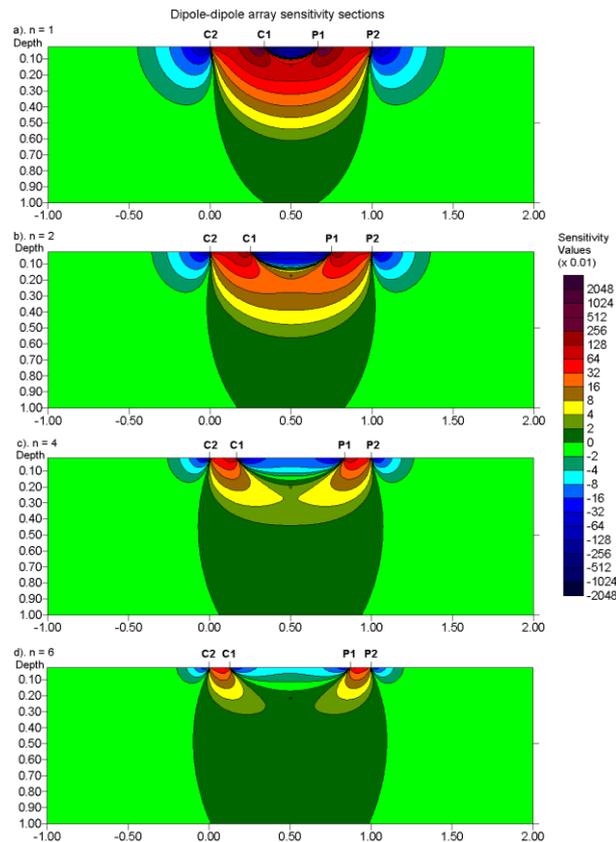
Le distanze tra gli elettrodi di corrente (A e B) e quelli di potenziale (M e N) aumentano seguendo multipli interi di  $n$ . Per questo dispositivo il parametro  $n$  è pari al rapporto tra la distanza fra gli elettrodi B-M e la distanza tra gli elettrodi di corrente A-B oppure tra gli elettrodi di potenziale M-N (pari alla distanza elettrodica definita  $a$ ).



$$\rho_A = \frac{V}{I} \pi a n(n+1)(n+2).$$

**Figura 10 – Configurazione elettrodica Dipolo-Dipolo.**

L'array dipolo-dipolo non consente un'elevata penetrazione del segnale, presenta bassa risoluzione verticale ma buona risoluzione orizzontale (per la vicinanza tra gli elettrodi). L'intensità del segnale è inferiore rispetto a quella relativa agli altri array. In Figura 11 è riportato l'andamento della funzione *sensitivity* per la configurazione Dipolo-Dipolo.



**Figura 11 - Funzione *sensitivity* per la configurazione Dipolo-Dipolo.**

In generale i massimi valori della funzione *sensitivity*, riportati in Figura 11, sono assunti al disotto dei due dipoli (quello di corrente e quello di potenziale). Per bassi valori di  $n$ , l'andamento è quasi piatto mentre, man mano che  $n$  aumenta, i lobi rappresentativi di alti valori della funzione sensitività sono sempre più concentrati al disotto dei dipoli spostandosi dal centro dello stendimento. A tal proposito, è utile ricordare che lo schema utilizzato per la ricostruzione delle pseudosezioni di resistività apparente, prevede che la posizione del valore di resistività misurato ricada nel punto d'intersezione di due semirette tracciate a  $45^\circ$  rispetto al centro del dipolo di corrente e del dipolo di potenziale relativo alla misura in esame. Questa posizione corrisponde ad una zona in cui il valore di

*sensitivity* è piuttosto basso. Infatti, come già detto, per il Dipolo-Dipolo, le zone in cui si concentrano alti valori di *sensitivity* sono posizionate al di sotto dei due dipoli e quindi verso l'esterno del dispositivo e non al centro. Dove il dispositivo risulta essere meno sensibile (con valori prossimi a 0) viene assegnato il valore di resistività misurato. Questa tipologia di problema riguarda esclusivamente la configurazione dipolo-dipolo assiale (e il polo-dipolo) in quanto per le altre configurazioni, il punto in cui viene plottato il dato misurato, corrisponde ad una zona in cui i valori di *sensitivity* sono alti. Comunque l'algoritmo d'inversione di Loke e Barker (1996) tiene conto dell'errore nel quale si potrebbe incorrere e costruisce un modello a blocchi in cui le dimensioni delle celle non sono fisse. Considerando le variazioni dei valori di *sensitivity* in relazione all'aumentare del parametro  $n$ , il Dipolo-Dipolo risulta esser maggiormente adatto per la individuazione di dicchi e cavità e poco adatto per la ricostruzione di strutture in giacitura orizzontale, quali potrebbero essere, ad esempio, livelli sedimentari. La profondità media d'investigazione è confrontabile con quella del Wenner ma, a parità di elettrodi, la copertura orizzontale raggiunta dal dispositivo Dipolo-Dipolo risulta essere maggiore di quella raggiungibile con il Wenner.

### 2.2.2 Strumentazione utilizzata

La strumentazione utilizzata per lo studio è composta dai seguenti dispositivi:

- un sistema di misurazione ed acquisizione formato da un georesistivimetro completo di unità di energizzazione ed un computer per la gestione automatica delle acquisizioni (apparecchiatura per tomografia elettrica Mod. Polares della PASI) che fornisce la corrente da immettere nel sottosuolo con una tensione in uscita fra 0 e 300V ed una corrente variabile fra 5 e 2.000 mA;
- n° 3 MUX per la gestione automatica delle acquisizioni in cui gli elettrodi collegati all'unità di acquisizione ed energizzazione sono in grado di funzionare alternativamente come elettrodi di corrente e di potenziale;
- n° 3 cavi per 16 elettrodi cable A-B-M-N con connettore per MUX;
- n° 48 elettrodi in acciaio inox.

In Figura 12 è mostrata la strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati.



**Figura 12 – Strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati di tomografia elettrica.**

### 2.2.3 Elaborazione dei dati e software utilizzato

L'utilizzo appropriato dei programmi d'inversione interattiva dei dati di tomografia elettrica consente l'elaborazione delle sezioni di resistività in grado di riprodurre accuratamente le variazioni del suddetto parametro fisico nel sottosuolo. La resistività rappresenta una proprietà fisica molto importante, poiché dipende da vari fattori quali, la natura dei terreni e delle rocce, la saturazione dell'acqua, la porosità della roccia. Risente, inoltre, della presenza di cavità, corpi di discarica, tracce di dispersione d'inquinanti, etc..

L'elaborazione tomografica consiste, nella suddivisione dello spazio bidimensionale della sezione in celle, secondo uno schema definito con riferimento alla distribuzione e alla dispersione dei dati. Per ognuna delle celle è calcolata la resistività apparente che soddisfi il complesso delle misure eseguite, su questo schema è applicato il metodo d'ottimizzazione dei minimi quadrati modificando il modello di partenza, in maniera iterativa, in modo che si riduca la differenza tra i valori di resistività apparente calcolati e quelli effettivamente misurati.

Il grafico che ne deriva è una sezione bidimensionale in cui le zone ad uguale resistività sono raffigurate da aree caratterizzate dal medesimo colore. Le tinte blu

rappresentano basse resistività, poi si passa a colori che vanno dal verde al giallo e infine al rosso che rappresentano litologie a resistività via via sempre più alte. L'inversione dei dati di resistività apparente è stata realizzata, utilizzando un algoritmo basato su un procedimento di deconvoluzione dei minimi quadrati (software Res2Dinv vers. 3.52), che consente di ricavare sezioni bidimensionali tramite moduli di calcolo alle differenze finite o agli elementi finiti. L'errore quadratico medio (RMS error) fornisce, in percentuale, lo scarto tra i valori misurati e quelli calcolati, per cui se l'errore è minimo, si ha una buona corrispondenza tra i dati di campagna e quelli del modello.

### 3.0 ANALISI DEI RISULTATI

Le sezioni di tomografia elettrica elaborate mediante il software precedentemente descritto e la cui localizzazione è riportata nella Tavola 1, sono rappresentate nelle Tavole 2-7. In tali sezioni, la scala colorimetrica permette di cogliere facilmente le variazioni di resistività, in quanto i valori minimi sono associati ai toni del blu, mentre le zone ad elevata resistività sono associate al rosso.

Considerando, gli obiettivi dell'indagine, all'interno della sezione tomografica, sono state evidenziate, mediante retini, le zone di anomalia che, per loro forma e valori di resistività, si ritiene possano essere associate a strutture tettoniche e/o a zone di frattura entro le rocce. Le stesse anomalie, distinte per tipologia di configurazione elettrodica utilizzata (WS o DD), sono state localizzate sulle linee investigate, al fine di facilitare il confronto e identificare la possibile correlazione tra le anomalie evidenziate lungo le diverse sezioni tomografiche.

#### 3.1 Linea 1

La Tavola 2 riporta il confronto fra le sezioni tomografiche, ottenute in corrispondenza della Linea 1, utilizzando le configurazioni elettrodiche sopra citate, ossia Dipolo-Dipolo (DD) e Wenner-Schlumberger (WS). Tale linea è lunga, complessivamente, 630 m ed è stata realizzata con un'interdistanza elettrodica di 10 m. Sulla sezione tomografica WS (parte inferiore Tavola 2), sono riconoscibili almeno quattro zone di anomalia che possono essere associate ad altrettanti

lineamenti strutturali e/o zone di frattura. Tre di queste vengono confermate anche dalla sezione DD (parte superiore della Tavola 2).

In generale, si distingue una fascia superficiale caratterizzata da una resistività medio bassa ( $< 150 \Omega\text{m}$ ) correlabile con i depositi di copertura, ed una parte sottostante, ad alta resistività ( $> 150 \Omega\text{m}$ ) che indicherebbe la presenza di rocce compatte, apparentemente suddivise in blocchi, che degradano in direzione sud-est.

Nella Tavola 3 è riportato il confronto fra le acquisizioni eseguite utilizzando la configurazione Wenner-Schlumberger (WS) e Dipolo-Dipolo (DD) ed una interdistanza elettrodica di 7m. Le sezioni tomografiche, derivate da un allineamento lungo 441m, definiscono, con maggiore dettaglio, la parte superficiale del terreno. Come si evince dalla Tavola 3, inoltre, l'unica anomalia riconoscibile nella sezione tomografica ottenuta con la configurazione Wenner-Schlumberger (parte inferiore Tavola 3) è correlabile quella ottenuta mediante Dipolo-Dipolo (DD) e parzialmente sovrapponibile a quelle individuate nelle sezioni realizzate con passo 10m.

### 3.2 Linea 2

Nella Tavola 4 si ripropone il confronto fra le sezioni eseguite con la configurazione Wenner-Schlumberger (WS) e Dipolo-Dipolo (DD). L'interdistanza elettrodica è di 10 m su un unico allineamento di 470 m. Nella sezione WS (parte inferiore Tavola 4) sono riconoscibili almeno tre zone di anomalia di resistività medio bassa ( $< 150 \Omega\text{m}$ ), associabili a zone di frattura. La prima anomalia si osserva fra le progressive 50m e 160m, la seconda, con andamento sub verticale, fra le progressive 200m e 250m e, infine, una terza, non ben definita, fra le progressive 360m e 380m. Nella sezione tomografica DD si riconoscono la seconda e la terza anomalia presenti nella sezione WS, per quanto l'anomalia presente tra le progressive 170m e 200m nella sezione tomografica DD, presenti un leggero spostamento verso nord-ovest rispetto a quella individuata nella sezione WS, probabilmente legato alla differente configurazione elettrodica utilizzata. Le anomalie presenti in entrambe le sezioni, mostrano bassi valori di resistività ed uno sviluppo in profondità.

### 3.3 Linea 3

La Tavola 5 riporta le sezioni tomografiche WS e DD relative alla Linea 3, lunga complessivamente 470 m. Tale linea è stata attuata con un'interdistanza elettrodica di 10 m, utilizzando, come nei casi precedenti, le configurazioni Wenner-Schlumberger (WD) e Dipolo-Dipolo (DD).

Sulla sezione WS (parte inferiore Tavola 5), sono riconoscibili almeno quattro zone di anomalia associabili ad altrettante zone di frattura e alterazione e/o discontinuità tettoniche. Due di queste, più precisamente quelle tra le progressive 200m e 230m e tra 360m e 410m, mostrano una buona correlazione con le anomalie riscontrate nella sezione tomografica DD (parte superiore Tavola 5).

Anche in questa linea, entrambe le configurazioni mostrano come le anomalie tendano ad avere uno sviluppo verticale, estendendosi in profondità. Peraltro, le anomalie con tali caratteristiche sono quelle di maggior interesse ai fini dello studio.

### 3.4 Linea 4

La Tavola 6 riporta il confronto fra le tomografie elettriche relative alla Linea 4, lunga complessivamente 470 m. La tomografia lungo tale linea è stata realizzata utilizzando un'interdistanza elettrodica di 10 m con le configurazioni Wenner-Schlumberger (WS) e Dipolo-Dipolo (DD).

Sulla sezione WS (parte inferiore della Tavola 6) sono riconoscibili almeno quattro zone di anomalia che sembrano presentare uno sviluppo in profondità e/o corrispondono a zone di discontinuità tra rocce con differente resistività. Pertanto, si ritiene che tali zone di anomalia possano essere associate a zone di frattura e/o discontinuità tettoniche. Due delle zone di anomalia evidenziate nella tomografia WS, vengono confermate anche dalla sezione tomografica DD. Anche in questo caso è possibile distinguere, in particolar modo nella sezione L4-DD, la tipica conformazione elettrostratigrafica del sottosuolo dell'area investigata, ossia, una fascia superficiale, caratterizzata da una resistività medio bassa ( $< 150 \Omega\text{m}$ ), corrispondente con i depositi di copertura, una parte sottostante ad alta resistività ( $> 150 \Omega\text{m}$ ) correlabile con rocce lapidee probabilmente suddivise in blocchi dalle linee di frattura che interessano l'area. Dall'analisi delle tomografie e dalla

configurazione delle zone ad alta resistività, si potrebbe dedurre che tali blocchi degradino in direzione sud-est.

Nella Tavola 7, è riportato il confronto tra le sezioni tomografiche ottenute acquisendo i dati con interdistanza elettrodica di 7 m e utilizzando sia la configurazione Wenner-Schlumberger (WS) che Dipolo-Dipolo (DD). Le sezioni derivate da un allineamento lungo 511m, definiscono con maggiore dettaglio la parte superficiale del terreno, prevalentemente composto da depositi di copertura. Tuttavia, la maggior profondità d'indagine raggiunta con le suddette geometrie di acquisizione, ha consentito di individuare anche un substrato lapideo, associato a zone ad alta resistività. Infatti, in assenza di fratturazione o processi di alterazione delle rocce, la resistività risulta generalmente elevata. Considerando gli obiettivi dell'indagine, anche nell'analisi di queste sezioni tomografiche, si sono selezionate le zone di anomalia che presentano uno sviluppo in profondità e la cui configurazione consente di associarle a probabili zone di frattura. Dall'analisi della proiezione delle zone di anomalia individuate con le diverse configurazioni elettrodiche (WS e DD) e con differente distanza interelettrodica (7m e 10m) sulla traccia del profilo, si osserva una buona correlazione tra i risultati.

#### 4.0 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Come già ricordato in uno studio pregresso (Fais et al., 2016), nell'interpretare i dati elettrici e/o elettromagnetici, è necessario tener conto che i fattori che condizionano la resistività delle rocce (porosità efficace, granulometria, forma dei meati, grado di cementazione, contenuto in acqua di imbibizione e relativa salinità) agiscono contemporaneamente. Per tale motivo, l'interpretazione dei dati geofisici diventa difficoltosa se non si dispone di numerosi dati di carattere stratigrafico – strutturale e se non si è in grado di formulare delle ipotesi di lavoro sulla circolazione idrica esistente nel sottosuolo. È noto, infatti, che uno stesso tipo di roccia possa presentare resistività differenti a seconda del suo grado di alterazione e/o fratturazione e che, per contro, differenti tipi di roccia possano avere valori di resistività simili. Per questo motivo, risulta sempre di notevole utilità, poter effettuare una calibrazione dei dati geofisici mediante un sondaggio la

cui posizione deve essere accuratamente scelta, sulla base dei risultati delle prospezioni geofisiche.

La prospezione elettrica, effettuata in prossimità dell'abitato di Matzaccara, mediante la realizzazione di tomografie elettriche lungo quattro allineamenti in un'area d'interesse prioritario, in parte già esplorata nel corso di precedenti studi, mediante metodi elettromagnetici (Fais et al., 2016; 2017) e sismici ad alta risoluzione (Giustiniani et al., 2016), ha consentito di ottenere utili elementi conoscitivi sulla distribuzione della resistività nel sottosuolo e di integrare le informazioni ottenute dai dati elettromagnetici, descritti nello studio precedentemente citato (Fais et al., 2016). Le sezioni tomografiche ottenute lungo i suddetti quattro allineamenti hanno messo in evidenza una complessa distribuzione della resistività: repentine variazioni laterali di detto parametro fisico, negli strati più superficiali caratterizzati da una resistività, prevalentemente, da bassa a media ( $<150 \Omega\text{m}$ ) e zone profonde ad alta resistività ( $>150 \Omega\text{m}$ ). L'analisi comparata delle tomografie elettriche, ottenute lungo gli stessi profili, con differenti configurazioni elettrodiche (Wenner-Schlumberger e Dipolo-Dipolo) ha messo in evidenza diverse analogie. L'interesse di confrontare sezioni tomografiche eseguite lungo lo stesso profilo con differenti configurazioni elettrodiche, deriva dal fatto che ogni configurazione ha un uso ottimale in particolari contesti geologici e in base alla sua sensibilità. Pertanto, come già espresso precedentemente, anche le condizioni geologiche locali lungo un profilo, possono essere messe in evidenza, più o meno efficacemente, a seconda della configurazione elettrodica utilizzata. Le corrispondenze osservate nelle diverse tomografie elettriche (WS e DD) hanno confermato la validità di entrambi i metodi nell'identificare la posizione dei corpi conduttivi nel sottosuolo. L'analisi di dettaglio delle singole sezioni tomografiche ha consentito di determinare diverse zone di anomalia, caratterizzate da bassa resistività e prevalente sviluppo in profondità che indicherebbero la presenza di corpi conduttivi in giacitura sub-verticale o inclinati.

Peraltro, un'analisi comparata tra i risultati delle tomografie elettriche, oggetto del presente studio, e quelli elettromagnetici del citato studio pregresso, presentano interessanti corrispondenze, come osservabile nella carta di sintesi rappresentata nella Tavola 8. La distribuzione della resistività elettrica nel sottosuolo, ottenuta con i predetti metodi, per quanto di natura differente, presenta analoghe caratteristiche: strati superficiali a bassa-media resistività caratterizzati da

numerose discontinuità laterali di proprietà elettriche e strati profondi, caratterizzati da elevata resistività, indice di assenza di intensi processi di alterazione e/o fratturazione delle rocce. Considerando il contesto geologico dell'area, gli elettrostrati superficiali più conduttivi, potrebbero essere associati ai depositi quaternari mentre gli elettrostrati più profondi, a resistività più elevata, presentano caratteristiche che possono essere associate a rocce più compatte e sane che potrebbero identificarsi con le ignimbriti di composizione riolitica. In tale generale configurazione della distribuzione di resistività con la profondità, si sono riconosciute zone di anomalia (bassa resistività), ben localizzate, in giacitura verticale o sub-verticale che si sviluppano in profondità. Tali zone di anomalia si ritiene possano essere correlate con zone di alterazione e/o fratturazione della roccia, contatti tra formazioni geologiche con differenti caratteristiche elettriche e/o con zone di faglia che possono favorire la circolazione dell'acqua nel sottosuolo e i processi di alterazione delle rocce.

La localizzazione delle predette zone di anomalia, riportata nella carta di sintesi illustrata nella Tavola 8, consente di identificare degli allineamenti ideali, delimitati da linee a tratteggio verde, associabili alla presenza di strutture tettoniche. In particolare, gli allineamenti di anomalie indicati con A e B nella Tavola 8, trovano riscontro sia con i metodi elettrici sia elettromagnetici (Fais et al., 2016; 2017). Tali ipotetiche lineazioni tettoniche hanno un andamento approssimativamente parallelo tra loro ed una direzione nord-est - sud-ovest, in accordo con le principali direttrici tettoniche dell'area. Come già indicato anche sulla base dei risultati delle indagini elettromagnetiche pregresse, si ritiene che tali lineamenti tettonici possano appartenere ad una "zona di faglia" vasta e articolata.

Cagliari, 30.11.2017

## BIBLIOGRAFIA

Fais, S., Ligas, P., Cuccuru, F., Pala, A., 2016. *Caratterizzazione di una zona di faglia nell'area del Bacino del Sulcis: profili elettromagnetici*. Rapporto tecnico-scientifico, CINIGeo-Sotacarbo, pp 26.

Fais, S., Ligas, P., Cuccuru, F., Maggio, E., Plaisant, A., Pettinau, A. and Pala, A., 2017. *VLF-EM prospecting for the characterization of a fault zone and the evaluation of its permeability conditions*. Geophysical Research Abstracts, vol. 19, EGU2017-1800, 2017, EGU General Assembly 2017. ISSN: 1607-7962

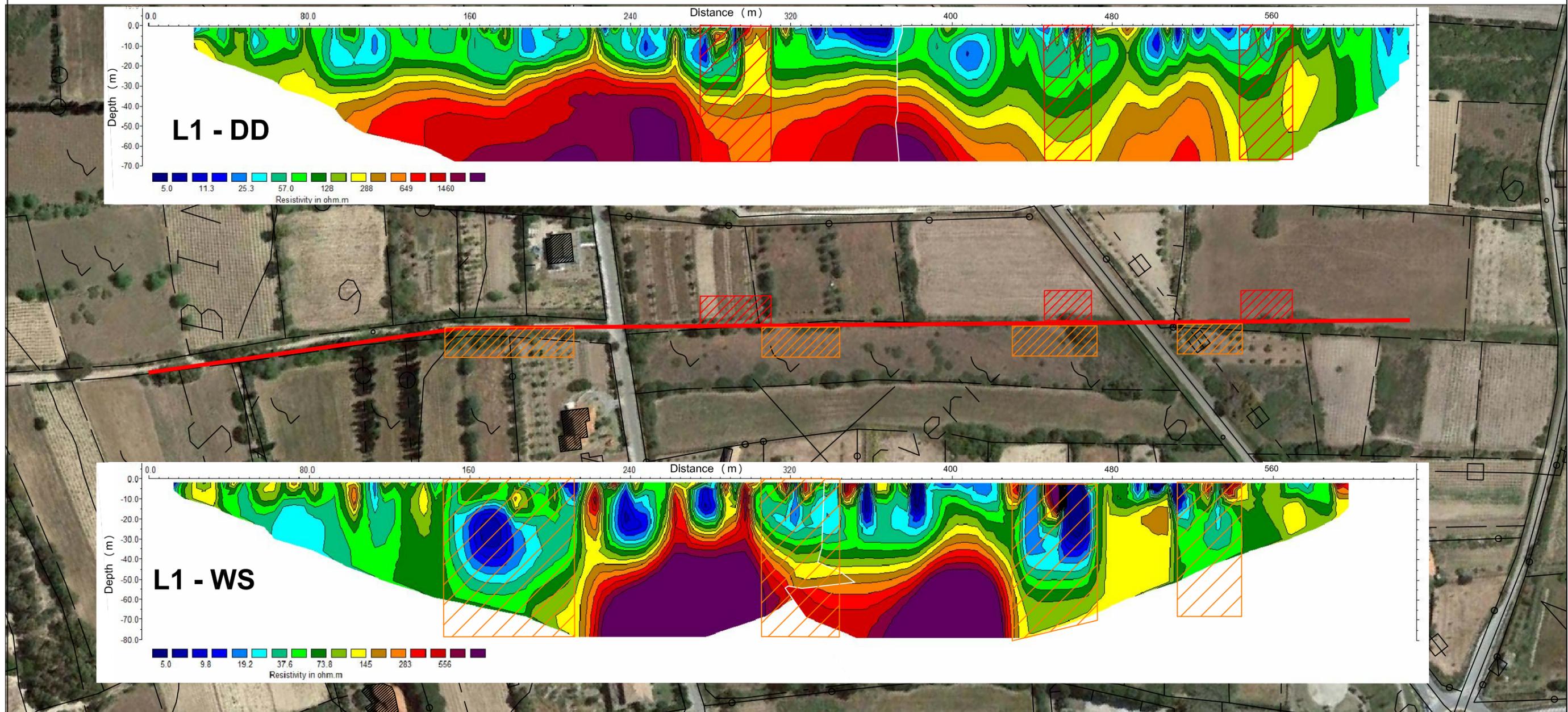
Loke, M.H. and Barker, R.D., 1996. *Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method*. Geophysical Prospecting, 44, 131-152.

Loke M H, 2009. *Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies*. A Practical Guide to 2D and 3D Surveys: RES2DINV Manual (IRIS Instruments). <http://www.goelectrical.com/coursenotes.zip>

Pazdirek, O. and Blaha, V., 1996. *Examples of resistivity imaging using ME-100 resistivity field acquisition system*. EAGE 58th Conference and Technical Exhibition. Extended Abstracts, Amsterdam.



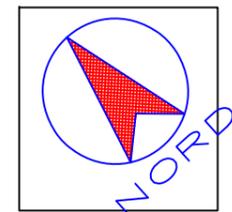
# Tavola 2 - Linea 1 passo 10m - Ubicazione anomalie elettriche



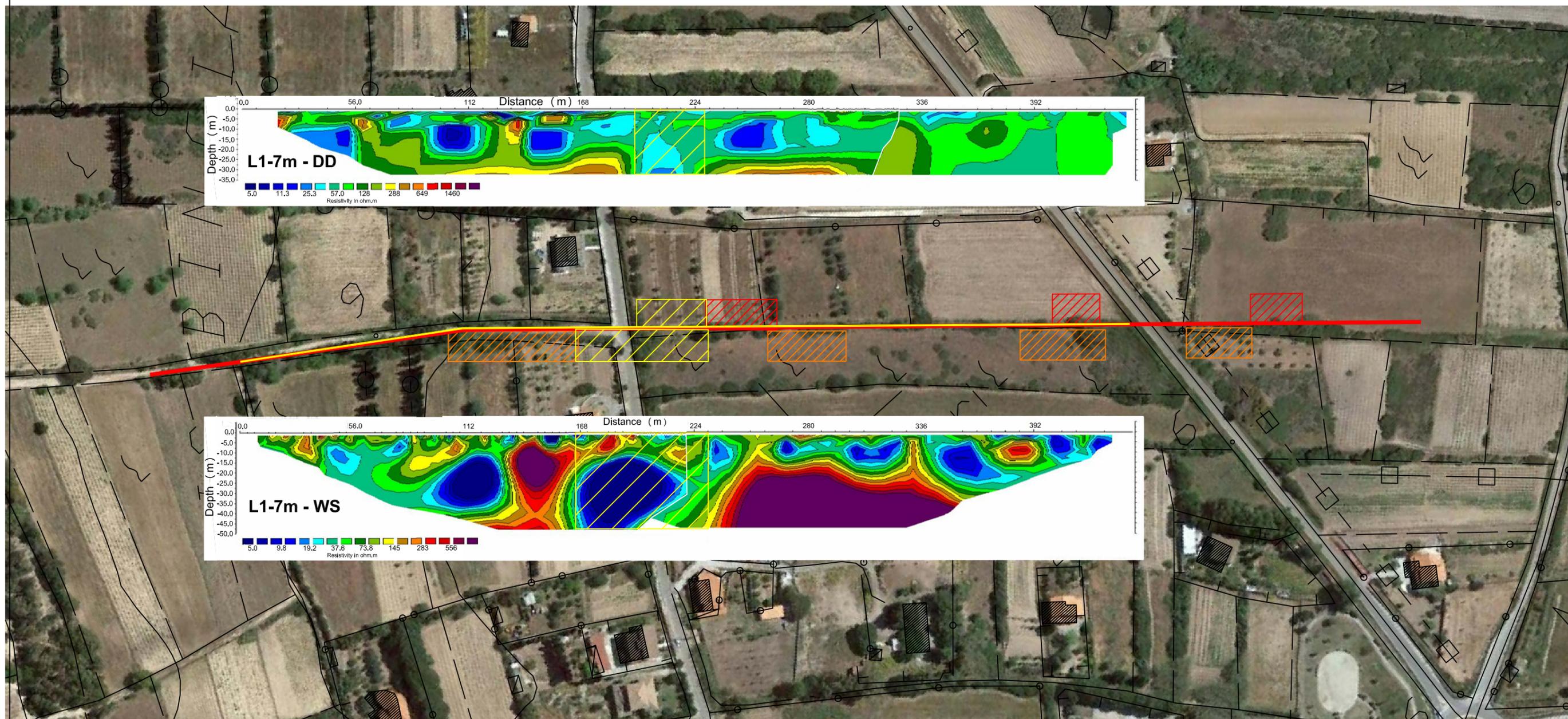
## Legenda

-  Anomalia elettrica da acquisizione Dipolo-Dipolo
-  Anomalia elettrica da acquisizione Wenner-Schlumberger

Base topografica C.T.R. Foto aerea fonte Google Earth



# Tavola 3 - Linea 1 passo 7m - Ubicazione anomalie elettriche

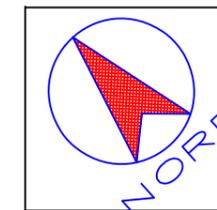


## Legenda

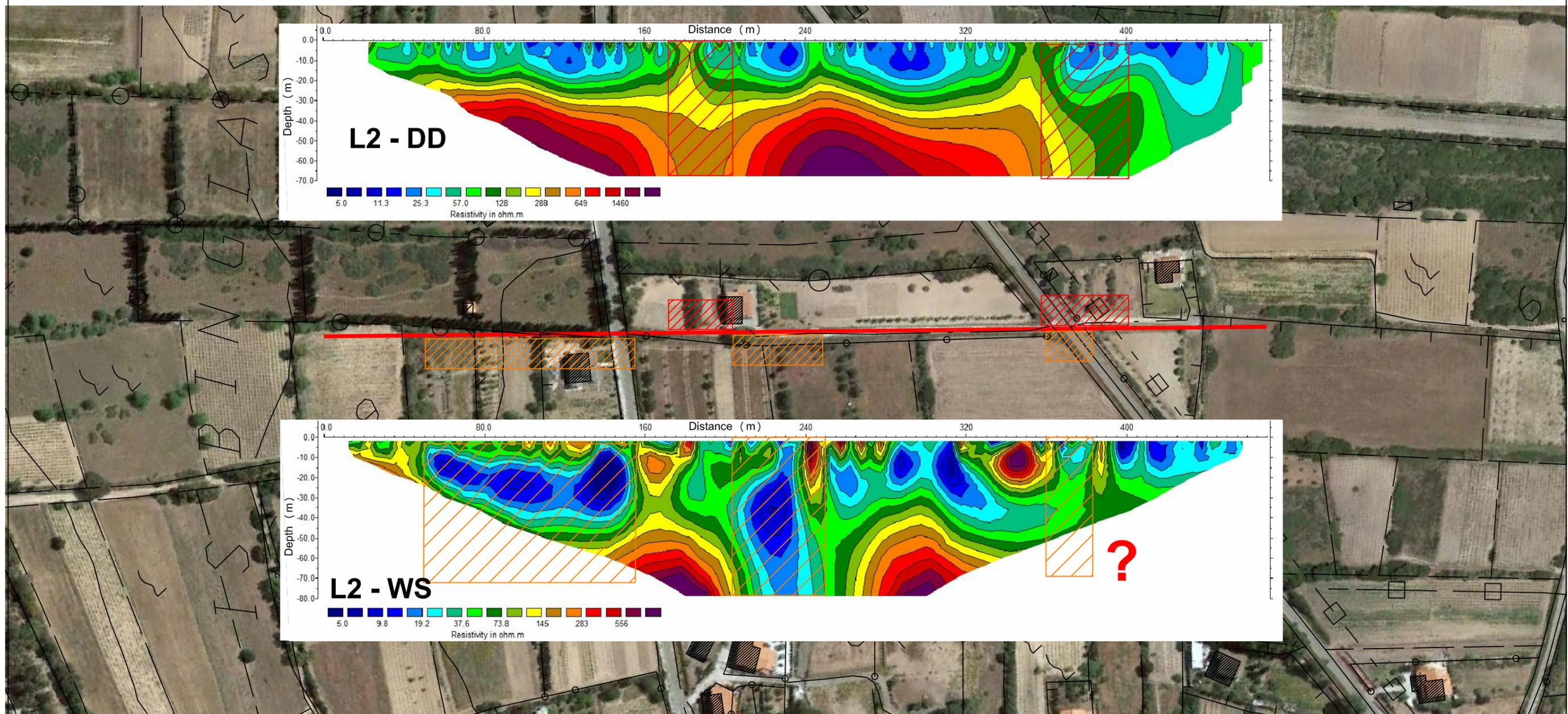
-  Anomalia elettrica da acquisizione a passo 7m DD e WS
-  Anomalia elettrica da acquisizione Dipolo-Dipolo passo 10m
-  Anomalia elettrica da acquisizione Wenner-Schlumberger passo 10m

Base topografica C.T.R. Foto aerea fonte Google Earth

0m 25m 50m 100m



# Tavola 4 - Linea 2 passo 10m - Ubicazione anomalie elettriche

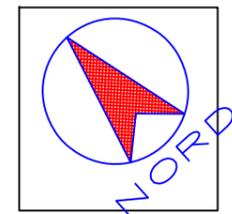


## Legenda

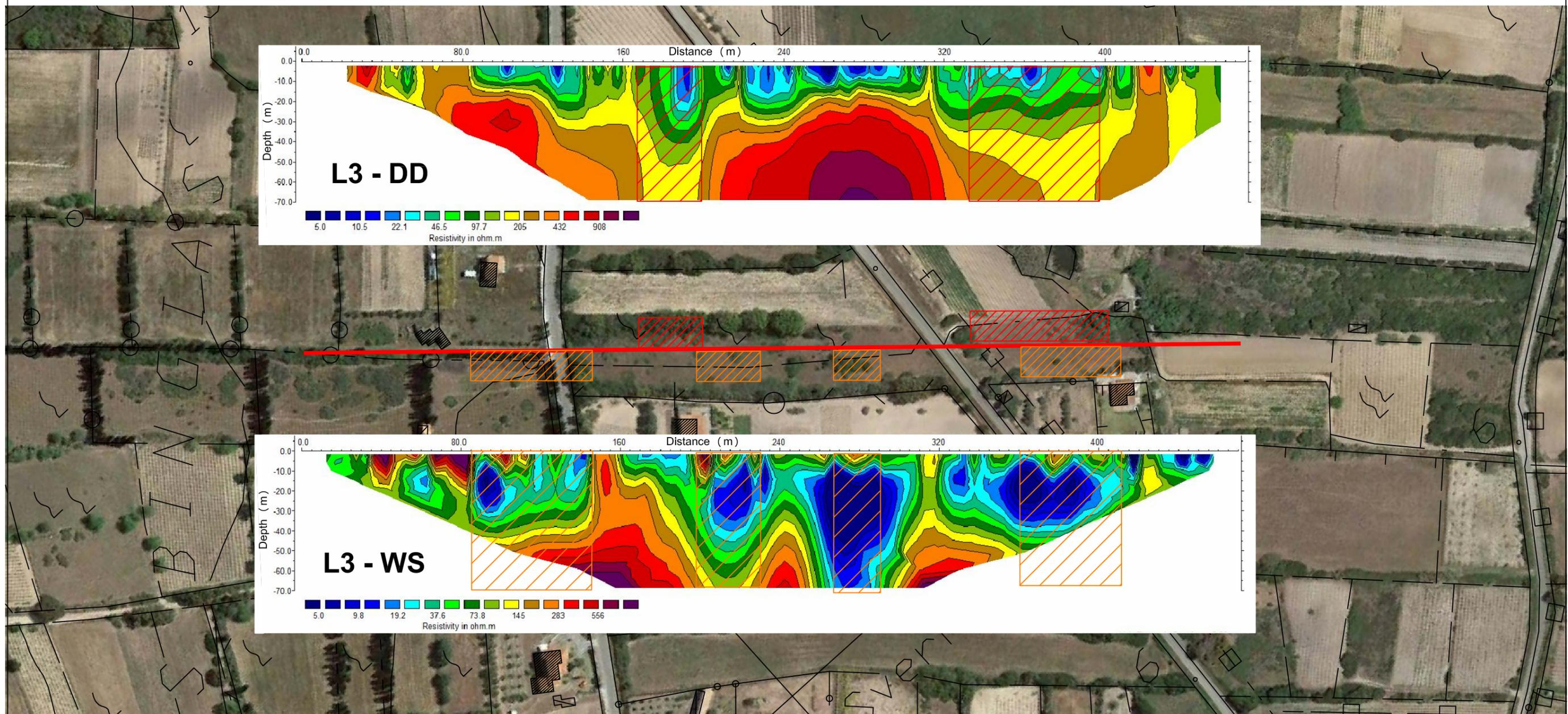
-  Anomalia elettrica da acquisizione Dipolo-Dipolo
-  Anomalia elettrica da acquisizione Wenner-Schlumberger

Base topografica C.T.R. Foto aerea fonte Google Earth

0m 25m 50m 100m



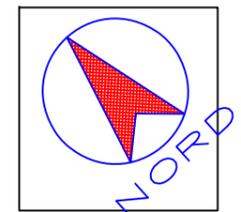
# Tavola 5 - Linea 3 passo 10m - Ubicazione anomalie elettriche



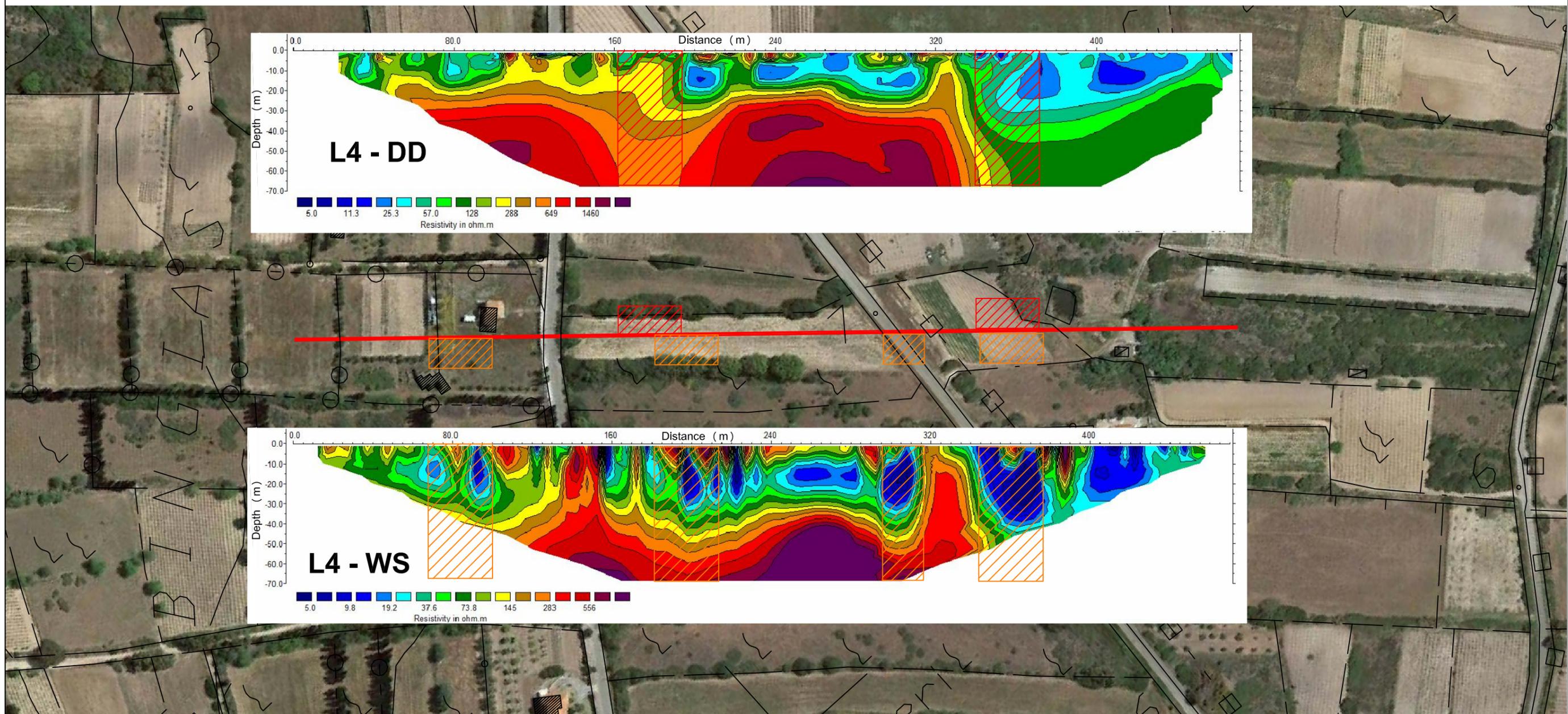
## Legenda

-  Anomalia elettrica da acquisizione Dipolo-Dipolo
-  Anomalia elettrica da acquisizione Wenner-Schlumberger

Base topografica C.T.R. Foto aerea fonte Google Earth



# Tavola 6 - Linea 4 passo 10m - Ubicazione anomalie elettriche

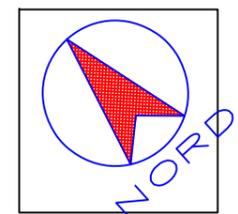


## Legenda

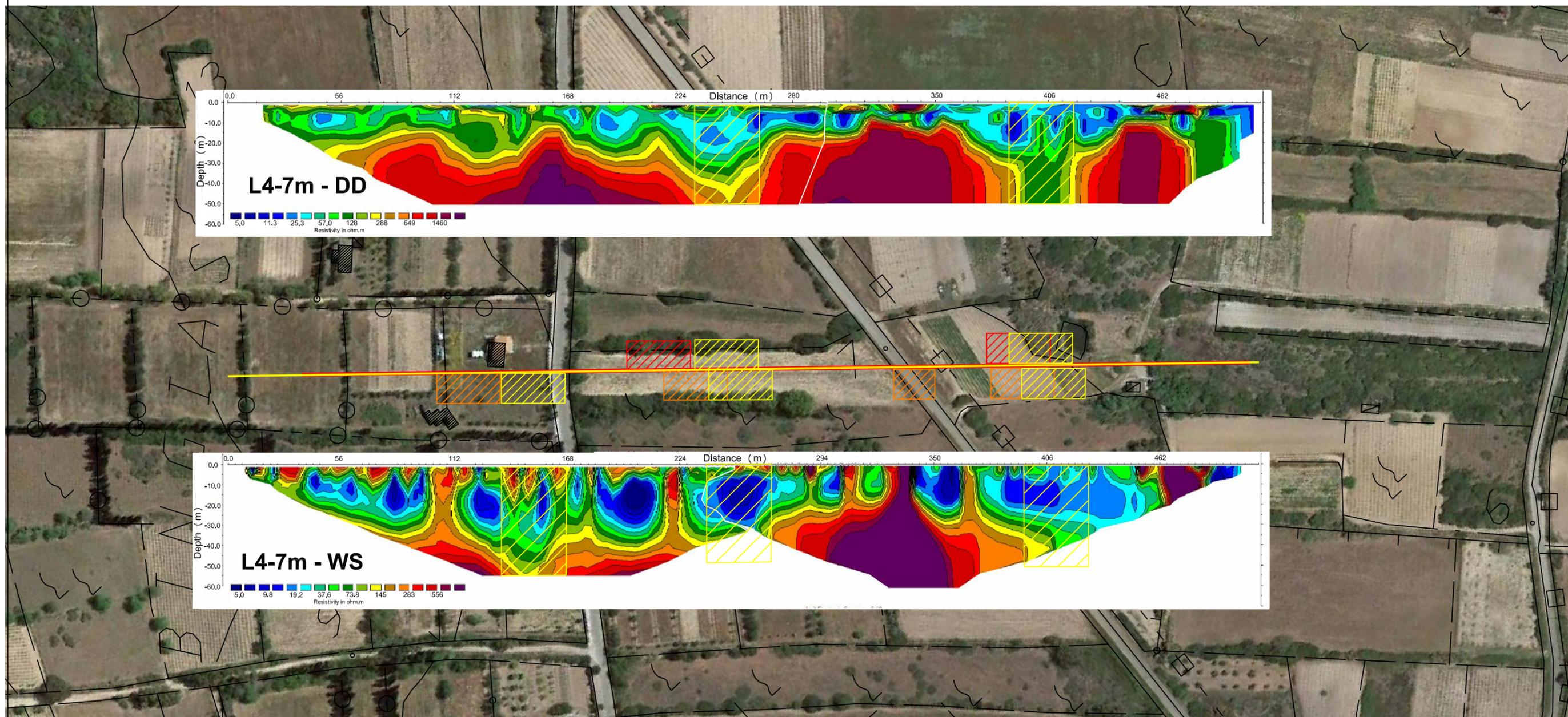
-  Anomalia elettrica da acquisizione Dipolo-Dipolo
-  Anomalia elettrica da acquisizione Wenner-Schlumberger

Base topografica C.T.R. Foto aerea fonte Google Earth

0m 25m 50m 100m



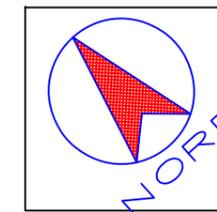
# Tavola 7 - Linea 4 passo 7m - Ubicazione anomalie elettriche



## Legenda

-  Anomalia elettrica da acquisizione a passo 7m WS e DD
-  Anomalia elettrica da acquisizione Dipolo-Dipolo- passo 10m
-  Anomalia elettrica da acquisizione Wenner-Schlumberger passo 10m

Base topografica C.T.R. Foto aerea fonte Google Earth



# Tavola 8 - Correlazione fra anomalie

