



INTERVENTI URGENTI DI SISTEMAZIONE DEL CANALE ADDUTTORE DESTRA TIRSO NEL TRATTO TOMBATO ALL'INTERNO DELL'ABITATO DI ZERFALIU - II LOTTO

PROGETTO ESECUTIVO

A2 - RELAZIONE GEOLOGICA, SISMICA E GEOTECNICA

Data: 08/2022

Rev. 0

Il Progettista:

Domus s.r.l.



RUP

Ing. Giorgio Bravin

Disegno di esclusiva proprietà del progettista da non utilizzare per scopi diversi da quelli per cui è stato fornito,
non può essere copiato, riprodotto né comunicato a terzi senza autorizzazione scritta.



Sommario

1	PREMESSA	4
2	STRUTTURA DELLA RELAZIONE	4
3	RIFERIMENTI NORMATIVI DI LEGGE.....	5
4	UBICAZIONE DELL'AREA.....	5
5	ANALISI DI VINCOLI ESISTENTI PER IL PIANO STRALCIO DI ASSETTO	
	IDROGEOLOGICO (P.A.I.) DELLA SARDEGNA	7
6	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL TERRITORIO	9
7	GEOLOGIA DELL'AREA D'INTERVENTO.....	12
7.1	Raccolta ed analisi dei dati del rilevamento geologico di superficie	12
7.1.1	PVM2a_Alluvioni antiche (Pleistocene).....	12
7.1.2	bnb_Depositi alluvionali terrazzati (Olocene).....	12
7.1.3	bb_Alluvioni recenti (Olocene)	12
7.2	Raccolta ed analisi dei dati ricavati dalle indagini geognostiche	14
7.2.1	Metodologia di indagine	14
7.2.2	Caratteristiche di resistività e caricabilità.....	18
7.2.3	Considerazioni conclusive delle indagini.....	23
8	CARATTERI GEOMORFOLOGICI	24
9	CARATTERI IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI GENERALI DEL SETTORE	27
9.1	A_Inquadramento idrografico generale	27
9.2	B_I corpi acquiferi e le proprietà idrauliche delle unità idrogeologiche della piana di Oristano.....	27
9.3	C_Il bilancio idrogeologico.....	31
9.4	D_Caratteri idrografici ed idrogeologici di dettaglio per l'area in esame.....	31
10	ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	35
10.1	Definizione della sismicità storica del territorio	35
10.2	Caratterizzazione sismogenetica	39
10.3	Definizione della Pericolosità Sismica di Base (PSB).....	40
10.3.1	Analisi della Pericolosità Sismica di Base (PSB)	40
10.4	Determinazione della Risposta Sismica Locale (RSL).....	45
10.4.1	Premessa	47
10.4.2	Azione sismica.....	47
10.4.3	Pericolosità sismica di base	48
11	STABILITÀ GENERALE DELL'AREA IN ESAME	51
11.1	Definizione del modello geologico dell'area.....	51
11.2	Premessa all'analisi geotecnica dei terreni di fondazione.....	51
11.3	Determinazione del volume significativo del terreno di fondazione e della distribuzione delle tensioni nel sottosuolo.....	51



11.4	Il progetto della fondazione	52
11.5	Modello geologico e geotecnico del terreno di fondazione	52
11.6	Parametrizzazione geotecnica del terreno di fondazione	52
12	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	54
12.1	A_Definizione del modello geologico-stratigrafico	54
12.2	B_Sintesi del modello geotecnico del terreno di fondazione.....	55



1 PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Andrea De Santis, geologo, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Sardegna alla Sezione A con il n. 235, in qualità di consulente geologo e dipendente della Domus S.r.l. di Sassari, è stato incaricato per la redazione dello studio geologico, sismico e geotecnico dell'area interessata dall'intervento in progetto succitato.

Le considerazioni riportate nella presente relazione sono basate sui risultati della campagna di indagini geognostiche e prove in situ finalizzate alla determinazione dello schema stratigrafico all'interno della profondità di estensione del "volume significativo" del terreno di fondazione. Inoltre è stata effettuata un'indagine geoelettrica finalizzata alla verifica del sottosuolo in riferimento a possibili filtrazioni idriche nel sottosuolo provenienti dal canale irriguo.

2 STRUTTURA DELLA RELAZIONE

Il presente elaborato è stato suddiviso in due sezioni:

- parte prima: studio geologico e sismico dell'area d'intervento;
- parte seconda: studio geotecnico dei terreni di fondazione.

La prima sezione, relativa allo **studio geologico e sismico**, ha consentito di definire:

- l'assetto geologico d'inquadramento del territorio;
- la situazione litostratigrafica locale;
- la definizione dell'origine e natura dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità;
- i lineamenti geomorfologici della zona, gli eventuali processi morfologici nonché i dissesti in atto e potenziali che possono interferire con l'opera da realizzare e la loro tendenza evolutiva;
- i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità;
- lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- la determinazione della pericolosità sismica di base dell'area;
- la verifica della Risposta Sismica Locale (RSL) nell'area d'intervento.

La seconda sezione, relativa allo **studio geotecnico sulle indagini** per i terreni di fondazione, ha permesso di illustrare:

- la localizzazione dell'area interessata dall'intervento;
- i criteri di programmazione ed i risultati delle indagini in sito e di laboratorio e le tecniche adottate con motivato giudizio sulla affidabilità dei risultati ottenuti;
- la scelta dei parametri geotecnici di progetto, riferiti alle caratteristiche dell'opera;



- la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo in relazione alle finalità da raggiungere con il progetto, effettuata sulla base dei dati raccolti con le indagini eseguite;
- la verifica dell'interazione fra il terreno di fondazione ed il complesso fondazione-struttura in elevazione per la verifica del dimensionamento del manufatto di fondazione.

3 RIFERIMENTI NORMATIVI DI LEGGE

Per la redazione dello studio geologico, sismico e geotecnico si è fatto riferimento alla seguente normativa:

- Ministero delle Infrastrutture e Trasporti - Decreto 17.01.2018 "Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008" e relativa Circolare esplicativa n° 7 del 21.01.2019;
- Ministero delle Infrastrutture e Trasporti - Decreto 14.01.2008 "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" e relativa Circolare esplicativa n. 617 del 02.02.2009;
- D. Lgs. N.50 del 18.04.2016 e D.P.R. 380/2001 in materia di lavori pubblici;
- DPCM 29/09/98 - Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n.180;
- Legge 267 del 03/08/1998 "Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia";
- C.M. LL.PP. n°30483 del 24/09/88 recante "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione";
- D.M. LL.PP. n°47 del 11/03/1988 recante "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
- LEGGE n°64 del 02.02.1974 recante «Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche».

Inoltre, le indagini geologiche e geognostiche sono state programmate con diretto riferimento alle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche" (1977) e "Raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio" (1994) della Associazione Geotecnica Italiana.

4 UBICAZIONE DELL'AREA

L'area d'intervento è ubicata nel settore meridionale dell'abitato di Zerfaliu ed è individuabile nei terreni circostanti il canale irriguo oggetto dell'intervento in progetto.

Topograficamente l'area è compresa nel foglio 529 "Solarussa" sez. IV, edito dall'I.G.M. d'Italia, in scala 1:25.000 (fig. 1).

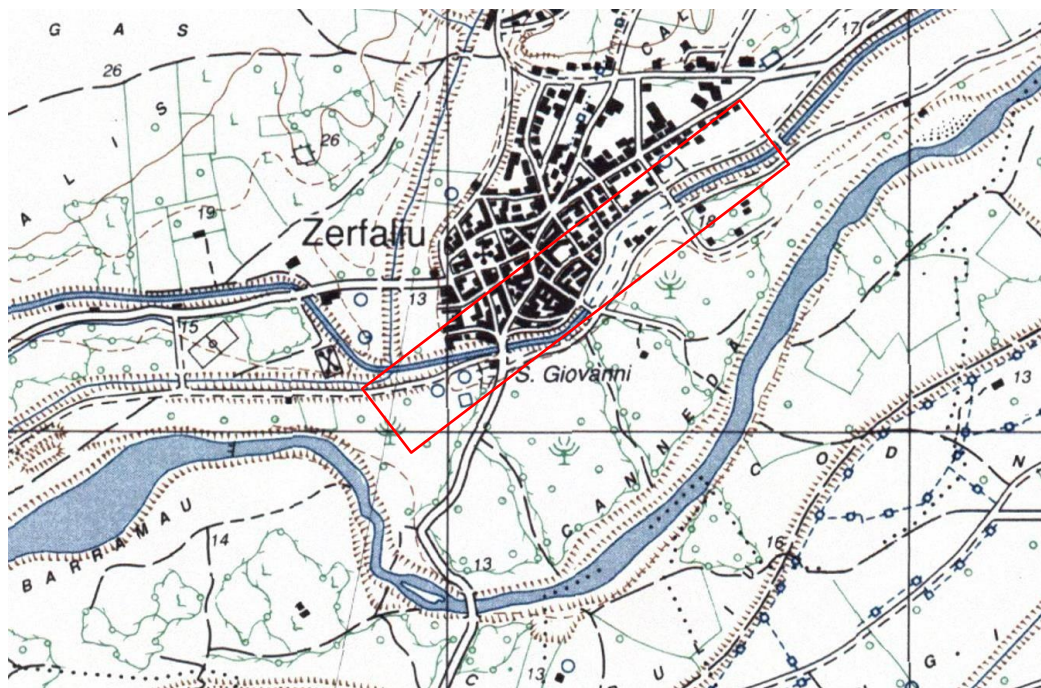


Figura 1 – Ubicazione generale dell'area d'intervento
(da stralcio del foglio 529 "Solarussa" sez. IV – Scala 1:25.000)

Lo stralcio della cartografia di dettaglio della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (fig. 2), evidenzia la posizione di dettaglio dell'area in esame.

Per l'individuazione del baricentro dell'area d'indagine (cerchio rosso) si riportano le seguenti coordinate:

- Coordinate EST 1.475.275,2432
- Coordinate NORD 4.423.156,3777

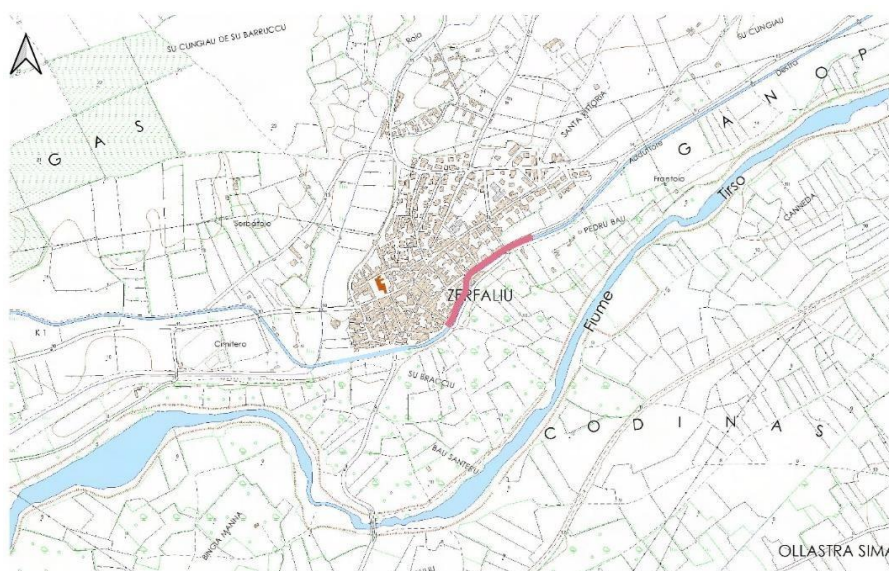


Figura 2 – Ubicazione planimetrica di dettaglio del tratto di canale oggetto dell'intervento in progetto
(da stralcio del foglio 529010 "Solarussa" - Scala 1:10.000)



Nella figura seguente (fig. 3) si rappresentano i tratti del canale oggetto dell'intervento in progetto.

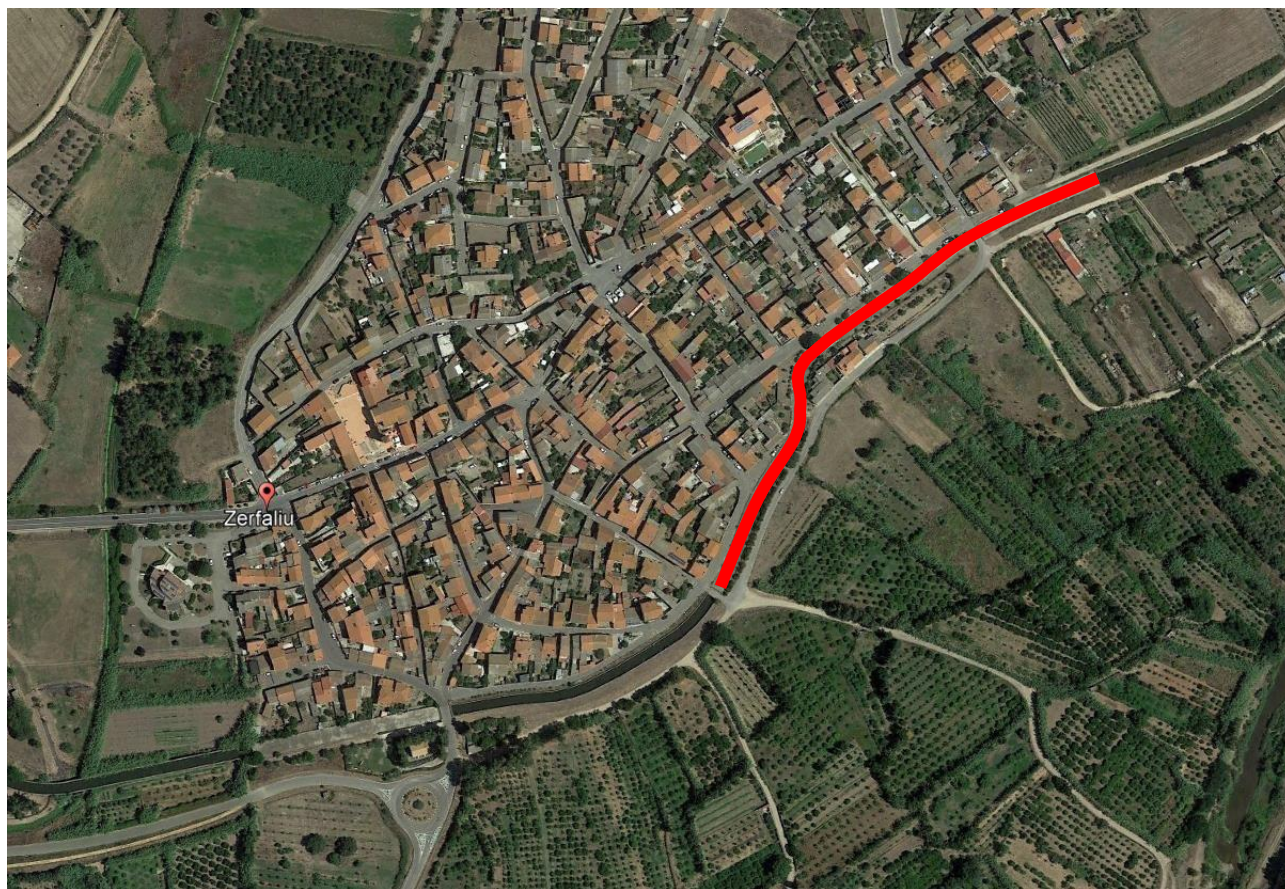


Figura 3 – Ubicazione di dettaglio dell'area d'intervento e dei punti di indagine
(fonte: estratto da Google Earth)

5 ANALISI DI VINCOLI ESISTENTI PER IL PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) DELLA SARDEGNA

Al fine di valutare eventuali limitazioni alla fattibilità del progetto ed all'uso del territorio è stato verificato il regime vincolistico proposto dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna (PAI), ai sensi della L. 183/1989, del D.L. 180/98 convertito in L. n. 267/98, modificato dalla L. 226/99, redatto nel Giugno 2003 e aggiornato con D.G.R. n. 54/33 del 30 Dicembre 2004 e con s.m.i..

L'esame della cartografia di riferimento (estratto dal Geoportale RAS) consente di escludere la presenza di zone con pericolosità geomorfologica nel settore d'intervento.

Sono presenti zone con pericolosità idraulica moderata (Hg1) mentre nel settore a Sud dell'arginatura idraulica sono presenti aree con pericolosità idraulica molto elevata (Hi4). Il tutto è illustrato nella figura seguente (fig. 4) in cui si riporta lo stralcio cartografico con la rappresentazione delle aree di pericolosità idraulica.

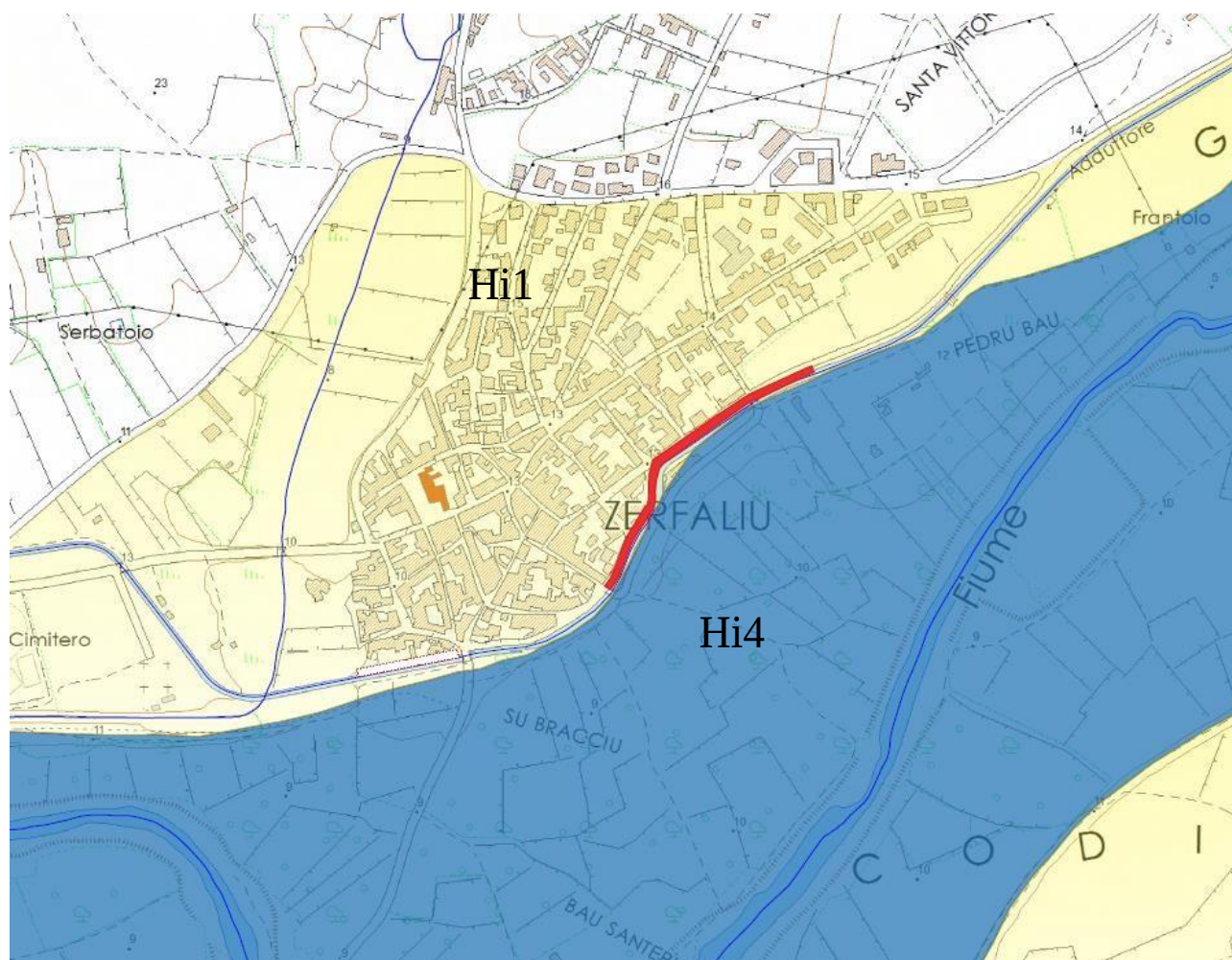
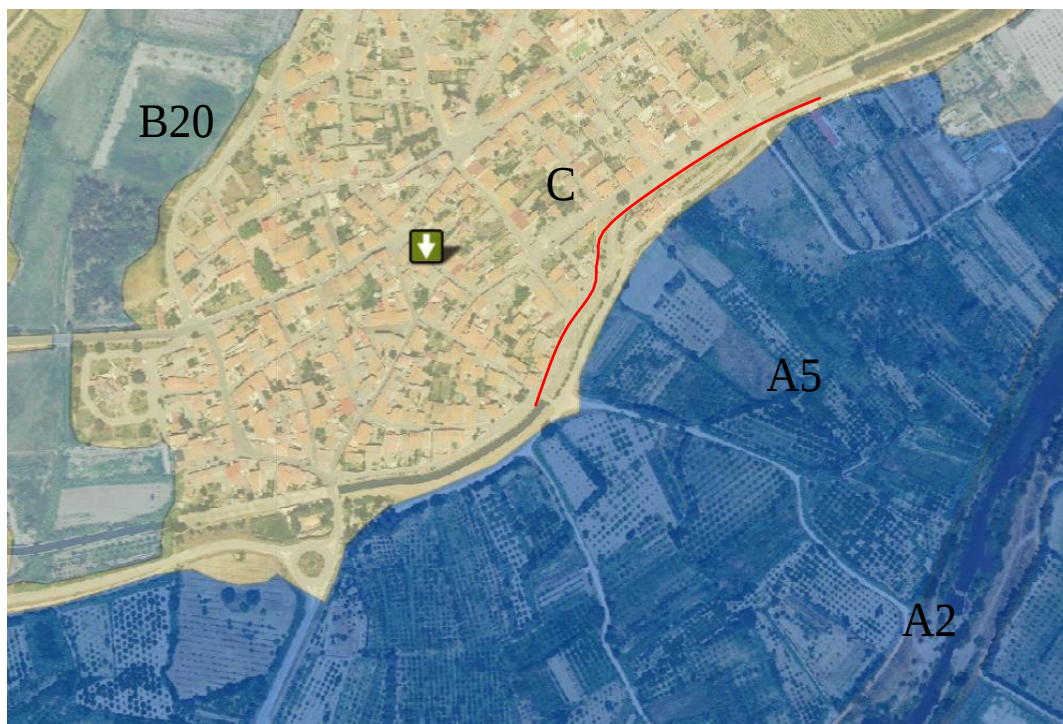


Figura 4 – Aree di pericolosità idraulica per il tratto di canale oggetto dell'intervento in progetto (linee rosse)
(da Geoportale RAS_2021)

Il successivo Piano Stralcio Fasce Fluviali (fig. 5) ha parzialmente rivisto tale perimetrazione riportando un'ulteriore suddivisione delle aree in funzione del tempo di ritorno e, introducendo la fascia geomorfologica. Lo stralcio cartografico del P.S.F.F. è riportato nella figura 5.



**Figura 5 – Aree di pericolosità previste dal PSFF (Piano Stralcio Fasce Fluviali)
(da Geoportale RAS_2021)**

6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DEL TERRITORIO

L'area soggetta ad indagine, è ubicata nel settore perimetrale meridionale dell'abitato di Zerfaliu all'interno del bacino del Fiume Tirso, nella piana Oristanese.

Dal punto di vista geologico quest'ultima è unanimemente riconosciuta come una depressione tettonica e rappresenta la parte settentrionale del cosiddetto Graben Campidanese che si sviluppa con direttrice NW-SE dall'altopiano di Paulilatino fin oltre il Golfo di Cagliari.

Nel settore di Oristano la fossa tettonica è separata dai rilievi che bordano la valle da faglie dirette in senso N-S, NW-SE e NE-SW, disposte a gradinata verso l'interno della depressione. Il risultato della dinamica strutturale è che le formazioni mioceniche e vulcaniche affioranti ai bordi esterni della fossa, si rinvergono all'interno della stessa solo a notevoli profondità.

Le formazioni mioceniche predette si originano allorquando, in relazione ad una fase tettonica distensiva, si realizza l'apertura del rift Sardo, con conseguente invasione marina su terreni precedentemente emersi.

In questa area depressa, compresa approssimativamente tra il complesso intrusivo- metamorfico delle Barbagie e del Grighini ad Est e l'isola di Mal di Ventre ad Ovest, si depositano dapprima sedimenti terrigeni (conglomerati, arenarie ed arenarie marnose) che evolvono progressivamente verso l'alto a materiali tipici di ambiente marino più maturo, rappresentati da alternanze di sequenze marnoso-argillose e carbonatiche.

Tali prodotti della sedimentazione marina, ascrivibile all'Oligocene superiore, affiorano in maniera continua nella Marmilla, mentre nei dintorni del settore in esame compaiono saltuariamente, occultate dalle colate vulcaniche del ciclo più recente.

Infatti nel Plio-Pleistocene prese avvio una nuova fase tettonica distensiva, connessa probabilmente agli stadi



tardivi dell'orogenesi alpina, che condusse all'apertura del Campidano e al contemporaneo sviluppo, lungo le



strutture disgiuntive che marginano la fossa, di un'intensa attività vulcanica. L'emissione delle lave ebbe dapprima un carattere acido-intermedio sia nel settore del Montiferru che nel Monte Arci con deposizione rispettivamente di vulcaniti trachitiche e rioliti-riodaciti; la sequenza vulcanica termina infine nel Pliocene con flussi lavici basaltici che sovrastano e obliterano in molti casi le colate più antiche.

La progressiva subsidenza dell'area campidanese portò al ringiovanimento del rilievo in tutti i settori prospicienti la struttura tettonica con il conseguente innesco di imponenti fenomeni erosivi a scapito soprattutto dei bacini sedimentari miocenici, composti notoriamente da rocce relativamente tenere in rapporto ai terreni del basamento cristallino o del dominio vulcanico.

Pertanto la depressione campidanese fu colmata sostanzialmente da terreni appartenenti alla serie miocenica i quali raggiungono spessori, calcolati nei pozzi Oristano 1 e 2, di circa 800 m. Questi depositi composti da sequenze marnoso-arenacee-conglomeratiche, denominati Formazione di "Samassi" sono ricoperti dai basalti pliocenici, disposti in colate spesse una decina di metri e che si rinvencono nel sottosuolo della piana Oristanese a profondità progressivamente crescenti dal bordo orientale della fossa, dove invece sono affioranti nei dintorni di Ollastra e di Siamanna.

Infine potenti coltri alluvionali, appartenenti prevalentemente al cono di deiezione del Paleotirso, inframezzate nei territori costieri dai depositi marini della panchina tirreniana o più diffusamente dalle sabbie eoliche Wurmiane si sovrappongono alle vulcaniti basaltiche.

I materiali alluvionali più antichi sono costituiti da una alternanza di depositi alluvionali ciottolosi, con intercalazioni sabbiose rossastre a elementi di quarzo, granito e scisti paleozoici oppure di lave, e modellati in terrazzi dal Tirso e dagli altri corsi d'acqua che sboccano nel Golfo di Oristano.

Il quaternario è rappresentato da alluvioni antiche e recenti e da depositi colluviali e di versante, questi ultimi rinvenibili soprattutto ai bordi della fossa in prossimità dei rilievi. I terreni più recenti sono costituiti dalle alluvioni di piena dei corsi d'acqua principali, e si dispongono conseguentemente lungo le depressioni scavate dagli stessi fiumi e da depositi palustri impostati esclusivamente nelle zone caratterizzate da drenaggio lento o impedito.

Nello stralcio cartografico seguente (fig. 6) si riporta lo sviluppo del settore della piana del Campidano entro cui si sviluppano i depositi alluvionali del Fiume Tirso.

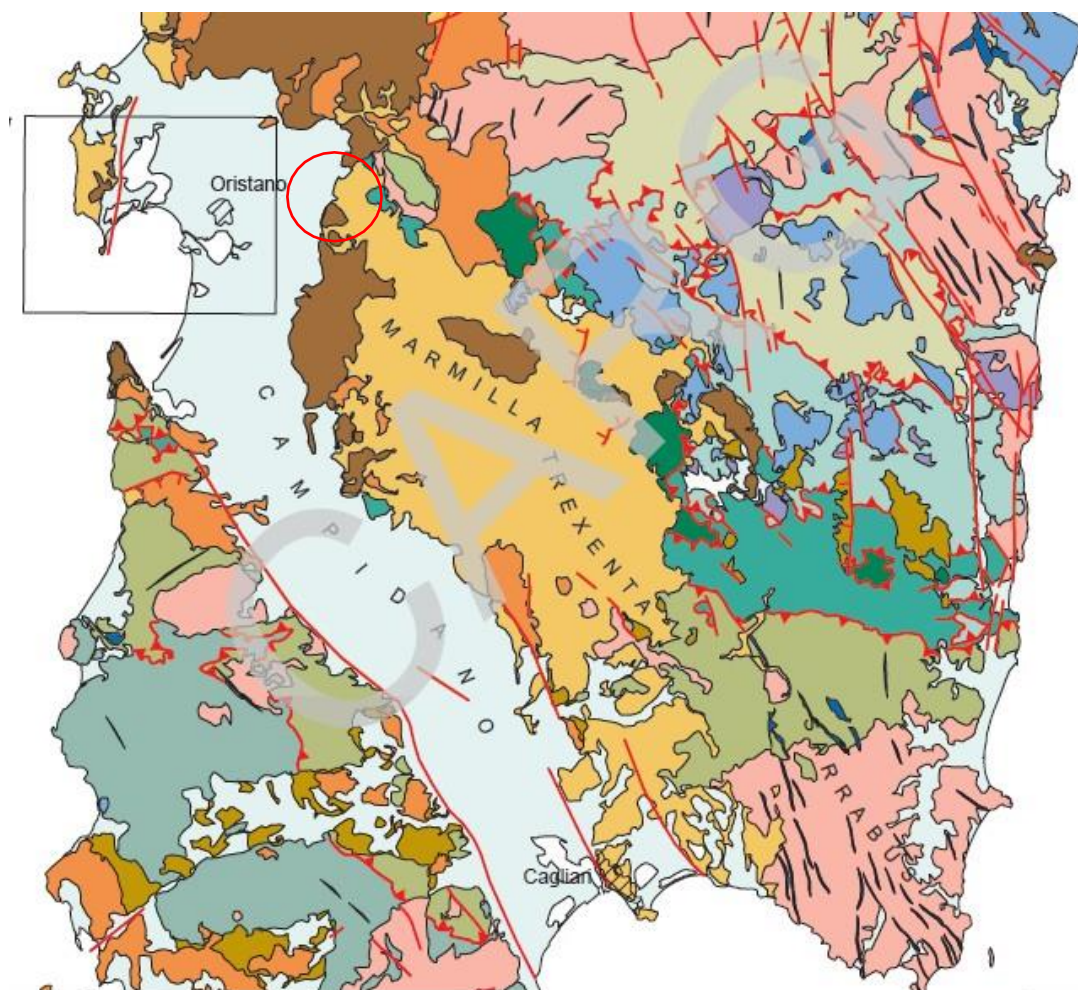


Figura 6 – Schema geologico-strutturale della Sardegna (Fonte: PROGEMISA, 2009)



7 GEOLOGIA DELL'AREA D'INTERVENTO

Per la definizione degli elementi geologici (stratigrafici, litologici, idrogeologici, geomorfologici) si è proceduto attraverso un rilevamento geologico di superficie dell'area d'intervento e delle zone ad essa immediatamente circostanti.

I dati del rilevamento geologico di superficie sono stati successivamente integrati ed interpretati utilizzando i risultati ottenuti da indagini geognostiche eseguite direttamente nel sito in esame e in zone circostanti che, sebbene esterne all'area, sono caratterizzate dal medesimo contesto geologico-strutturale.

7.1 Raccolta ed analisi dei dati del rilevamento geologico di superficie

Nell'area esaminata e nel suo intorno vasto sono presenti unità appartenenti esclusivamente al Quaternario.

I terreni individuati sono di seguito descritti, a partire dai termini più antichi, utilizzando, per quanto concerne la nomenclatura, quella proposta dalla cartografia geologica ufficiale:

7.1.1 **PVM2a_Alluvioni antiche (Pleistocene)**

Fanno parte dell'antico cono di deiezione del Paleo-Tirso, eroso e successivamente terrazzato dai corsi d'acqua che sfociano nel golfo di Oristano.

Si tratta pertanto di depositi alluvionali che non hanno più rapporto con la rete idrografica che li ha generati, e risultano generalmente disposti in ampi terrazzi incisi dai corsi d'acqua attuali che vi depositano i sedimenti recenti.

Nell'ambito del presente lavoro le alluvioni antiche assumono particolare interesse in quanto sono il substrato di base dei depositi alluvionali recenti che affiorano a livello del piano di calpestio attuale.

Questi sedimenti sono caratterizzati da una estrema variabilità composizionale e granulometrica sia in senso verticale che orizzontale essendo costituiti da alternanze continue e ripetute di termini più grossolani, rappresentati da ciottoli e sabbie, con termini più francamente sabbiosi; non mancano intercalazioni argillose contraddistinte da spessori ed estensione orizzontale estremamente variabili. La frazione argillosa è ancora presente, distribuita negli spazi intergranulari, nella matrice dei depositi più grossolani e conferisce alla compagine una tipica colorazione rossastra. Da quanto detto i contatti tra i singoli depositi sono generalmente eteropici riflettendo in tal senso l'estrema complessità e la diversa energia dell'ambiente deposizionale alluvionale.

Gli elementi costitutivi dell'alluvione sono soprattutto le sabbie ed i ciottoli di quarzo, che formano lo scheletro del deposito, seguono le sabbie fini e le argille distribuite nella matrice o in strati e lenti di limitato spessore; sono altresì presenti, seppure in maniera meno frequente, elementi metamorfici e vulcanici.

7.1.2 **bnb_Depositi alluvionali terrazzati (Olocene)**

Si tratta di depositi alluvionali olocenici, prevalentemente sabbiosi o con alternanze di livelli argillosi e limosi, talora terrazzati.

7.1.3 **bb_Alluvioni recenti (Olocene)**

Le alluvioni recenti si rinvergono essenzialmente lungo l'alveo del Tirso che scorre a poche centinaia di metri dall'area in oggetto.



Si tratta in genere di depositi sabbiosi dei letti di piena attuali, ben classati e con frequenti orizzonti limosi e argillosi. La natura dei componenti è prevalentemente quarzosa.

Di seguito si allega la carta geologica derivata dal rilevamento di superficie integrato dai dati raccolti nel corso dell'indagine geognostica.

Nella cartografia ufficiale, di cui si riporta di seguito uno stralcio (fig. 7) della Carta Geologica in scala 1:50.000 (foglio 528 "Oristano"), la distribuzione delle principali unità litologiche è così rappresentata:

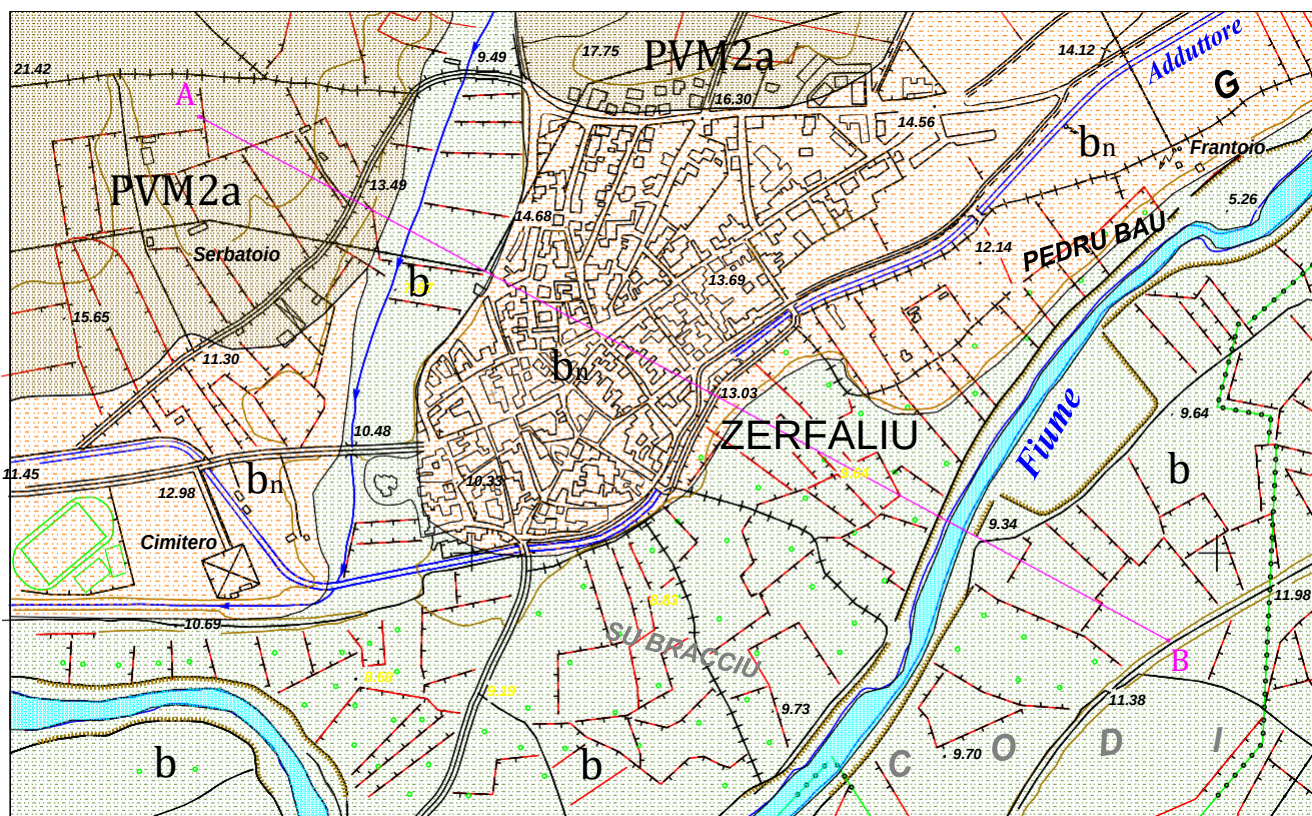
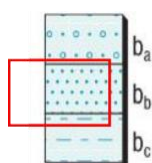


Figura 7 – Stralcio della carta geologica dell'area d'intervento (da tavola allegata al progetto)

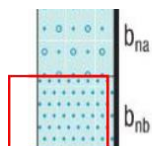
Il foglio geologico 528 "Oristano" (progetto CARG) riporta per le unità stratigrafiche individuate la seguente descrizione:



Depositi alluvionali

Ghiaie ad elementi di rocce paleozoiche e vulcaniti terziarie (b_a); sabbie quarzose e limi (b_b); limi alluvionali (b_c). Lo spessore è fino a 5 m.

OLOCENE



Depositi alluvionali terrazzati

Ghiaie medio-fini ad elementi di rocce paleozoiche e vulcaniti terziarie (b_{na}), sabbie quarzose alternate a limi sabbiosi (b_{nb}). Lo spessore massimo è circa 5 m.

OLOCENE



SINTEMA DI PORTOVESME

Subsintema di Portoscuso

Ghiaie e sabbie alluvionali terrazzate (PVM_{2a}). Lo spessore massimo raggiunge 35 m.

Arenarie eoliche con resti ossei di vertebrati (*Mammuthus lamarmorae*) e molluschi polmonati, intercalazioni di detriti rimaneggiati, colluvi e paleosuoli (PVM_{2b}). Lo spessore massimo raggiunge 20 m.

Subsintema di Calamosca ("Panchina tirreniana" Auct.)

Conglomerati e arenarie litorali, calcareniti e limi lagunari con resti fossili di molluschi (*Cerastoderma edulis*, *Ostrea ostrea edulis*), coralli e alghe; limi e argille sabbiosi di facies lagunare, con resti fossili di molluschi (*Mytilus galloprovincialis*, *Cerastoderma edulis*, *Conus* sp., etc.) (PVM₁). Lo spessore massimo in affioramento è circa 6 m.

PLEISTOCENE SUP.

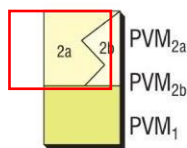


Figura 8 – Legenda della carta geologica di figura 6 (da Progetto CARG – Foglio 528 "Oristano")

Al fine di comprendere i rapporti stratigrafici esistenti fra le differenti unità alluvionali, di seguito, si riporta una sezione schematica esemplificativa (fig. 9). La sezione geologica descritta è relativa alla piana alluvionale del Fiume Tirso per l'intorno dell'abitato di Zeddiani ma viene utilizzata anche per il settore di Zerfaliu in quanto caratterizzata dalle medesime unità litologiche (bnb e PVM2a) presenti nel settore oggetto del presente studio.

In particolare si riporta tale sezione per evidenziare che spesso l'unità di base (PVM2a) delle alluvioni recenti oloceniche (bnb) risulta essere affiorante e, talora, posta ad una quota superiore a quella raggiunta dai depositi alluvionali olocenici, sia terrazzati (b_n) sia attuali (b), all'interno di "tasche stratigrafiche". Ciò deriva dalla maggiore consistenza dei depositi alluvionali pleistocenici (PVM2a) che sono caratterizzati da una minore erodibilità rispetto a quelli olocenici.

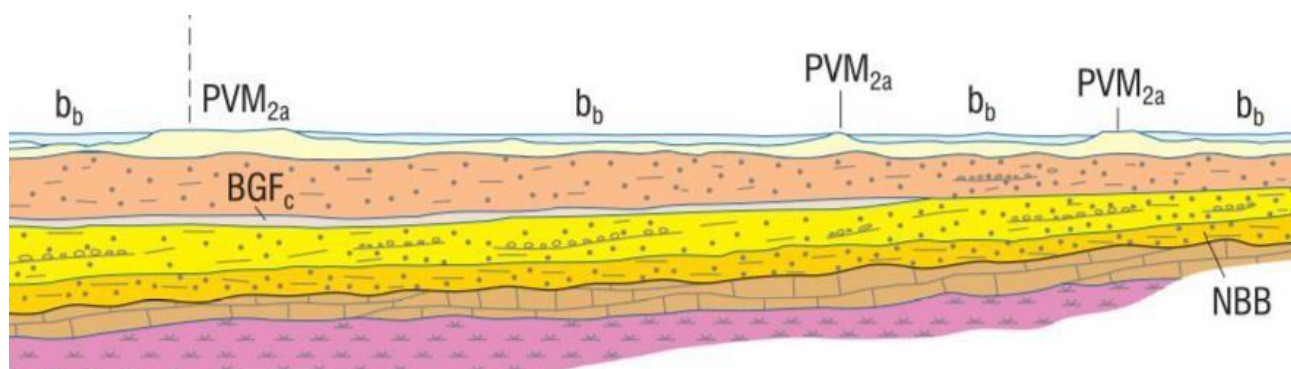


Figura 9 – Sezione stratigrafica delle unità recenti nel settore est di Zeddiani

7.2 Raccolta ed analisi dei dati ricavati dalle indagini geognostiche

Per la definizione della successione stratigrafica di dettaglio sono state effettuate una serie di indagini che sono state ubicate in diretta prossimità dell'area di sedime del canale irriguo oggetto dell'intervento in progetto.

Le indagini sono state eseguite attraverso una serie di rilievi geoelettrici, mediante la realizzazione di 5 profili tomografici geoelettrici, ed hanno consentito di verificare, seppure per via indiretta, la successione stratigrafica presente nel settore d'intervento, per una profondità circa 10 metri dalla quota del piano di calpestio laterale al canale.

7.2.1 Metodologia di indagine

I rilievi geofisici sono stati eseguiti mediante un georesistivimetro ARES e consiste nell'immettere corrente continua (I) nel terreno attraverso degli elettrodi metallici e nel misurarne la differenza di potenziale grazie



all'utilizzo di picchetti in acciaio. Si risale così alla resistività apparente attraverso l'immissione artificiale nel terreno di una determinata quantità di corrente continua attraverso due elettrodi in contatto con il terreno e collegati ad un generatore.

Variando la posizione delle coppie di elettrodi di corrente e di potenziale si realizza un'indagine che permette di caratterizzare le proprietà elettriche del sottosuolo a diverse profondità e con differenti risoluzioni spaziali. Per evitare continui riposizionamenti degli elettrodi, i moderni strumenti, come quello utilizzato durante il rilievo in questione, consentono di gestire l'energizzazione e l'acquisizione mediante stendimenti multielettrodo.

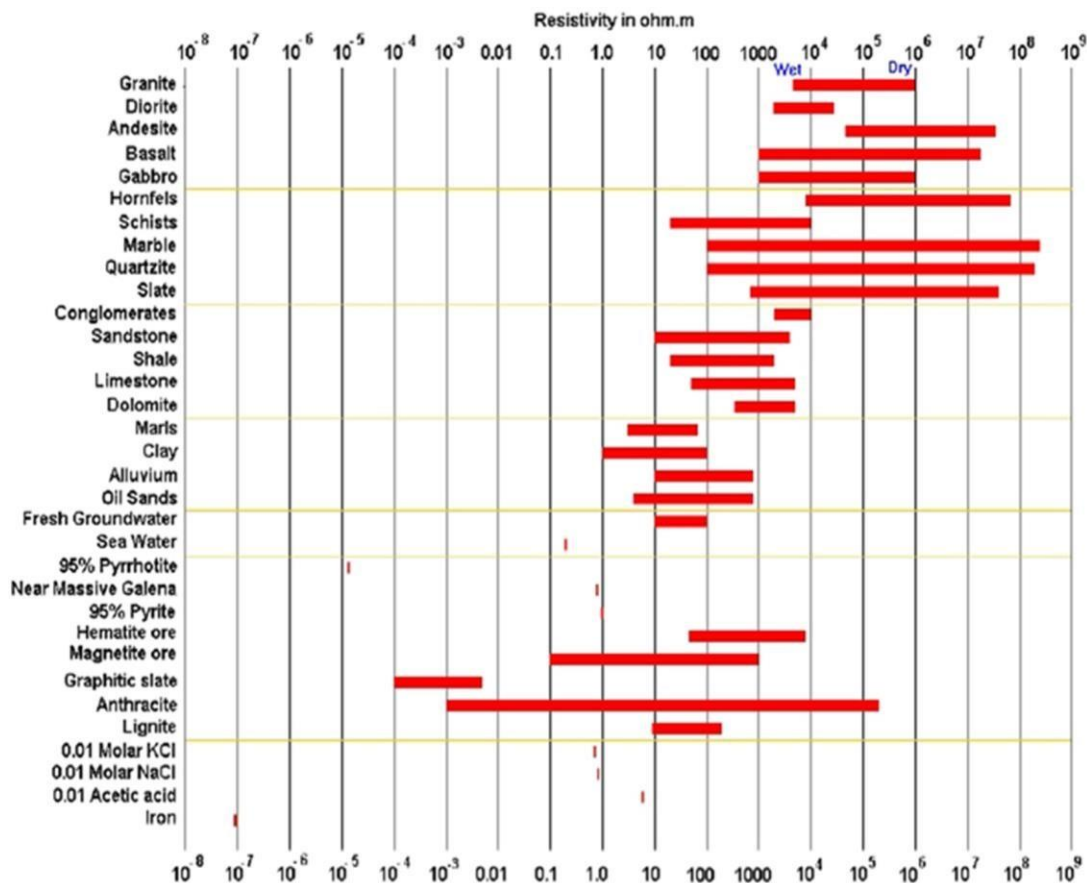
In particolare, i dispositivi dipolari che sono stati utilizzati per le indagini geoelettriche oggetto della presente indagine sono il Dipolo-Dipolo e lo Schlumberger. La tecnica della geoelettrica dipolare di superficie, consiste nella realizzazione di un'immagine 2D di estremo dettaglio del comportamento areale della resistività elettrica lungo il piano della sezione verticale passante per i profili scelti per la prospezione.

La procedura tomografica di campagna consiste nell'eseguire vari transetti lungo il tracciato, ciascuno dei quali corrisponde ad un'assegnata posizione di uno dei due dipoli lungo il profilo, che viene mantenuto fisso, mentre l'altro dipolo si allontana progressivamente da questo lungo il medesimo profilo, assegnando valori crescenti ad n (1, 2,N).

Le resistività apparenti, distribuite nei punti della griglia che si viene a formare come conseguenza delle diverse disposizioni mutue dei due dipoli, vengono successivamente sottoposte ad una valutazione comparativa, che si concretizza nel tracciamento di una famiglia di isolinee di resistività apparente. Il quadro d'insieme che ne deriva, ulteriormente rifinito con l'uso di una scala di colori o di grigi o con altri mezzi di contrasto tra settori contigui, rappresenta di fatto una pseudo-sezione del sottosuolo lungo il profilo scelto.

Obiettivo delle indagini geoelettriche è la ricostruzione di modelli di resistività del sottosuolo partendo da misure di resistività apparente. Oltre alle inevitabili anisotropie e disomogeneità del terreno, che impediscono una ricostruzione univoca del modello geometrico, è necessario ricordare che la resistività dipende da diversi fattori quali porosità, presenza di fluidi, composizione mineralogica, grado di fratturazione, grado di saturazione etc. In particolare, la resistività delle rocce è sempre maggiore rispetto a quella dell'acqua nei pori, è minima in corrispondenza del grado di saturazione massimo ed è tanto minore quanto maggiore è la porosità. Tutti questi elementi contribuiscono ad una grande variabilità di valori anche per singole classi di rocce o terreni.

Nella tabella successiva si riportano i range dei valori di resistività usuali per rocce, suoli e minerali.



Attraverso le misurazioni della polarizzazione indotta (PI) è possibile fornire interessanti indicazioni sulla possibile natura litologica di un elettrostrato. La stessa circolazione idrica può favorire valori alti valori di caricabilità dovuti alla polarizzazione delle fasce saturate.

La polarizzazione indotta è un fenomeno generato dalla stimolazione di una corrente elettrica, che viene osservata dopo l'applicazione di una tensione nel terreno. Il metodo consiste nell'osservazione della curva di decadimento del potenziale, susseguentemente all'interruzione della corrente immessa, cioè dalla misura della "Caricabilità residua" trattenuta dal terreno sottoposto ad indagine.

L'inversione dei dati di caricabilità permette di passare con un margine di errore discreto dalla caricabilità apparente a quella reale.

Valori di caricabilità elevati sono sicuramente da ricondurre inoltre alla presenza di contaminanti sia chimici che organici, si capisce come questa tecnica sia adottata in maniera diffusa nel settore di indagine ambientale.

Il fenomeno fisico può essere spiegato modellando il terreno come una distribuzione di condensatori che si caricano e si scaricano attraverso delle resistenze. Il tempo richiesto per ripristinare le condizioni di equilibrio è funzione del grado di polarizzabilità del terreno.

I principali fattori che determinano la PI sono:

- la composizione mineralogica,
- la tessitura,
- la percentuale d'acqua (umidità naturale),



- la composizione chimica dell'acqua interstiziale (elettrolita).

I fenomeni che avvengono a livello microscopico nel materiale sottoposto a corrente elettrica sono globalmente di due tipi: polarizzazione elettrodica e polarizzazione di membrana.

La *polarizzazione elettrodica* è la tipica polarizzazione dei metalli, nei quali le cariche sono libere di migrare e disporsi in modo tale da creare dipoli. Questo tipo di polarizzazione è tipica nelle indagini minerarie.

La *polarizzazione di membrana* si ha quando alle pareti dei pori del terreno si affacciano minerali d'argilla. Le argille sono materiali coesivi idrati, a comportamento plastico, i cui minerali argillosi sono generalmente caratterizzati da dimensioni inferiori a 5 μm . In particolare essi sono costituiti da fillosilicati organizzati in strati tetraedrici di silicio ed alluminio e in strati di ottaedri di alluminio, ferro ed altri cationi. In base a come si interfacciano gli strati tetraedrici ed ottaedrici si osserva una forte variabilità della composizione chimica, delle proprietà di scambio e delle risposte geofisiche.

Nei sedimenti sciolti esiste una percentuale ottimale dei minerali d'argilla per la polarizzazione di membrana; tale concentrazione è compresa tra il 3% e l'8%, quindi la massima polarizzabilità per un sedimento sciolto si ha per sabbie limoso-argillose.

Le argille pure, data l'inesistenza dei pori, non polarizzano. La polarizzazione di membrana pertanto è particolarmente importante nelle rocce contenenti una bassa percentuale di argilla nella matrice. Occorre infine ricordare che non tutti i minerali d'argilla hanno la stessa efficacia nell'adsorbimento cationico. L'effetto della polarizzazione di membrana aumenta notevolmente in contesti porosi in cui le particelle d'argilla bloccano parzialmente il passaggio alle soluzioni di ioni. La nuvola cationica di diffusione in vicinanza della superficie del minerale argilloso è una caratteristica del sistema argilla-elettrolita. Applicando un potenziale elettrico, le cariche positive manifestano una elevata mobilità attraverso la nube cationica, mentre quelle cariche negative tendono ad accumularsi; si ha quindi una membrana ione-selettiva la quale, all'eliminazione del potenziale elettrico, ostacola la mobilità delle cariche negative e rallenta la riconfigurazione della neutralità elettrica.

Di seguito si riporta una tabella con alcuni valori tipici di caricabilità di alcuni terreni, rocce e minerali (da Telford 1990 e Keller 1966).

Materiali e Minerali	Caricabilità (msec)
Pirite	13.4
Galena (solfuro di Piombo)	3.7
Rocce con il 20% di solfuri	2000-3000
Rocce con l'8-20% di solfuri	1000-2000
Rocce con l'2-8% di solfuri	500-1000
Magnetite	2.2
Arenarie e Siltiti	100-500



Rocce vulcaniche compatte	100-500
Graniti	10-50
Acque sotterranee	0
Materiale alluvionale	1-4
Ghiaia	3-9

7.2.2 Caratteristiche di resistività e caricabilità

L'esame delle sezioni di resistività e caricabilità definisce l'andamento delle caratteristiche elettriche con la profondità. Pur considerando le differenze assolute nei valori di resistività misurate con le differenti disposizioni elettrode, si può tentare di attribuire un range di resistività ad ogni litotipo:

- Tipo 1 la resistività reale ρ si colloca su valori superiori a 200 ohm $\cdot$ m e caratterizza terreni superficiali, caricabilità bassa inferiore a 4-6 msec; tale tipo elettrico si associa con i terreni superficiali di riporto;
- Tipo 2 caratterizza i terreni sottostanti al tipo 1; in questo tipo di elettrostrato ρ si colloca su valori che vanno da 30 a 5 ohm $\cdot$ m, caricabilità decisamente elevata, superiore a 30 msec; i valori di polarizzazione maggiore si registrano sui bordi delle fasce conduttive, verosimilmente per la presenza di circolazione idrica e in alcuni settori ben definiti con forma da circolare a subverticale, verosimilmente riconducibili a circolazione idrica o a presenza di condotte fognarie;

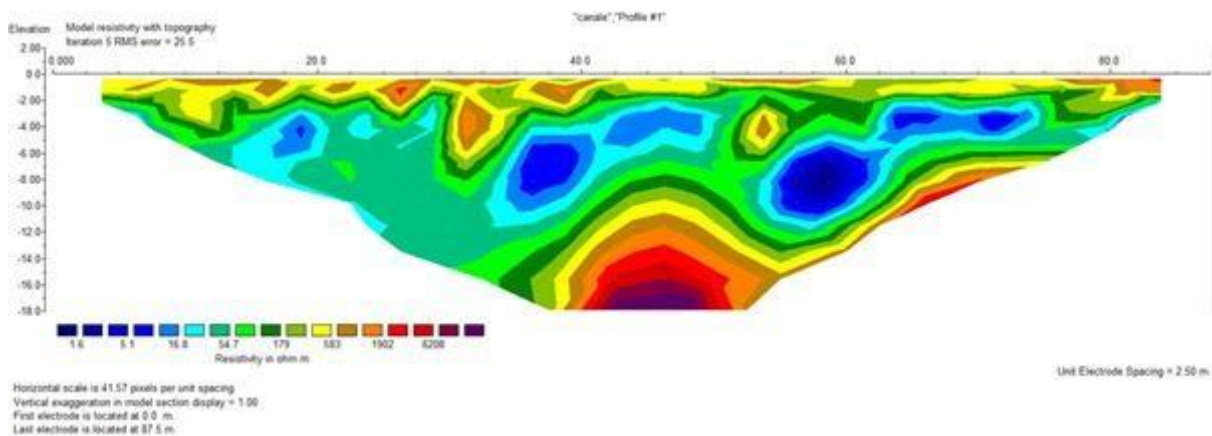
L'omogeneità stratigrafica ed elettrica delle sezioni TOM3, TOM4 e TOM5 contrasta con quella delle sezioni tomografiche TOM1 e TOM2 dove la fascia superficiale entro i tre metri di profondità evidenzia settori di conducibilità elevata.

Di seguito si riportano le sezioni tomografiche ricavate dai rilievi di campagna. L'esame comparato delle sezioni consente di verificare che in corrispondenza del tratto analizzato con le TOM1 e TOM2 sono presenti nei primi livelli superficiali terreni con conducibilità elettrica elevata.

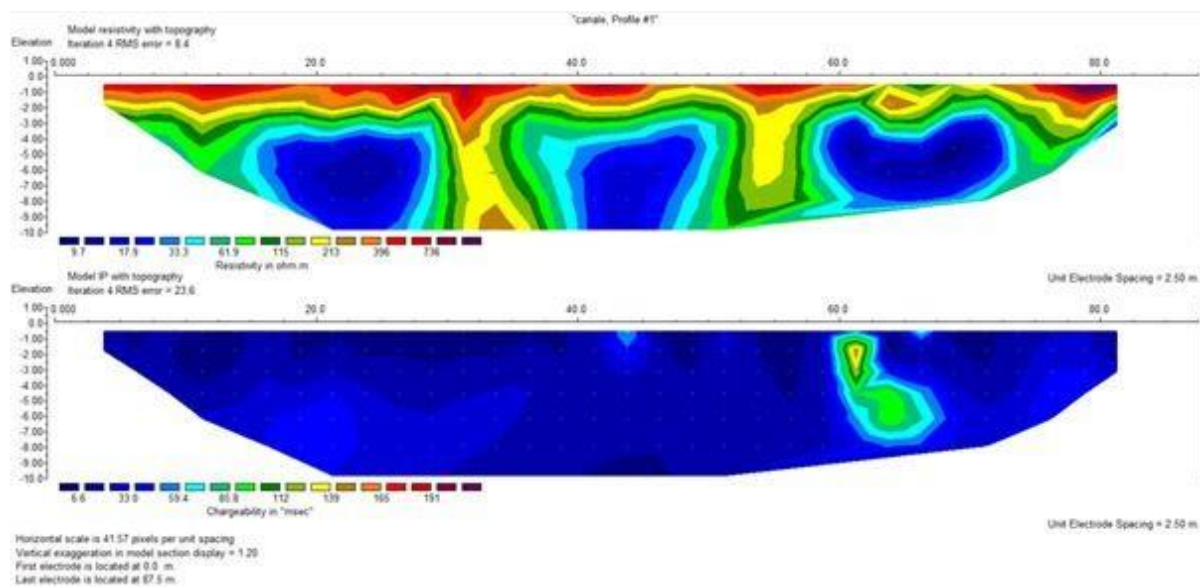


SEZIONE DI RESISTIVITA' TOM 1

a) Configurazione dipolo - dipolo



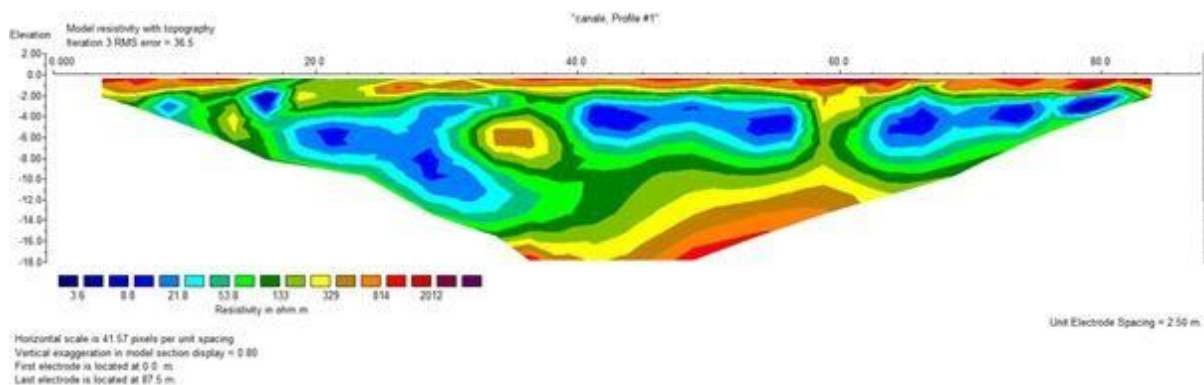
b) Configurazione Schlumberger



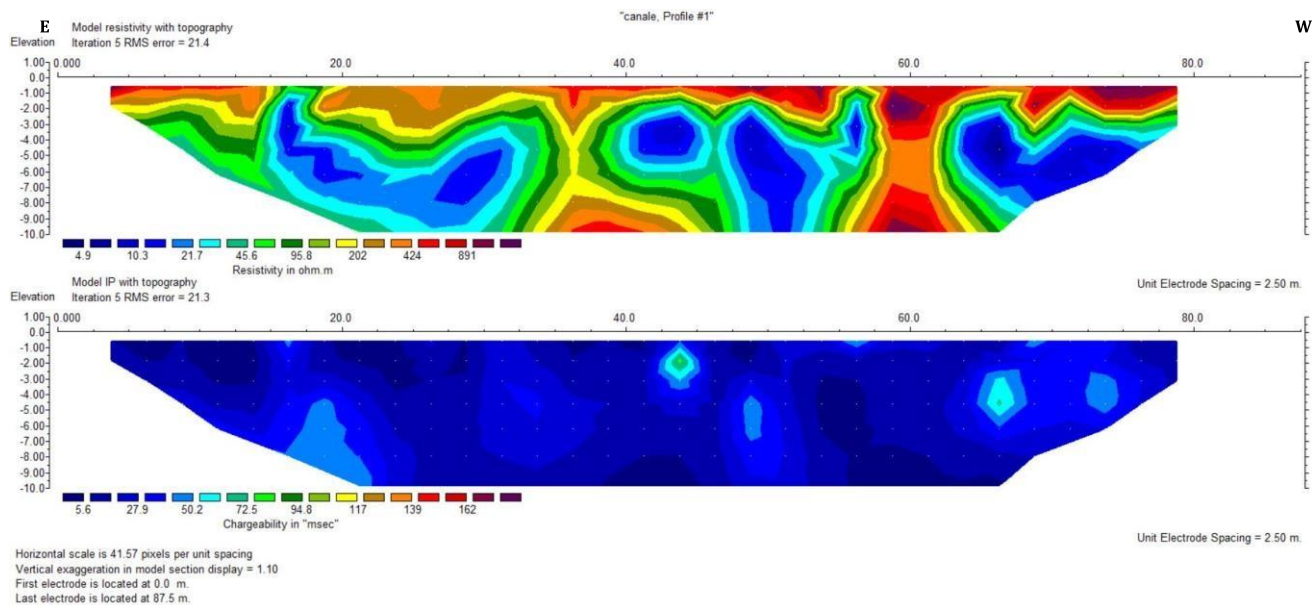


SEZIONE DI RESISTIVITA' TOM 2

a) Configurazione dipolo - dipolo



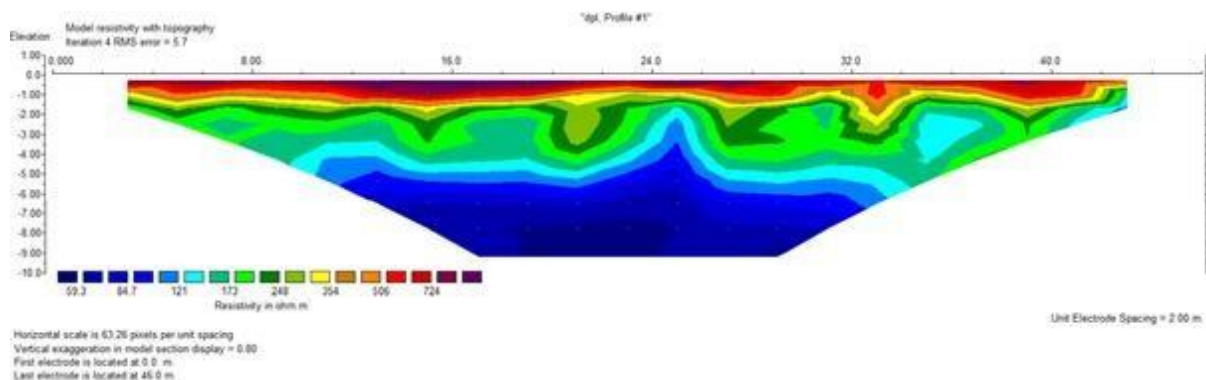
b) Configurazione Schlumberger



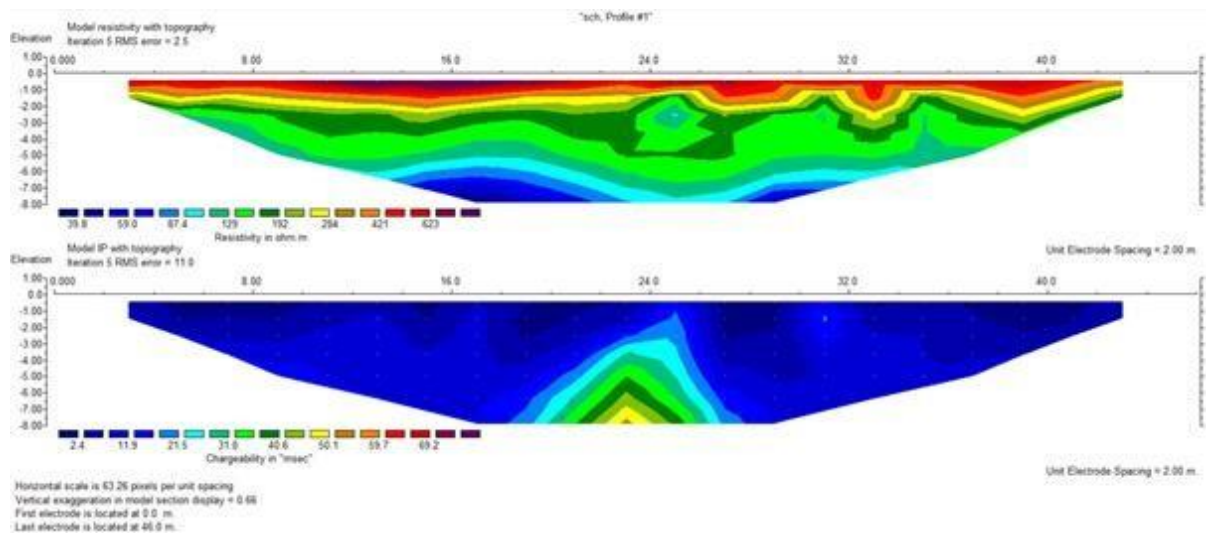


SEZIONE DI RESISTIVITA' TOM 3

a) Configurazione dipolo - dipolo



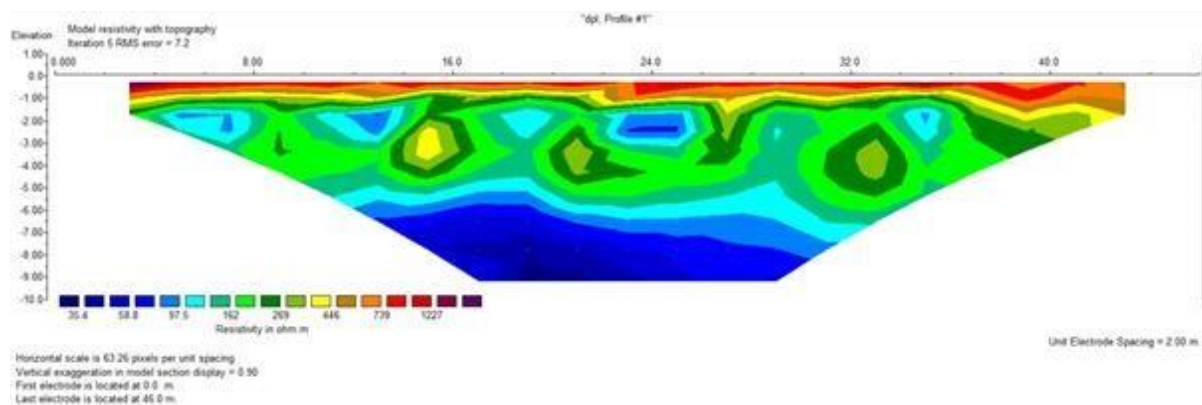
b) Configurazione Schlumberger



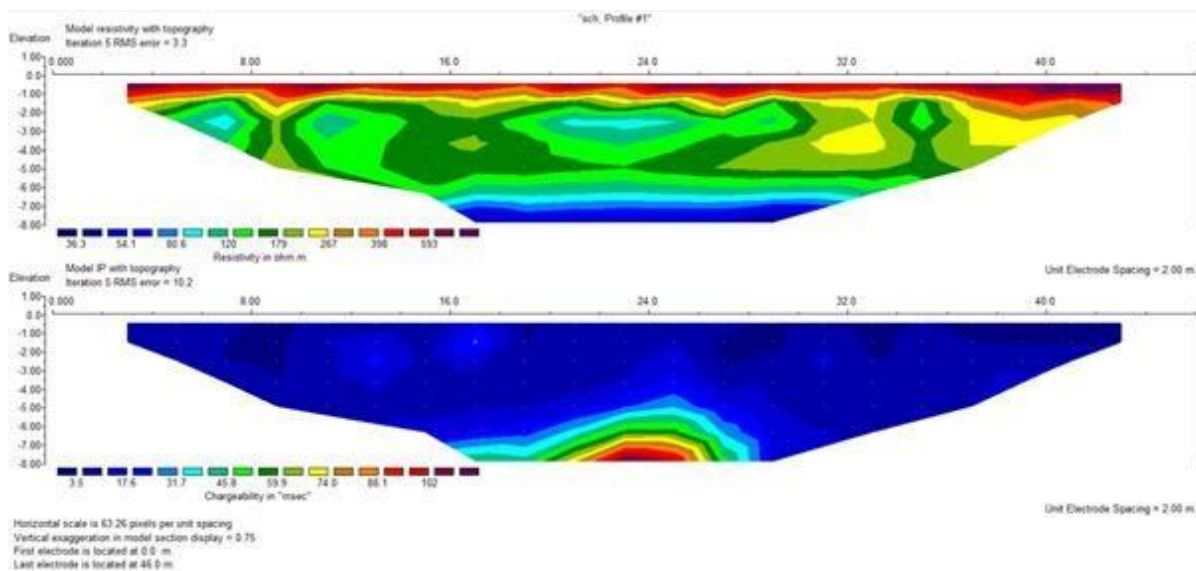


SEZIONE DI RESISTIVITA' TOM 4

a) Configurazione dipolo - dipolo



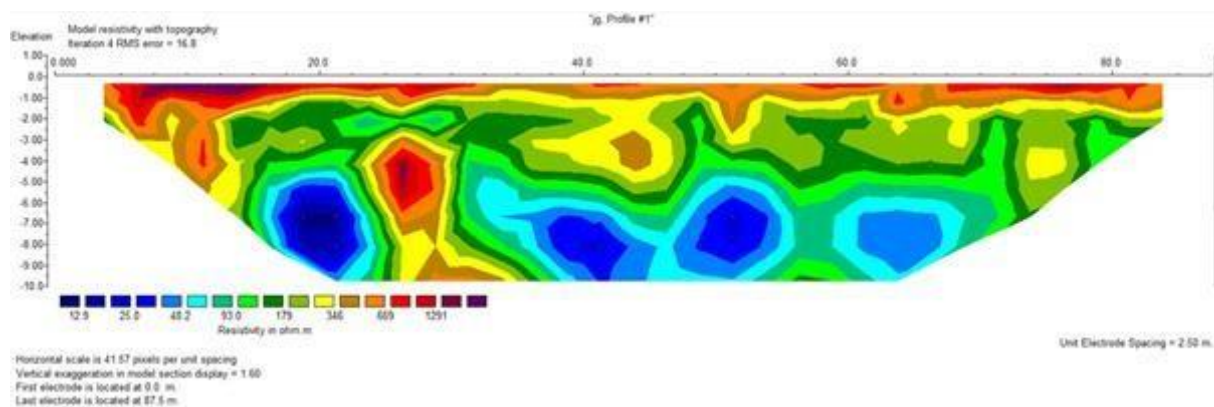
b) Configurazione Schlumberger



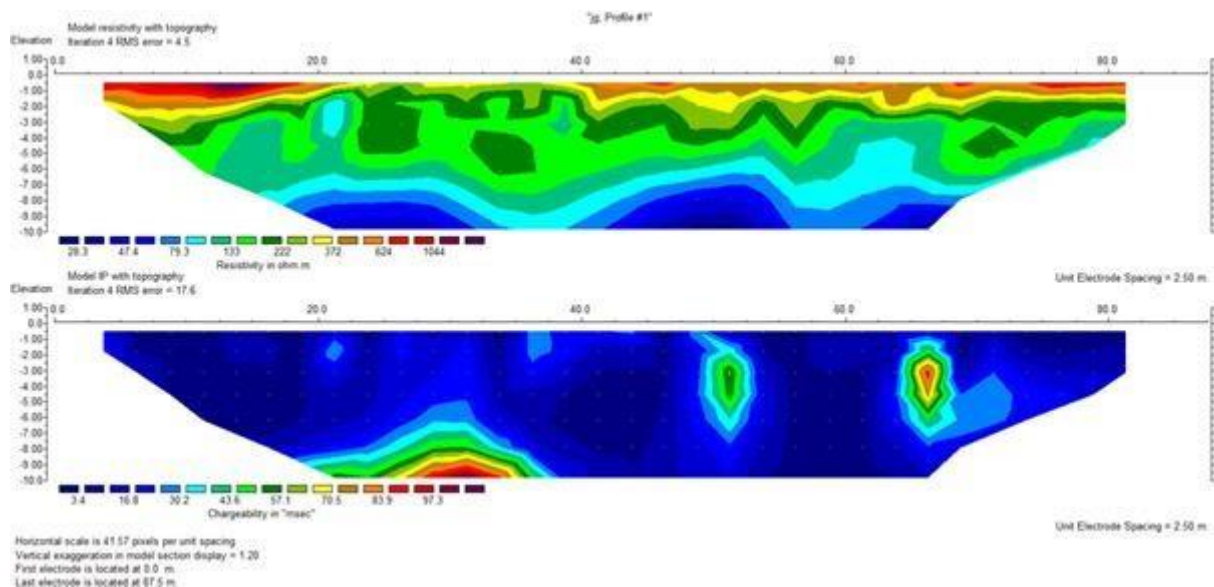


SEZIONE DI RESISTIVITA' TOM 5

a) Configurazione dipolo - dipolo



b) Configurazione Schlumberger



7.2.3 Considerazioni conclusive delle indagini

Le prospezioni geofisiche del tipo geoelettrico sono state effettuate per la misurazione delle caratteristiche elettriche dei terreni superficiali adiacenti al canale in esame, col fine di individuare eventuali anomalie elettriche ricollegabili a perdite idriche dal canale stesso.



La finalità delle indagini è stata dunque quella di intercettare i settori più conduttivi verosimilmente ricollegabili a filtrazioni dall'opera di irrigazione.

Sono state realizzate n°5 prospezioni geoelettriche che hanno raggiunto profondità maggiori rispetto a quelle di interesse.

Gli stendimenti TOM 1 E TOM 2, eseguiti tra via dei Giardini e via Nuova sono stati collocati secondo allineamenti SW-NE e hanno rilevato il lato nord del canale scoperto lungo le vie succitate sin quasi alla strada provinciale n°9. Gli stendimenti TOM3, TOM4 e TOM5 realizzati a poco più di un centinaio di metri dal TOM1 hanno indagato il lato settentrionale del canale coperto della via Giuseppe Mazzini.

Le indagini hanno evidenziato alcuni settori superficiali (profondità comprese tra i 2 e i 3 m di profondità) nelle tomografie TOM1 e TOM2 dove i valori di resistività si presentano molto bassi (talvolta inferiori a 10 ohmxm) verosimilmente a causa di filtrazioni idriche nei terreni adiacenti l'opera.

8 CARATTERI GEOMORFOLOGICI

Come già anticipato, la piana di Oristano, di cui è parte l'area in esame, deriva dal riempimento della fossa tettonica campidanese ad opera dei materiali alluvionali trasportati dagli antichi corsi d'acqua provenienti dal retropaese formato dal basamento cristallino e dalle coperture marine mio-pleistoceniche e vulcaniche. I con di deiezione formati in seguito all'enorme deposito dei materiali suddetti sono stati successivamente erosi e degradati da parte degli stessi corsi d'acqua in presenza di mutate condizioni climatiche e di livello del mare.

Il risultato dell'insieme dei fenomeni erosivi e deposizionali, variamente succedutisi nel tempo, è la creazione di un settore pianeggiante, modellato ad ampi terrazzi, con limitate pendenze e deboli dislivelli.

Pur offrendo le monotone succitate caratteristiche fisiografiche i terreni si possono differenziare, sulla base dei processi morfogenetici, in due unità distinte:

- paesaggio delle alluvioni antiche;
- paesaggio delle alluvioni recenti.

Le *alluvioni terrazzate* antiche appaiono in posizione sopraelevata rispetto al resto della piana con un andamento più mosso e pendenze accentuate; la loro notevole uniformità morfologica è interrotta da impluvi e depressioni prodotte da solchi di ruscellamento e da piccoli collettori ad andamento stagionale.

Le *alluvioni recenti*, rappresentano gli ultimi depositi dei processi morfogenetici dei letti di piena attuali, ed occupano le aree golenali quasi del tutto piatte lungo il corso del Tirso del Rio S. Elena.

Le zone più acclivi sono quelle che fanno da fascia di raccordo tra la zona delle alluvioni recenti e quello delle alluvioni antiche.

Nelle foto seguenti si rappresenta la morfologia dei terreni nei settori adiacenti quello di imposta del canale irriguo oggetto delle verifiche e degli interventi di progetto.



Settore centrale d'intervento

Il canale è ubicato sulla sommità dell'argine idraulico realizzato in rilevato rispetto alla strada di penetrazione posta al centro della foto



Settore centrale d'intervento

Il canale è ubicato sulla sommità dell'argine idraulico realizzato in rilevato rispetto alla strada di penetrazione posta al centro della foto



Settore centrale d'intervento

Vista globale del settore con evidenza dei rapporti altimetrici fra stradello (sx), arginatura in rilevato e canale tombato (dx)



Settore centrale d'intervento

In corrispondenza dell'area interessata dalla realizzazione del ponte pedonale si evidenziano i rapporti altimetrici fra la campagna, la strada laterale ed il canale tombato



Settore di NE

In questo settore l'arginatura ed il canale presentano una differenza di quota inferiore ai settori precedenti



9 CARATTERI IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI GENERALI DEL SETTORE

9.1 A Inquadramento idrografico generale

Per ciò che riguarda la definizione dell'assetto idrogeologico generale del settore si riportano le principali indicazioni ricavate dalle analisi riportate nelle note illustrative del foglio 528 "Oristano"¹.

Nella porzione di pianura compresa nel Foglio, il Fiume Tirso percorre il suo tratto terminale scorrendo per 19 km in un alveo in gran parte arginato e con debole pendenza. Al ponte di Silì la valutazione della lama d'acqua defluita fornisce un valore di 241,6 mm. La foce a delta non è molto pronunciata perché la scarsa quantità di apporti solidi durante il periodo estivo impedisce la costruzione di un delta a "cuspidè" caratteristico di molti fiumi italiani. Inoltre a circa 50 km dalla foce il fiume è sbarrato dalla diga di S. Chiara (Foglio 515 "Ghilarza") e la diminuzione dei deflussi che si verifica a valle del manufatto influisce sull'entità dei processi morfogenetici e sul regime idrologico delle falde.

La foce del Fiume Tirso ha subito nella seconda metà del 1900 numerose modificazioni ad opera di interventi antropici. Tra queste la deviazione sino allo sbocco indipendente al mare del Canale di Pesaria, emissario dello Stagno S. Giusta, che fino ai primi anni '50 affluiva nella palude che il Fiume Tirso formava nei pressi della foce. L'opera si rese necessaria in quanto le piene del fiume si ripercuotevano attraverso il canale nello stagno, abbassando il tenore salino delle sue acque con grave danno per l'attività ittica.

Nella piana di Sassu (Arborea) appartenente al bacino idrografico del Riu Mogoro (porzione meridionale del Foglio) defluisce il "Canale adduttore Tirso-Arborea", che ha una portata di 21 mc/s ed è alimentato dalle acque dello sbarramento costruito nel 1933 sul Fiume Tirso alla stretta di S. Vittoria (Diga S. Vittoria, Foglio 529 "Samugheo").

Dallo stesso bacino artificiale trae origine il "Canale Generale", ubicato nella parte NE del Foglio, che con una portata di 12,60 mc/s serve le aziende agricole dell'area di Zeddiani e Siamaggiore.

A N del bacino del Fiume Tirso, il Riu Canargia si immette nello Stagno di Cabras.

Nel periodo precedente alla bonifica realizzata nei primi anni '60, il suo sbocco naturale era lo Stagno di Mare Foghe, uno specchio d'acqua che lambiva gli abitati di Riola Sardo e Baratili S. Pietro. L'emissario dello stagno prendeva il nome di Riu Sa Praia e dopo circa 3,5 km terminava nello Stagno di Cabras.

9.2 B I corpi acquiferi e le proprietà idrauliche delle unità idrogeologiche della piana di Oristano

Nel settore orientale della piana di Oristano, utilizzando le stratigrafie dei pozzi eseguiti, sono stati individuati due sistemi acquiferi riferibili a:

- complesso sabbioso-ghiaioso-argilloso quaternario (acquifero del Campidano);
- complesso calcareo-conglomeratico-sabbioso-ghiaioso miocenico (acquifero del Sinis).



1 Progetto CARG – Note illustrative del foglio geologico 528 “Oristano”

Il primo, quello presente nel settore ad est di Oristano, all'interno della piana del Campidano, costituisce un acquifero multistrato in cui livelli sabbioso-ghiaiosi di elevata permeabilità si intercalano a strati argilloso-limosi (più raramente calcarei o arenacei) impermeabili o semipermeabili. Si tratta della parte sommitale del complesso alluvionale pleistocenico che colma il Graben del Campidano, la cui potenza è dell'ordine di 150 m (CASMEZ, 1984a). Il limite inferiore dell'acquifero multistrato non è ben definito e passa gradualmente ad un sottostante complesso argilloso che include alcuni strati sabbioso-ghiaiosi sovente permeati da acque salmastre.

Un accumulo deltizio del Fiume Tirso, con potenza che supera 100 m, riempie una vasta depressione tra Simaxis e Santa Giusta. La permeabilità delle alluvioni è elevata nei primi 50 m e più ridotta in profondità.

Nei pressi di Cabras, una paleovalle profonda tra i 50 e i 100 m si collega alla depressione; al di sotto delle alluvioni sono presenti delle colate basaltiche che costituiscono un unico acquifero.

Nel territorio compreso tra Palmas Arborea e Sant'Anna alcune trivellazioni hanno mostrato una discreta pressione e, in alcuni casi, si è registrata una prevalenza di circa un metro. Gli aquitard costituiti dalle intercalazioni argillose, benché di limitata potenza, hanno un'estensione areale di molti chilometri che permette una buona capacità d'immagazzinamento.

Un'ultima considerazione dettata dalla geometria rilevata permette di affermare l'esistenza di “filtrazioni” dai livelli superiori a quelli più profondi, sebbene si verifichino in tempi lunghi.

A W il complesso del Campidano è chiuso da un limite di tamponamento costituito dalla faglia che, con direzione circa N-S, ha rialzato il pilastro tettonico del Sinis, ponendo a contatto l'acquifero campidanese con le marne mioceniche di permeabilità praticamente nulla.

A causa dell'intenso sviluppo agricolo la piana del Fiume Tirso è soggetta in alcuni settori a forti prelievi dalle falde, mentre in altre zone è operante la rete irrigua gestita dal “Consorzio di Bonifica del Campidano di Oristano”. Il sistema naturale è quindi alterato dagli interventi antropici e ciò risulta con maggiore evidenza nei rapporti intercorrenti tra deflussi superficiali e sotterranei.

Nel territorio compreso tra Pardu Nou, Sili ed Oristano l'alveo del Fiume Tirso, che in questo tratto scorre seguendo il limite tra i depositi alluvionali attuali (sabbie e limi) e i depositi alluvionali terrazzati olocenici e pleistocenici, coincide con un asse di alimentazione ed è compreso tra due assi di drenaggio. In particolare quello più meridionale, molto accentuato, è dovuto alla presenza dei numerosi canali artificiali realizzati per la bonifica di una vasta area paludosa.

Verso occidente i rapporti si invertono ed il corso d'acqua passa dalla condizione di alimentazione a quella di drenaggio: più o meno in corrispondenza dell'area di Sili, che è una delle più produttive dell'intero Campidano. Gli effetti dell'irrigazione sono riscontrabili in un settore ad E dell'abitato di Cabras (località compresa tra C. Pinna e C. Piredda), dove a causa di un repentino innalzamento del livello si formano delle isofreatiche chiuse tra le piezometriche 1 e 0,5 m.



La geometria riscontrata permette un'infiltrazione dai livelli acquiferi superiori verso quelli più profondi, sebbene in tempi lunghi. I pozzi che raggiungono l'acquifero profondo non sono però condizionati correttamente quindi la pressione piezometrica può essere considerata come la risultante del valore medio delle pressioni presenti nei vari livelli che intersecano. Evidentemente paragonare valori relativi ad anni diversi può portare ad una certa imprecisione, fermo restando l'andamento generale del fenomeno.

Il gradiente idraulico, mediamente dell'1,2‰, conferma una buona omogeneità del materiale acquifero seppure con alcune eccezioni. Nell'area compresa tra gli abitati di Baratili S. Pietro e Zeddiani i valori oscillano tra 4,8‰, e 5‰, mentre ad E di Zeddiani, in località S'Ena Manna, il valore più alto riscontrato (5,7‰) è da attribuirsi, più che ad una diminuzione della permeabilità con conseguente diminuzione della sezione di deflusso, ad un innalzamento del substrato costituito dalle andesiti affioranti poco più a NE. Tra lo Stagno di Cabras ed il Golfo di Oristano la falda è inglobata nel livello sabbioso del subsistema di Cala Mosca (PVM1). Qui non è stato possibile tracciare le isofreatiche perché la falda, a causa degli eccessivi emungimenti, è notevolmente depressa e non supera mediamente i 30 cm.

Nel settore sud-orientale della pianura alluvionale le falde si rinvencono a profondità variabile e sono spesso artesiane. La difficoltà riscontrata nel correlare i vari orizzonti acquiferi, anche in pozzi vicini tra loro, è dovuta alla discontinuità sia orizzontale sia verticale dei depositi esaminati, ma in parte è da attribuire alle inesattezze contenute nelle stratigrafie che si riferiscono a trivellazioni eseguite in periodi diversi.

Sulla base dei livelli rilevati si sono disegnate le isopiezometriche dell'acquifero profondo nell'area a S di Palmas Arborea, mentre si sono tralasciati i dati dei pozzi più prossimi alla città di Oristano perché gli intensi e continui emungimenti rendono difficile il rilevamento delle piezometrie. La rappresentazione per quanto approssimata, mette in buona evidenza che la direzione del deflusso è orientata NE-SW verso lo Stagno S. Giusta.

Nell'acquifero quaternario buona parte dell'alimentazione, almeno per ciò che riguarda gli strati superficiali, avviene per infiltrazione diretta. Nel settore più settentrionale un buon apporto è dato dal Montiferru, come dimostrano le emergenze del settore di Narbolia - S. Vero Milis (Foglio 514 "Cuglieri"). Un contributo determinante è da attribuire alle conoidi che si aprono a ventaglio alla base del M. Arci.

Anche nell'acquifero del Campidano è stato accertato un miscelamento con acque di provenienza profonda, non solo nei pressi della Faglia del Sinis ma anche in pozzi distanti alcuni chilometri, come nel caso del pozzo 104 poco a N del N.ghe Oru Simbula in cui è stata misurata una temperatura di 22°C (CARBONI et alii, 2002).

Una certa quota dell'alimentazione è poi da attribuire ai corsi d'acqua. A questo proposito, nello studio già citato della CASMEZ (1984b), una valutazione di tale frazione, eseguita utilizzando, quando possibile, misure dirette ed in altri casi applicando l'equazione di DARCY (1856), ha quantificato che il contributo del Fiume Tirso all'alimentazione della falda ammonterebbe a 15×10^6 mc/anno.

Il torrente tributario del Riu Merd'e Cani (vi si immette presso Isca Manna), immissario dello Stagno S. Giusta, fornirebbe per sei mesi all'anno e per una lunghezza di 3 km, 100 l/s, pari a $1,5 \times 10^6$ mc/anno (CAS.MEZ., 1984b).

Nell'area in esame le perforazioni sono numerose, sia nell'acquifero del Campidano sia nell'acquifero del Sinis.



Per quanto attiene all'area campidanese i parametri idrodinamici sono stati dedotti in parte dai pozzi del progetto CASMEZ, in cui erano state eseguite prove di emungimento, ma nella maggior parte dei casi si è fatto ricorso al metodo delle portate specifiche.

In genere il complesso alluvionale ha mostrato valori di trasmissività superiori a 10^{-3} mq/s. Considerando le diverse località con maggior dettaglio si sono determinate le seguenti trasmissività (T):

- a Zeddiani la $T=1,0 \times 10^{-3}$ mq/s, con una potenza dell'acquifero di 10,50 m;
- a Donigala Fenughedu la $T=1,7 \times 10^{-3}$ mq/s, con un acquifero di 8 m di potenza;
- nel territorio di Vivaio S. Quirico (ad E di Oristano) dove si sono rilevati valori che vanno da $8,6 \times 10^{-4}$ a $1,2 \times 10^{-3}$ mq/s, anche gli spessori dell'acquifero presentano notevoli variazioni con un minimo di 3 ed un massimo di 23 m;
- a Pardu Accas la potenza dell'acquifero è di 45 m ed il valore della $T=6,6 \times 10^{-4}$ mq/s;
- a Pardu Nou la $T=1,1 \times 10^{-4}$ mq/s è rilevata in un acquifero potente solo 3,5 m;
- nell'area circostante la città di Oristano si sono ricavati valori piuttosto eterogenei dei parametri idrodinamici, si passa infatti da un massimo di $T=1,5 \times 10^{-2}$ ad un minimo di $T=7,9 \times 10^{-4}$ mq/s, ai quali corrisponde una potenza dell'acquifero che oscilla tra 19,50 m e 45 m;
- il pozzo 6 realizzato dalla CASMEZ, ubicato nell'Azienda Agricola Universitaria (località Massidda) ha una profondità di 152 m, lo spessore dell'acquifero saturo è 117 m, mentre la trasmissività è pari a $2,5 \times 10^{-3}$ mq/s e la permeabilità a $2,1 \times 10^{-4}$ m/s;
- in prossimità di Santa Giusta il parametro della trasmissività è molto omogeneo, infatti varia da $8,0 \times 10^{-3}$ a $2,0 \times 10^{-4}$ mq/s ed altrettanto omogeneo è lo spessore, pari a 26 m;
- nell'agro di Palmas Arborea, la trasmissività oscilla da $3,0 \times 10^{-4}$ a $9,1 \times 10^{-4}$ mq/s con un acquifero di spessore pari a 14÷15 m;



9.3 C Il bilancio idrogeologico

Le valutazioni riportate e utilizzate per il calcolo della lama d'acqua affluita sono state eseguite con riferimento a numerose stazioni pluviometriche per lo più presenti all'interno del foglio 528 "Oristano": Riola Sardo (9 m s.l.m.), Cabras (9 m s.l.m.), Simaxis (17 m s.l.m.), Oristano (12 m s.l.m.), S. Giusta (10 m s.l.m.), Sassu (idrovara) (5 m s.l.m.), Cantoniera S. Anna (12 m s.l.m.); le due stazioni situate appena fuori del Foglio sono state adottate per una miglior applicazione del metodo dei topoieti, anche se, data l'uniformità delle altimetrie, si sarebbe potuto utilizzare il metodo della media aritmetica.

La lama d'acqua affluita calcolata su un periodo di 40 anni è di 609,15 mm. La sola stazione termometrica all'interno dell'area, attiva da un periodo di tempo sufficiente avere un dato statisticamente valido, è quella di S. Giusta; la temperatura media su quarant'anni è 16,7°C.

Considerando l'uniformità altimetrica della zona e che le variazioni di temperatura in un'area di estensione limitata dipendono quasi esclusivamente dall'altitudine, il dato può essere assunto come valido su tutto il territorio.

Il calcolo dell'evapotraspirazione reale, determinato secondo la formula di TURC (1955) applicata con la modifica di SANTORO (1970), porta ad un valore di 459,9 mm.

Utilizzando la metodica proposta da THORNTHWAITE (1957) si perviene ad un valore molto simile, pari a 445,3 mm.

Agli apporti naturali vanno aggiunti quelli dovuti all'irrigazione, in quanto gran parte del territorio è servita da una fitta rete di canali gestita dal "Consorzio di Bonifica del Campidano di Oristano". Se si tiene conto che una buona percentuale delle coltivazioni sono costituite da risaie, si può ammettere che l'acqua d'irrigazione riesca a coprire il deficit di evapotraspirazione (differenza tra evapotraspirazione potenziale e reale).

Secondo i dati forniti dal Consorzio vengono erogati 119.855.067 mc in 5 anni su una superficie irrigua di 311,47 ha. La superficie sulla quale insiste l'intera rete irrigua è molto estesa ed è stata valutata in 222 kmq. Sulla base di questi dati la lama d'acqua dovuta all'irrigazione ammonta a 540 mm annui. Gli apporti totali sono perciò pari a 1.155,81 mm. Le perdite calcolate tenendo conto degli apporti dovuti all'irrigazione sono risultate di 844,2 mm, valore proporzionale all'aumento degli afflussi.

9.4 D Caratteri idrografici ed idrogeologici di dettaglio per l'area in esame

Lo stralcio cartografico seguente riporta le indicazioni della tavola 27 "Schema idrogeologico del Foglio 528 "Oristano".

Pur risultando esterna alla direttamente compresa all'interno del foglio 528, l'area esame appartiene allo stesso complesso idrogeologico delle unità con permeabilità medio-alta (campitura rosa) e dell'unità con permeabilità medio-bassa (campitura marrone), essendo anch'essa posta al passaggio fra l'unità litologica delle alluvioni terrazzate pleistoceniche (PVM2a) e l'unità delle alluvioni oloceniche (b_n e b).



Entrambe le unità idrogeologiche sono interessate dalla presenza della falda idrica sotterranea individuata dalle isopieze relative all'acquifero superficiale del Campidano (in blu) riportate nello stralcio cartografico seguente (fig. 10).

Sulla base delle quote rappresentate e della quota topografica di riferimento per l'abitato di Zerfaliu si ritiene che la falda idrica subsuperficiale possa svilupparsi entro i primi 4÷6 metri di profondità rispetto alla quota del piano campagna.

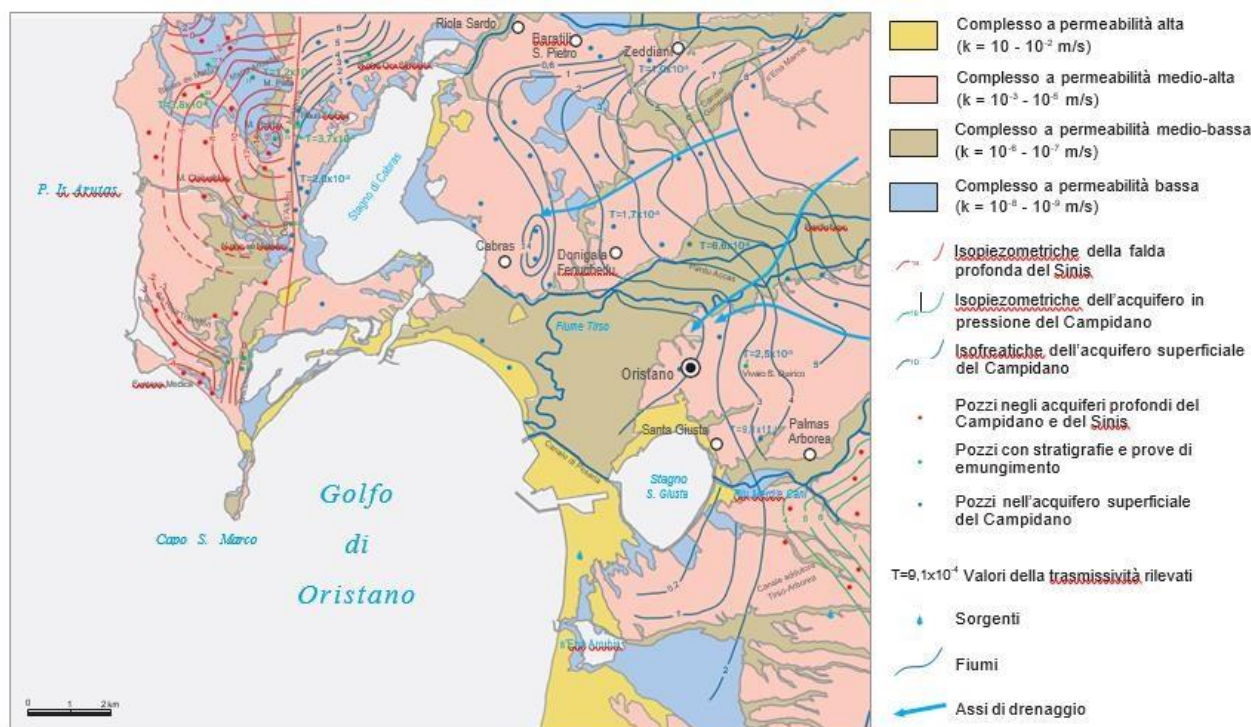


Figura 10 – Carta idrogeologica del settore ad est di Oristano lungo la piana del Fiume Tirso

L'analisi idrogeologica del settore ha portato alla suddivisione di quattro complessi idrogeologici in funzione del grado di permeabilità che li caratterizza:

- permeabilità alta;
- permeabilità medio-alta;
- permeabilità medio-bassa;
- permeabilità bassa.

Nel settore di Zerfaliu le litologie differenziate sono riferibili a due differenti complessi idrogeologici:

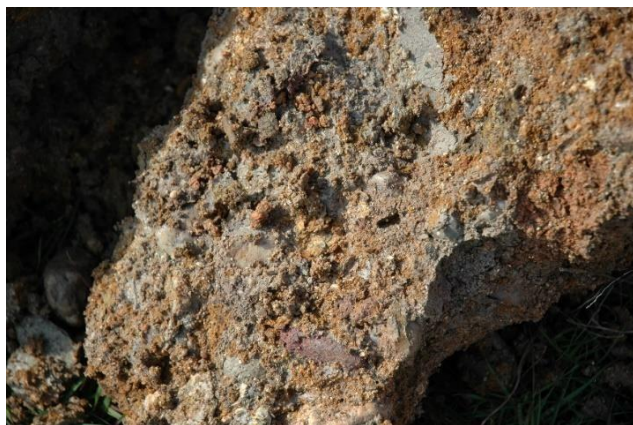
- complesso a permeabilità medio-alta $K=10^{-3} \div 10^{-5}$ m/s
- complesso a permeabilità medio-bassa $K=10^{-6} \div 10^{-7}$ m/s

A completamento dei dati bibliografici, si riportano alcuni dati relativi a precedenti attività di indagini eseguite mediante la realizzazione di pozzetti geognostici al fine di illustrare la composizione e l'assortimento delle componenti dei depositi alluvionali presenti all'interno della piana alluvionale di Fiume Tirso.



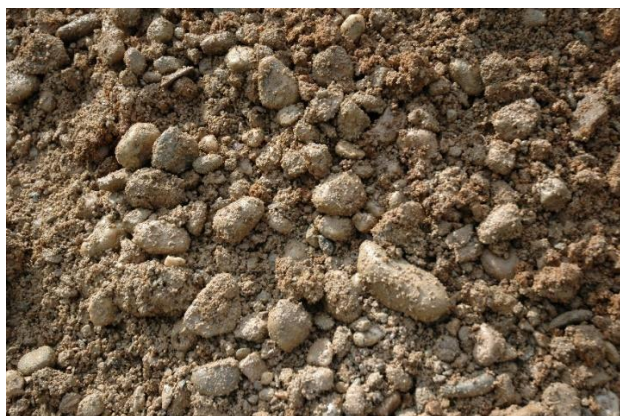
La formazione superficiale in cui si sviluppa l'acquifero superficiale del Campidano è costituita dalle alluvioni recenti e antiche, rappresentate nel settore da depositi clastici contraddistinti da una permeabilità per porosità più o meno elevata in ragione della quantità di frazione argillosa presente nella matrice.

L'unità delle alluvioni antiche è un deposito alluvionale con composizione granulometrica molto variabile, da argilloso-sabbiosi con ciottoli (foto 3), o con prevalente scheletro grossolano (foto 4), con abbondanti elementi paleozoici, più o meno arrotondati, rappresentati da ciottoli e di quarzo e di metamorfiti, con $\varnothing$ che supera frequentemente i 5÷7 cm. Le sabbie sono grossolane e insieme alla limitata frazione argillosa, formano la matrice del sedimento. La particolare colorazione dell'argilla, nelle tonalità marroncina e rossiccia, consente la differenziazione dell'unità in due termini caratterizzati da differenti proprietà geotecniche; infatti il litotipo rossastro (foto 5), particolarità probabilmente dovuta all'oscillazione della falda e alla conseguente ossidazione dei minerali ferrosi, denota un maggiore grado di addensamento rispetto agli analoghi termini più bruni e quindi migliori proprietà geotecniche. All'interno della compagine ciottolosa, talvolta, sono comprese sabbie medio-grosse, addensate, omogenee.



Deposito alluvionale fango sostenuto

E' evidente la prevalente matrice argillosa-sabbiosa che ingloba elementi ciottolosi di piccole dimensioni ($\varnothing$ 3÷4 cm), conferendo elevata coesione al deposito



Deposito alluvionale ciottoloso ad elementi arrotondati

In corrispondenza del pozzetto P3 è presente sul fondo dello scavo un livello fortemente ciottoloso, con elementi grossolani, molto arrotondati. La quasi totale assenza di matrice determina una bassissima stabilità del fronte dello scavo al di sotto del livello di falda



Deposito alluvionale eterometrico ed eterogeneo
La presenza di abbondante matrice fine e di un'adeguata percentuale di scheletro ciottoloso determina elevata stabilità del fronte di scavo e buone proprietà geotecniche



10 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Al fine di verificare le caratteristiche sismiche del territorio in esame si è proceduto, inizialmente, alla determinazione della sismicità storica dell'area mediante la raccolta ed analisi dei dati sismici esistenti con riferimento ai principali database disponibili alla consultazione pubblica.

10.1 Definizione della sismicità storica del territorio

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali.

A tale scopo sono stati consultati i seguenti database:

- Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 o con magnitudo (M_w) ≥ 4.0 d'interesse relativi al territorio italiano.
- DataBase Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima (I_{max}) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

La finestra cronologico-temporale coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.

In figura 11 è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi alla regione Sardegna, mentre in figura 12 è riportata una lista di tutti gli eventi sismici catalogati.

In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta una sismicità storica molto bassa. Il catalogo CPTI15 riporta solo due eventi di magnitudo $\leq 5M_w$ (1924 e 1948). In occasione dell'evento del 1948 sono state osservate intensità pari a 6MCS in alcune località della Sardegna Nord-Occidentale.

I terremoti più recenti (avvenuti nel 2000, 2004 e 2006), tutti di $M_w < 5$ e localizzati in mare, hanno prodotto in terraferma effetti di modesta intensità.

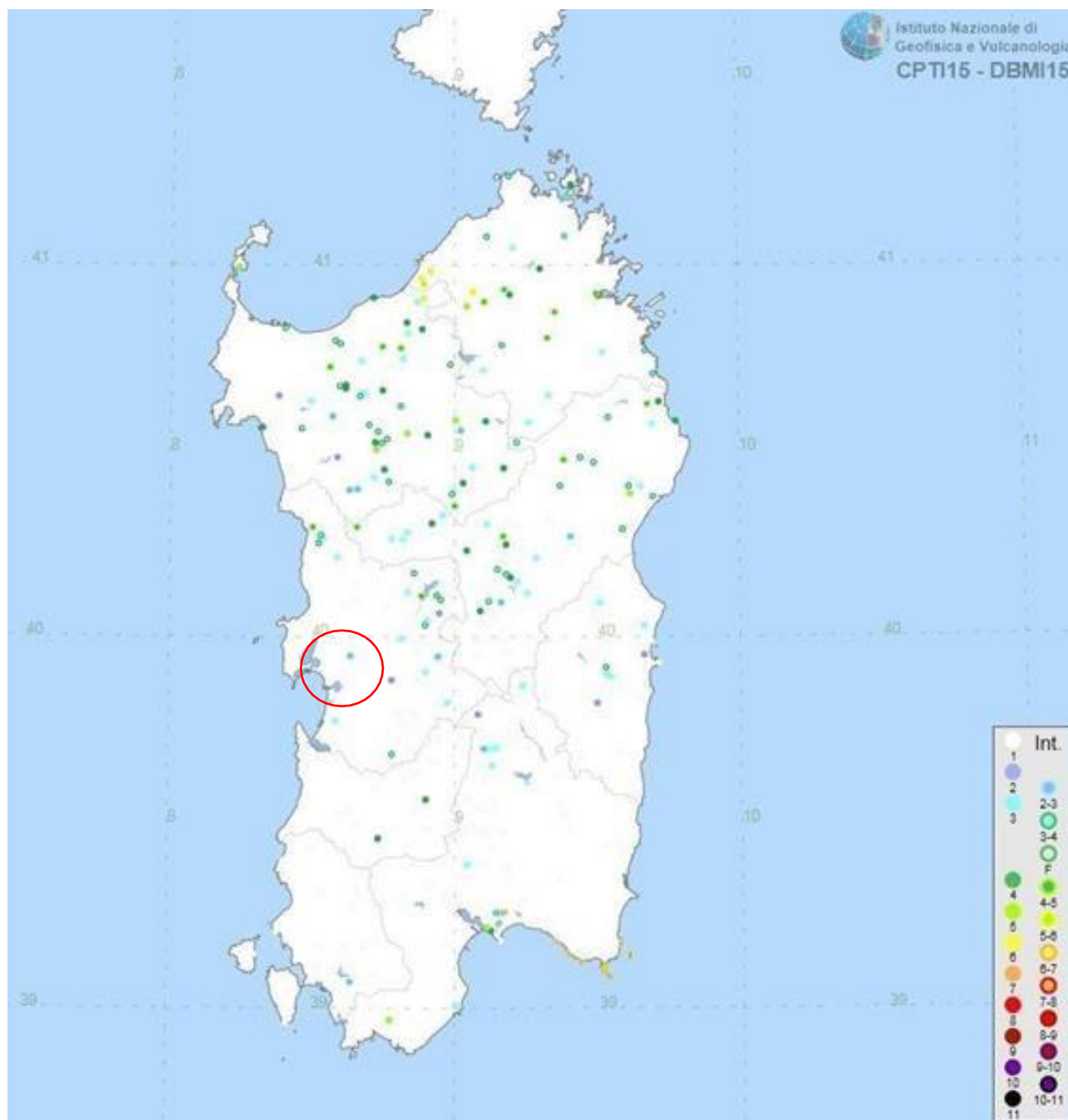


Figura 11 - Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici avvenuti in Sardegna
(fonte: catalogo CPTI15, redatti da INGV)



COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremoti	COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremoti	COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremoti
Aggius	OT	6	2	Gavoi	NU	4	1	Osilo	SS	3	1
Aglientu	OT	3-4	1	Gergei	CA	2-3	1	Osini Nuova	OG	2	1
Aidomaggiore	OR	3-4	1	Ghilarza	OR	3	1	Ossi	SS	3-4	1
Alà dei Sardi	OT	3	3	Giave	SS	4	2	Ottana	NU	4	2
Alghero	SS	4	1	Giba	CI	2-3	1	Ovodda	NU	2-3	1
Arborea	OR	3	1	Girasole	OG	2	1	Ozieri	SS	5	1
Ardara	SS	3-4	1	Ilbono	OG	3	2	Padria	SS	2-3	1
Arzachena	OT	2-3	1	Illorai	SS	4-5	1	Padru	OT	3	2
Arzana	OG	3-4	2	Ittireddu	SS	4	2	Palau	OT	2-3	1
Asinara (Fornelli)	SS	5	1	Ittiri	SS	2-3	1	Pattada	SS	4	2
Austis	NU	4	1	La Maddalena	OT	4	2	Perfugas	SS	4	1
Badesi	OT	6	1	Laerru	SS	3	1	Ploaghe	SS	4	1
Banari	SS	3-4	1	Lei	NU	4	1	Porto Torres	SS	3-4	1
Baunei	OG	3	3	Loculi	NU	3-4	3	Posada	NU	4	1
Benetutti	SS	4	2	Lodè	NU	3-4	2	Pozzomaggiore	SS	2-3	1
Berchidda	OT	3-4	2	Lodine	NU	3	1	Pula	CA	3	2
Bessude	SS	3-4	1	Lula	NU	3-4	2	Putifigari	SS	3-4	1
Bidoni	OR	3-4	1	Luogosanto	OT	3	1	Romana	SS	2	1
Birori	NU	3	1	Luras	OT	4-5	1	Ruinas	OR	3	1
Bitti	NU	4-5	3	Macomer	NU	3	1	Samugheo	OR	2-3	1
Bolotana	NU	3	1	Magomadas	OR	3	1	San Teodoro	OT	3-4	2
Bonnanaro	SS	3-4	1	Mamoiada	NU	3	3	Sanluri	VS	4	1
Bono	SS	4	1	Mandas	CA	3	2	Sant'Antonio	OT	4	1
Bonorva	SS	3-4	1	Martis	SS	4-5	1	Santa Lucia	NU	4	1
Bortigali	NU	3	1	Modolo	OR	3-4	1	Santa Maria Coghinas	SS	3	1
Bortigiadas	OT	5	1	Mogoro	OR	3-4	1	Santa Teresa Gallura	OT	3-4	2
Borutta	SS	3-4	1	Monastir	CA	3	1	Sassari	SS	4-5	4
Bosa	OR	4-5	1	Mon serrato	CA	2-3	1	Scano di Montiferru	OR	3	1
Buddusò	OT	3	3	Monti	OT	4-5	2	Sennori	SS	3-4	1
Budoni	OT	3-4	2	Mores	SS	5	1	Serri	CA	3	1
Bultei	SS	3	2	Muntiggioni	OT	5-6	1	Seulo	CA	3	1
Bulzi	SS	4	2	Muros	SS	4	1	Siamaggiore	OR	2-3	1
Burgos	SS	3	1	Neoneli	OR	2	1	Sindia	NU	4-5	1
Busachi	OR	3-4	1	Nughedu di San Nicolò	SS	2-3	1	Siniscola	NU	3	1
Cagliari	CA	5	6	Nughedu Santa Vittoria	OR	3-4	1	Sorso	SS	3-4	1
Calangianus	OT	4	1	Nulvi	SS	4-5	1	Tadasuni	OR	4-5	1
Cargeghe	SS	4	1	Nurallao	CA	2	1	Telti	OT	4-5	1
Castelsardo	SS	4	2	Nureci	OR	3	1	Tempio Pausania	OT	4-5	1
Cheremule	SS	5	2	Olbia	OT	4-5	1	Teti	NU	3-4	1
Chiaromonti	SS	3	1	Oliena	NU	2-3	3	Teulada	CA	5	2
Codrongianos	SS	3	1	Ollolai	NU	3-4	1	Thiesi	SS	4	1
Convento di Bonannaro	CA	4	1	Olmedo	SS	2	1	Torpè	NU	4-5	3
Cossoine	SS	3	1	Olzai	NU	3-4	2	Tresnuraghes	OR	3-4	1
Dorgali	NU	3-4	2	Onani	NU	3-4	1	Trinità d'Agultu e Vignola	OT	6	1
Elini	OG	3	1	Onifai	NU	3	2	Tula	SS	3-4	1
Escolca	CA	3	1	Oniferi	NU	4-5	2	Ulà Tirso	OR	3	1
Esporlatu	SS	3-4	1	Orani	NU	4	2	Uri	SS	3	1
Florinas	SS	3-4	2	Orosei	NU	3-4	3	Urzulei	OG	3	3
Flussio	OR	3	1	Orotelli	NU	3	2	Viddalba	SS	6	1
Fonni	NU	3	2	Orune	NU	3-4	1	Villacidro	VS	4	1
Fordongianus	OR	3	1	Oschiri	OT	3	2	Villaurbana	OR	2	1
Galtelli	NU	5	3	Osidda	NU	3-4	3				

Figura 12 - Elenco degli eventi sismici riportati nel catalogo CPTI15 relativi alla Regione Sardegna

Il database DBMI15 archivia gli eventi sismici considerando i dati di intensità macrosismica. L'insieme di questi dati consente di elaborare la sismicità storica delle località italiane, ossia consente di definire un elenco degli



effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di eventi sismici.

In figura 13 è mostrata la distribuzione degli eventi sismici presenti nell'intero DBMI15, in particolare si nota come nell'area di interesse (cfr. ellisse rosso) sono presenti un esiguo numero di eventi sismici nell'intervallo di definizione del catalogo, sempre caratterizzati da intensità e magnitudo modeste (colorazione verde).

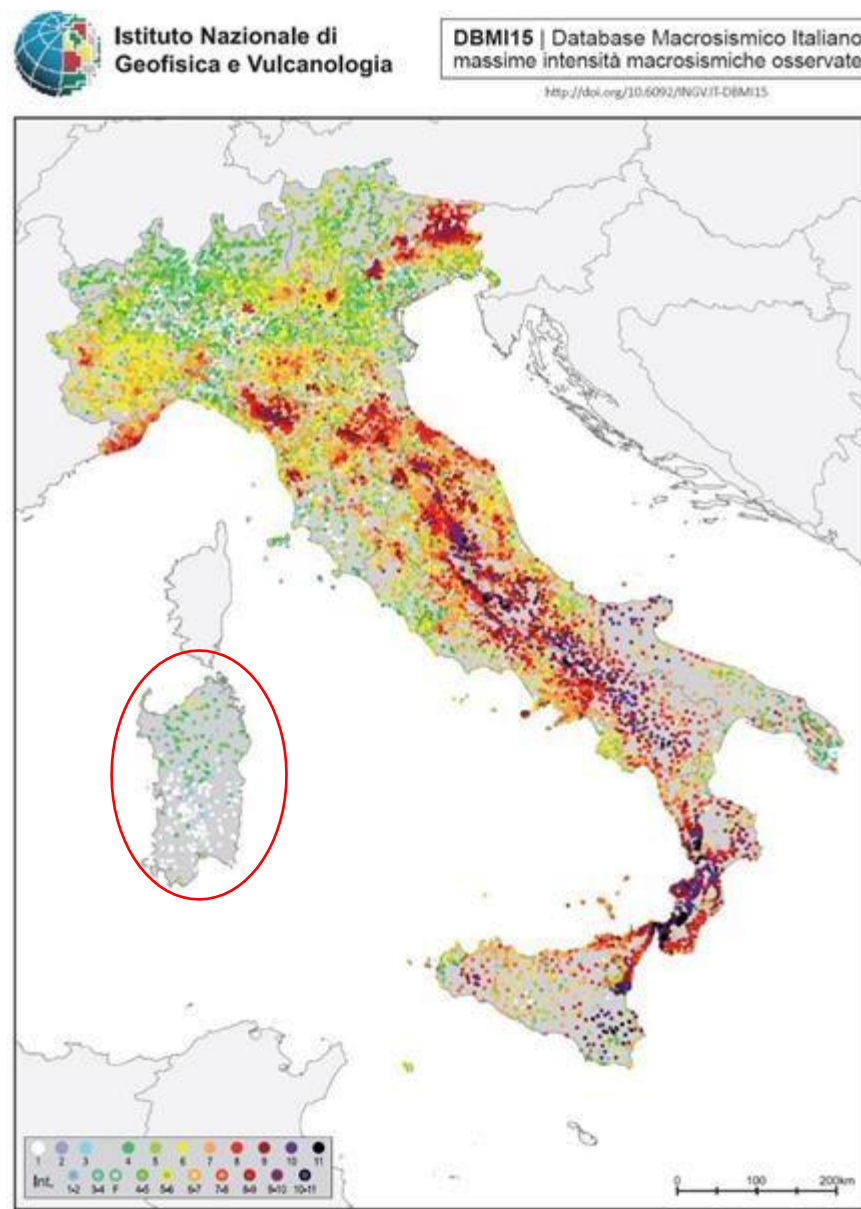


Figura 13 - Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici italiani riportati nel DBMI15
(fonte: INGV)



In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 (fig. 11) e dal database DBMI15 (fig. 13), dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

10.2 Caratterizzazione sismogenetica

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata considerando la recente Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9, prodotta dall'INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004). Questa zonazione è considerata, nella recente letteratura scientifica, il lavoro più completo e aggiornato a livello nazionale.

Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9 si può evidenziare che la regione interessata dai tracciati in progetto non è caratterizzata da nessuna area sorgente di particolare rilievo.

Studi più recenti per la valutazione del rischio sismico e della pericolosità sismica nazionale (Stucchi et al., 2007) hanno prodotto risultati in accordo a quelli evidenziati dalla ZS9 in merito alla difficoltà di individuare per il territorio sardo una mappa delle sorgenti sismogenetiche a causa della bassa sismicità che caratterizza la regione.

Il documento "Task 1 - Completamento delle elaborazioni relative a MPS04 - Deliverable D1 Valutazione standard (10%, 475 anni) di amax (16mo, 50mo, e 84mo percentile) per le isole rimaste escluse nella fase di redazione di MPS04" redatto a cura di M. Stucchi, C. Meletti, V. Montaldo et alii dell'INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, riporta la mappatura del parametro "amax" ovvero dell'accelerazione sismica massima.

La Sardegna è indicata come un caso a sé stante per la quale, tenendo conto che la sismicità è bassa, anche a livello strumentale, e che i dati storici non segnalano danni significativi, si ritiene ragionevole assumere per l'intero territorio un valore di default amax = 0.050 g.

Si riporta di seguito (fig. 14) uno stralcio della tabella 12 del testo originario in cui si riassumono i valori dei principali parametri sismici analizzati per l'Isola.

1	2	5	6	8	9	12	13
N. nodo	Località	Prop. di riclass. (1998)	amax in MPS04 50mo (g)	Zona sismica secondo OPCM 3274	Valore di ancoraggio secondo OPCM 3274	Valore di amax adottato (g)	Spettro suggerito
	Sardegna Nord	NC	<0.025	4	0.05	0.05	zona 4
	Sardegna Sud	NC	<0.025	4	0.05	0.05	zona 4

Figura 14 - Riepilogo dei dati relativi alle isole: valori di amax proposti da MPS04, da questo studio, e valori finali adottati; spettri suggeriti (cfr. tabella 12 testo originale – Stucchi et al. 2007)

Nel 2012 si è proceduto ad un aggiornamento della mappa del rischio e della pericolosità sismica e vulcanica e sono stati emanati i criteri per la nuova classificazione sismica del territorio nazionale. Tutti i comuni della Sardegna sono classificati in zona 4 (a sismicità bassa).



10.3 Definizione della Pericolosità Sismica di Base (PSB)

La valutazione della sismicità del territorio in esame è espressa, in prima battuta, dalla determinazione della Pericolosità Sismica di Base (o di sito).

10.3.1 *Analisi della Pericolosità Sismica di Base (PSB)*

10.3.1.1 **Definizione della PSB**

A partire dal D.M. 14/01/2008 (NTC2008) è stato introdotto il concetto di PSB in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La PSB è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento VR, come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Elementi di calcolo per la valutazione della PSB

La PSB costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e agli impianti connessi.

Per la valutazione della PSB le NTC2018 definiscono le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento P nel periodo di riferimento VR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per la determinazione dei suddetti parametri (a_g , F_o e T_c^*), necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n. 29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno).

Il reticolo di riferimento delle NTC2018, in accordo con la precedente definizione del 2008 suddivide l'intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 Km per 10 Km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche (Tabella A1 delle NNTC 2008; <http://esse1.mi.ingv.it/>).

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (T_r) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

- a_g accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale (espressa in $g/10$);
- F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;



- T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in s).

Da un punto di vista normativo, pertanto, la PSB di un sito dipende dalla posizione dell'area in cui viene realizzata l'opera di riferimento rispetto ai nodi del suddetto reticolo.

Le accelerazioni orizzontali massime attese al bedrock (ag) non sono più valutate genericamente sulla base dell'appartenenza del comune in cui realizzare l'opera ad una zona sismica, ma sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove sarà realizzata l'opera.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (Tr) considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile.

Per un qualunque punto del territorio, non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto (ag, Fo, T_c^*) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

10.3.1.2 Valutazione dell'azione sismica di progetto

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla PSB del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

Le NTC 2008 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (Tr) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (PVr) nel periodo di riferimento dell'opera (Vr).

Il periodo di riferimento dell'opera (Vr) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (Vn), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso (Cu), funzione della Classe d'uso della costruzione (cfr. paragrafo 2.4.3 delle NTC 2008).

Definizione degli stati limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) in funzione dell'azione sismica

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE) comprendono:

- Stato Limite di Operatività (SLO): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- Stato Limite di Danno (SLD): a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidezza nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli STATI LIMITE ULTIMI (SLU) comprendono:

- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV): a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si



associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;

- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC): a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali. Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella tabella seguente (fig. 15).



Stati Limite		PVR - Probabilità di superamento del periodo di riferimento VR
Stato Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stato Limite Ultimo	SLV	10%
	SLC	5%

Figura 15 - Probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale al bedrock in funzione dello stato limite considerato (Tabella 3.2.I delle NTC 2008)

10.3.1.3 Calcolo del Tempo di Riferimento (T_R) dell'azione sismica

Si considera una categoria di opera ordinaria con vita nominale VN pari a 50 anni e una Classe d'uso II. Ciò supposto si ottiene una Vita di Riferimento VR pari a 100 anni.

Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (Pvr) nel periodo di riferimento dell'opera (Vr) sono funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato (cfr. § 7.1 delle NTC 2008).

Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori dei periodi di ritorno (T_R) per i due stati limite considerati mediante la formula:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_V)$$

10.3.1.4 Categorie sismiche di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio VS.

I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio VS,eq (in m/s) come previsto dalle NTC_2018 (fig. 16).

Categoria A
Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
Categoria B



Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
Categoria C
Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
Categoria D
Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s.
Categoria E
Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 16 – Categorie di sottosuolo da D.M. 17.01.2018

La norma vigente individua, pertanto, cinque classi di riferimento, in funzione della natura e di specifici parametri di comportamento meccanico dei terreni. Tale comportamento induce modifiche sul segnale sismico con variazioni dell'accelerazione di picco e del contenuto in frequenza.

Per la determinazione della velocità di propagazione delle onde sismiche si è fatto riferimento ai risultati di prove M.A.S.W. riferite a contesti stratigrafici analoghi a quello dell'area in esame.

I risultati ottenuti dalle prove hanno permesso di verificare valori di velocità $V_{S,eq}$ (in m/s) compresi nell'intervallo 200÷348 m/s. Pertanto, sulla base della classificazione prevista dalle NTC_2018 (fig. 16) si ottiene una categoria sismica C così definita:

“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”.

Una volta definita la categoria sismica del terreno si possono utilizzare i valori riportati nella tabella 3.2.V (NTC_2018) per la definizione dei parametri (fig. 17):

S_s Coefficiente di amplificazione stratigrafica (necessario per calcolare l'accelerazione di picco al suolo (ag_s o PGA));

C_c Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo C_c , necessario per il calcolo del periodo TC e quindi della velocità orizzontale massima attesa al suolo (V_g o PGV).



Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Figura 17 - Definizione dei parametri sismici SS e CC (NTC2018 - Tabella 3.2.IV)

10.3.1.5 Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione riportata nella tabella 3.2.V delle NTC2018 (fig. 18).

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Figura 18 – Valori del Coefficiente di amplificazione topografica ST (da Tabella 3.2.V - D.M. 17.01.2018)

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Il coefficiente di amplificazione topografica S_T e il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s sono necessari per il calcolo del valore di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo (PGA).

La stima dell'accelerazione di picco in superficie a_{gS} (PGA) lungo il tracciato si ottiene dal prodotto tra il fattore di risposta sismica locale (S) e l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo rigido a_g :

$$a_{gS} = a_g \times S$$

Il coefficiente S , che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, può essere calcolato mediante la relazione:

$$S = S_s \times S_T$$

in cui S_s è il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed S_T è il coefficiente di amplificazione topografica.

10.4 Determinazione della Risposta Sismica Locale (RSL)

La normativa italiana, come del resto la normativa europea e i più recenti codici internazionali, ha modificato l'approccio alla valutazione della sismicità di un'area. Per la suddetta valutazione si procede a partire dall'osservazione del fenomeno sismico "dal basso" e "a priori":



- dal basso poiché si osserva direttamente il moto sismico nel suo propagarsi dal sottosuolo (bedrock) verso la superficie libera;
- a priori poiché la pericolosità sismica di base tiene conto esclusivamente del movimento sismico atteso (accelerazioni), prima che esso produca i suoi effetti sull'ambiente fisico e costruito.

In definitiva, identificati i valori delle accelerazioni massime attese al suolo rigido (bedrock), è necessario valutare la loro variazione (in generale amplificazione) negli strati più superficiali (risposta sismica locale).

Le norme di riferimento (NTC 2008) definiscono la risposta sismica locale (S) di un sito attraverso la stima di due parametri:

- Categoria di Sottosuolo;
- Condizione Topografica.

Di seguito si riporta la verifica di calcolo per la determinazione della Risposta Sismica Locale (RSL) nell'area di Zerfaliu oggetto dell'intervento.



10.4.1 Premessa

Per la valutazione della Risposta Sismica Locale si è proceduto alla localizzazione del sito al fine di verificare l'eventuale esistenza di nodi della rete sismica nazionale cui potersi riferire per la misura dei parametri sismici di calcolo.

10.4.1.1 Localizzazione sito in esame

Descrizione sito : VIA NUOVA 3, 09070 Zerfaliu Oristano

Coordinate del sito

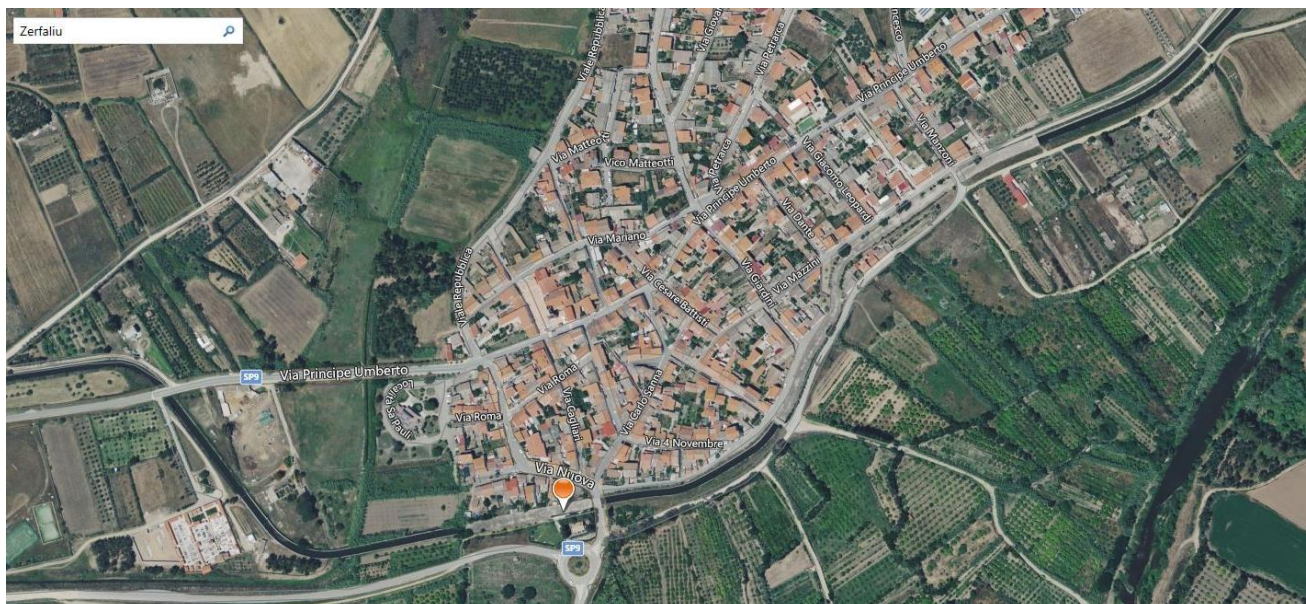
Latitudine (WGS84) : 39°.9567

Longitudine (WGS84) : 8°.7074

Latitudine (ED50) : 39°.9577

Longitudine (ED50) : 8°.7084

Altezza s.l.m. : 18.00 m



Sito: VIA NUOVA 3, 09070 Zerfaliu Oristano - **Coordinate sito (Datum ED50):** Longitudine = 8.7084°; Latitudine = 39.9577°; Altitudine = 18.00 metri s.l.m.

Valori dei parametri ag , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite:

Stato Limite	TR [anni]	ag [g]	F_0	T_c^* [s]
SLO	30	0.019	2.610	0.273
SLD	50	0.024	2.670	0.296
SLV	475	0.050	2.880	0.340
SLC	975	0.060	2.980	0.372

Vita di riferimento V_r per l'azione sismica = 50

10.4.2 Azione sismica

La valutazione delle azioni sismiche sulle strutture viene condotta in relazione ad un periodo di riferimento c che si ricava moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U (§2.4.3 NTC 2018).

Nel caso specifico risulta:

- $V_N = 50$ anni (Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale)
- $C_U = 1.0$ anni (Classe d'uso II §2.4.2 NTC 2018)



- $V_R = 50$ anni

Gli stati limite nei confronti dell'azione sismica, in relazione alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, si dividono in:

Stati limite di esercizio

Stato Limite di Operatività (**SLO**);

Stato Limite di Danno (**SLD**).

Stati limite ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita (**SLV**);

Stato Limite di prevenzione del Collasso (**SLC**).

Per ciascuno degli stati limite considerati viene associata una probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} (Tab. 3.2.I. NTC 2018).

Per ogni valore di P_{VR} viene calcolato il periodo di ritorno medio T_R di un evento avente quell'entità attraverso la seguente relazione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

i valori così ottenuti vengono riportati nella seguente tabella:

Stato limite	P_{VR} [%]	T_R [anni]
SLO	81	30
SLD	63	50
SLV	10	475
SLC	5	975

10.4.3 Pericolosità sismica di base

L'elemento di conoscenza primario per la valutazione delle azioni sismiche in un determinato sito è rappresentato dalla "pericolosità sismica di base". Questa viene espressa, per ogni stato limite, in funzione della probabilità di superamento P_{VR} in termini di spettro di risposta in accelerazione per un suolo di categoria **A**.

I parametri che identificano la pericolosità sismica di base sono:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

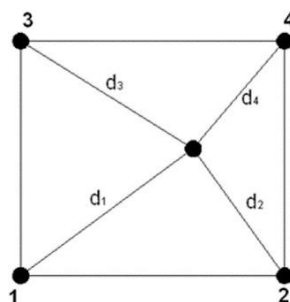
Tali parametri vengono forniti dalla norma (NTC 2018), per diversi periodi di ritorno T_R , su tutto il territorio nazionale in un numero di punti che definiscono un reticolo di riferimento. Pertanto, per ogni punto del territorio nazionale è possibile individuare quattro punti del reticolo in modo da definire una maglia. I parametri sismici di tale punto si ottengono da quelli della maglia attraverso la seguente relazione:



$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^4 \frac{1}{d_i}}$$

dove:

- p : generico parametro (a_g, F_0, T_C^*) da calcolare per il punto oggetto di studio;
- d_i : distanza tra il punto oggetto di studio e l' i -esimo punto della maglia;
- p_i : valore del generico parametro (a_g, F_0, T_C^*) nell' i -esimo punto della maglia.



Nel caso specifico si ha:

Coordinate del sito

Latitudine (ED50): 39°.9577

Longitudine (ED50): 8°.7084

	Parametri dello spettro di risposta orizzontale			
	SLV	SLC	SLD	SLO
Tempo di ritorno [anni]	475	975	50	30
Accelerazione sismica [g]	0.05	0.06	0.024	0.019
Coefficiente F_0	2.88	2.98	2.67	2.61
Periodo T_C^* [sec]	0.34	0.372	0.296	0.273

Una volta valutati i parametri che definiscono la pericolosità sismica di base è possibile calcolare le ordinate spettrali degli spettri di risposta in accelerazione mediante le seguenti relazioni:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g F_0 \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g F_0 \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g F_0 \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Dove:

F_0 : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;



T_C : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro

$$T_C = T_C^*$$

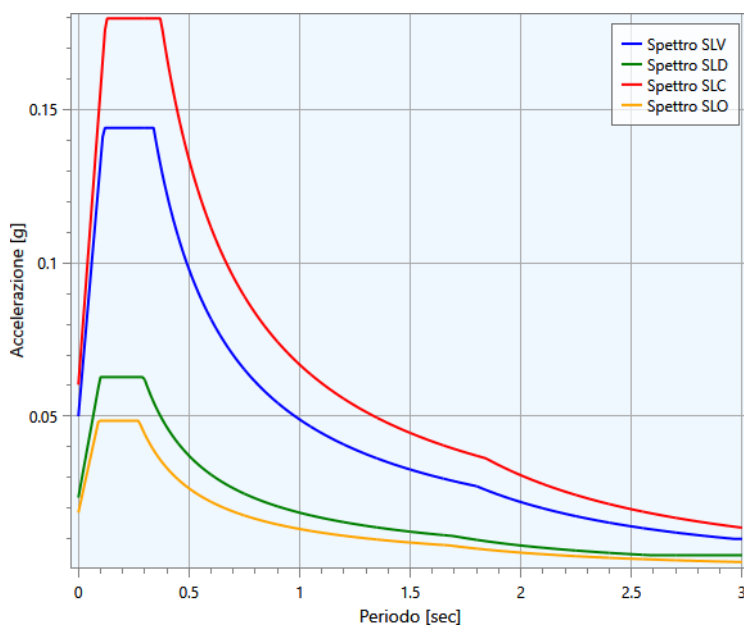
T_B : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;

$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

T_D : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4.0 \frac{a_g}{g} + 1.6$$

Le forme spettrali così valutate vengono riportate per ogni stato limite nella figura seguente.



	Periodi caratteristici dello spettro di risposta orizzontale			
	SLV	SLC	SLD	SLO
$T_B[sec]$	0.113	0.124	0.099	0.091
$T_C[sec]$	0.34	0.372	0.296	0.273
$T_D[sec]$	1.80	1.841	1.694	1.674
C_C	1.00	1.00	1.00	1.00

	Periodi caratteristici dello spettro di risposta verticale			
	SLV	SLC	SLD	SLO
$T_B[sec]$	0.05	0.05	0.05	0.05
$T_C[sec]$	0.15	0.15	0.15	0.15
$T_D[sec]$	1.00	1.00	1.00	1.00
C_C	1.00	1.00	1.00	1.00



11 STABILITÀ GENERALE DELL'AREA IN ESAME

L'area esaminata, in considerazione degli elementi litologici, sismici, morfologici ed idrografici ricavati dalle analisi eseguite, è caratterizzata da assoluta stabilità e, pertanto, l'intervento in progetto è verificato positivamente rispetto alla stabilità dei terreni nel medio e lungo termine.

11.1 Definizione del modello geologico dell'area

Sulla base delle considerazioni riportate in dettaglio nei paragrafi precedenti si definisce il modello geologico per l'area esaminata.

L'area è caratterizzata dalla presenza di un modello geologico definito "a una unità litologica" rappresentata dai depositi alluvionali a componente variabile, da ciottoloso-ghiaiosa a sabbioso-argillosa, riferibile alle alluvioni oloceniche.

L'area è caratterizzata dalla presenza di una falda idrica subsuperficiale, con soggiacenza compresa nell'intervallo di valori 4÷6 metri, sviluppata all'interno dell'acquifero alluvionale olocenico.

Entro la profondità di 10 metri dal piano di calpestio attuale non è presente alcun substrato roccioso.

Non sono stati rilevati elementi di pericolosità o rischio geomorfologico, in accordo con quanto previsto dalla cartografia del PAI Sardegna.

L'area è caratterizzata da elevata stabilità generale e le pendenze sono trascurabili definendo un fattore topografico pari a 1.

11.2 Premessa all'analisi geotecnica dei terreni di fondazione

L'analisi geotecnica è finalizzata alla determinazione delle proprietà geotecniche e geomeccaniche del terreno di fondazione relativamente alla porzione direttamente interessata dalle sollecitazioni derivanti dal nuovo stato tensionale indotto dalle opere in progetto.

Pertanto, dopo aver definito il modello geologico dell'area e aver differenziato le diverse unità litotecniche presenti all'interno della profondità realmente interessata dalla distribuzione delle tensioni indotte dalle strutture in progetto ("volume significativo"), si riporta, per ciascuna unità individuata, il valore dei principali parametri geotecnici che verranno utilizzati per la valutazione dei valori del massimo carico ammissibile (verifica allo Stato Limite Ultimo - SLU) e dei cedimenti (verifica allo Stato Limite di Esercizio - SLE).

È necessario determinare, pertanto, la risposta del terreno alle pressioni applicate definendo la pressione di rottura ultima ed ammissibile ed i cedimenti prodotti dall'applicazione dei carichi in superficie.

In accordo con quanto previsto dalla normativa in materia di terreno di fondazione – D.M. LL.PP. n°47 del 11.03.88 - al punto A.2 delle prescrizioni generali, la caratterizzazione geotecnica del terreno di fondazione è stata eseguita sulla base delle risultanze di una campagna d'indagine geognostica preliminare che ha interessato il terreno di fondazione per una profondità pari a quella di sviluppo del "volume significativo".

11.3 Determinazione del volume significativo del terreno di fondazione e della distribuzione delle tensioni nel sottosuolo

Si tratta di determinare lo spessore del terreno di fondazione interessato dalla distribuzione delle tensioni applicate in superficie. In accordo con quanto stabilito dall'A.G.I. (1977) e proposto da diversi Autori, il "volume



significativo” del terreno è definito dalla profondità alla quale la pressione sul terreno (p_1) è pari al 10% di quella applicata in superficie (p_0). La distribuzione delle tensioni nel sottosuolo è ricavata dall'applicazione della formulazione proposta da Boussinesq. Di seguito si riporta la rappresentazione grafica del bulbo delle tensioni relativamente a fondazioni isolate o a fondazioni nastriformi (fig. 19).

Per esempio, considerando una fondazione isolata (plinto quadrato), con lato di 2 m, si ottiene una profondità del volume significativo pari a 4.4 m.

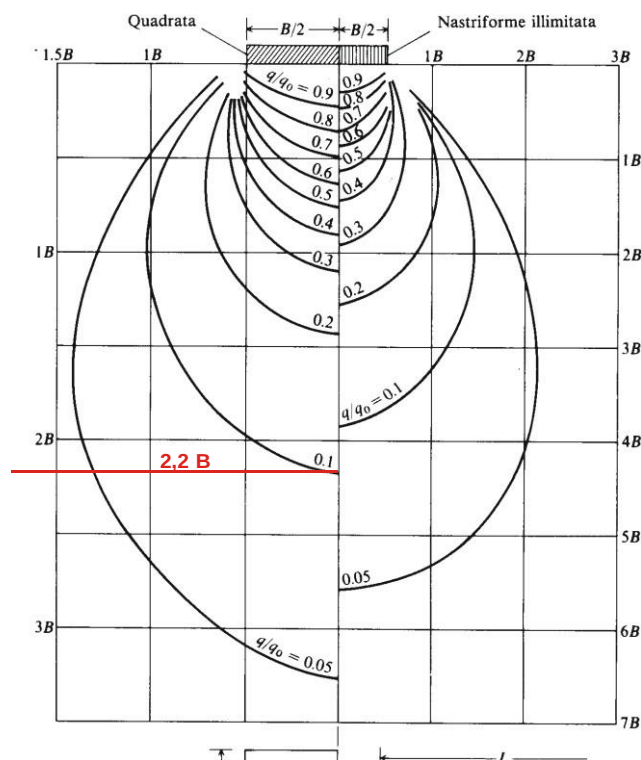


Figura 19 - Distribuzione delle tensioni nel sottosuolo per fondazione quadrata

11.4 Il progetto della fondazione

Il ponte in progetto è previsto in struttura di legno lamellare in appoggio su un plinto di fondazione che verrà reso solidale in profondità con il terreno di fondazione, tramite un ancoraggio su micropali, al fine di trasferire il carico, peraltro esiguo, ai livelli più consistenti presenti al di sotto dei primi livelli alluvionali meno addensati.

11.5 Modello geologico e geotecnico del terreno di fondazione

Sulla base delle verifiche stratigrafiche e litologiche riportate nella sezione prima relativa allo studio geologico dell'area, in corrispondenza del perimetro di fondazione delle strutture, è stata rilevata una situazione di evidente omogeneità nella distribuzione areale delle unità litologiche differenziate, costituite dalle alluvioni oloceniche.

Il modello geologico ricavato dai dati stratigrafici acquisiti può essere ricondotto ad un modello litologico del tipo a "una unità" rappresentata dai depositi alluvionali olocenici, considerati in presenza della falda.

Da tale modello geologico deriva un modello geotecnico anch'esso "a una unità litotecnica" rappresentata dai depositi alluvionali sabbioso-ghiaiosi, talora con intercalazioni limose-argillose.

11.6 Parametrizzazione geotecnica del terreno di fondazione



Sulla base dei risultati ricavati in precedenti lavori o riportati nella letteratura geotecnica, con riferimento a quanto analizzato nel corso delle indagini eseguite, si è proceduto alla definizione dei parametri geotecnici di calcolo per i litotipi differenziati.

Nella tabella seguente (fig. 20) si riportano schematicamente i valori attribuiti ai principali parametri geotecnici utilizzati nelle successive determinazioni della capacità portante ammissibile (q_{amm}) e dei cedimenti (w).

Descrizione	Peso di volume (kN/mc)	Coesione (kN/mq)	Angolo di attrito interno (°)	Modulo di compressibilità (kN/mq)
<i>Deposito alluvionale olocenico</i> Sabbia con limo e argilla, consistenza variabile da media a bassa. Lo spessore di tale livello è generalmente decimetrico o pluridecimetrico in quanto presente in lenti intercluse all'interno del deposito sabbioso-ghiaioso	18÷19	20-120	20÷24	4000÷8000
<i>Deposito alluvionale olocenico</i> Sabbia con ghiaia e ciottoli, con addensamento da medio a elevato. Lo spessore di tale livello è generalmente plurimetrico, talora con intercalazioni di livelli più fini	19÷20	0-80	30÷34	10000÷22000

Figura 20 – Tabella dei dati geotecnici di riferimento per le verifiche geotecniche con riferimento alle unità litotecniche che definiscono il modello geotecnico del terreno di fondazione



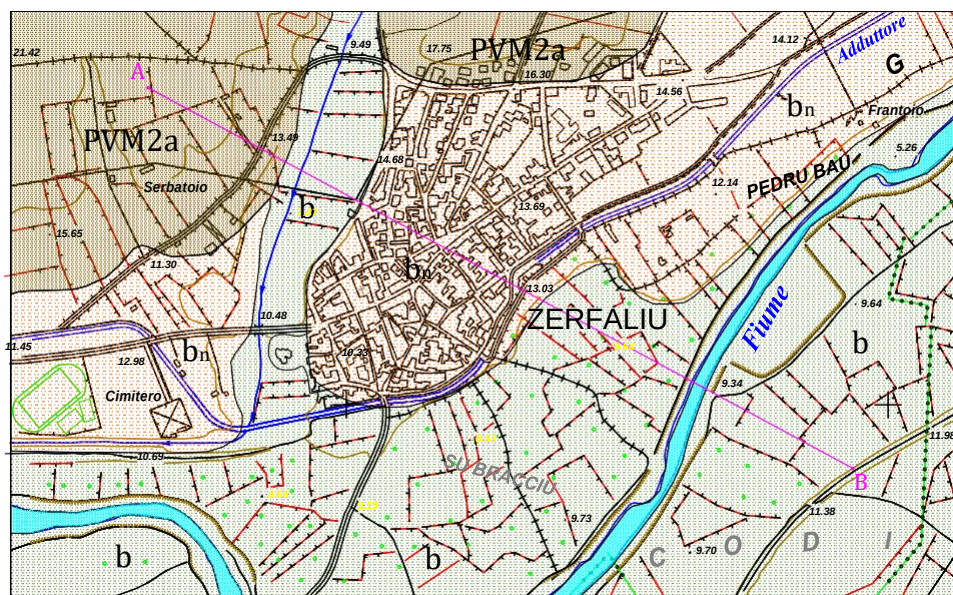
12 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo studio eseguito per la definizione dei caratteri geologici e idrogeologici dell'area interessata dall'intervento in progetto, in corrispondenza dell'abitato di Zerfaliu, ha permesso di definire lo schema stratigrafico di dettaglio del settore d'intervento e l'assetto idrogeologico del settore.

Inoltre, sulla base delle considerazioni riportate, è stato definito il modello geologico per l'area d'intervento e geotecnico, per il terreno di fondazione del ponte pedonale previsto in progetto. Sinteticamente si riportano, di seguito, le seguenti considerazioni conclusive:

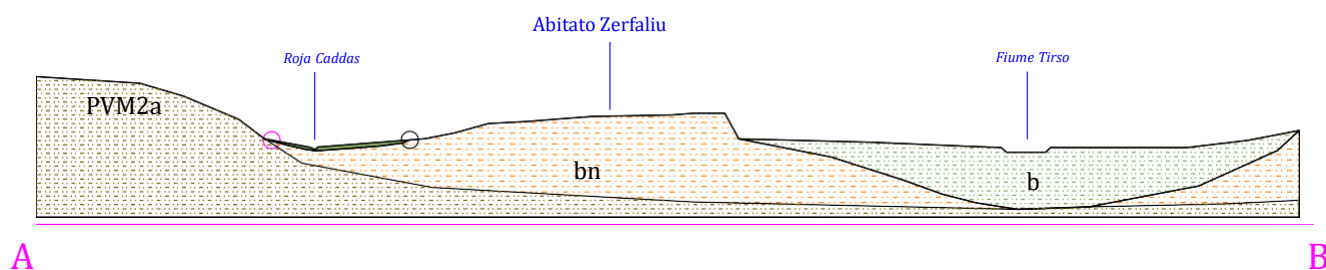
12.1 A Definizione del modello geologico-stratigrafico

Il settore in esame è ubicato nel settore orientale della piana di Oristano che è caratterizzata dalla presenza dei depositi alluvionali del Fiume Tirso. In particolare sono presenti affioramenti di alluvioni terrazzate pleistoceniche (PVM2a_alluvioni antiche) e di alluvioni oloceniche (bb_alluvioni recenti e bnb_alluvioni oloceniche terrazzate).



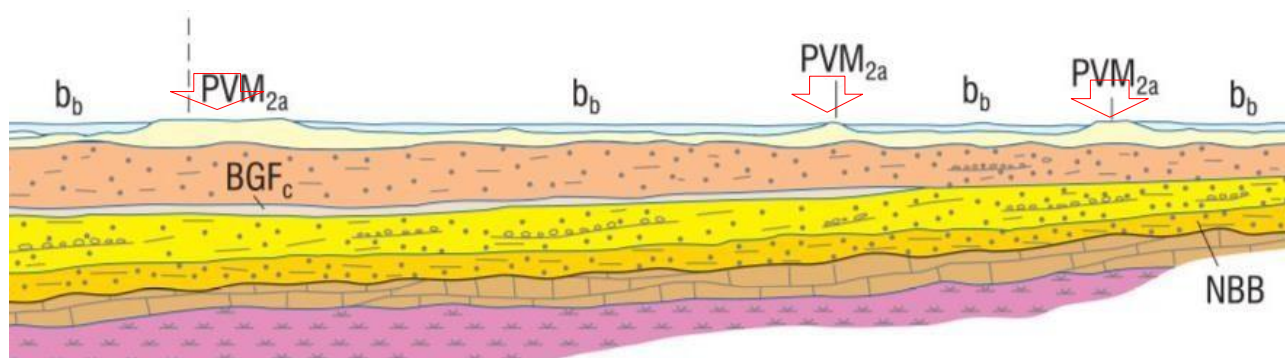
Nella sezione geologica seguente (sezione A-B, con direzione NW-SE) si evidenziano i rapporti stratigrafici fra le alluvioni ghiaioso-ciottolose pleistoceniche (PVM2a), alla base della successione, e le alluvioni attuali (b) o oloceniche terrazzate (bn).

SEZIONE GEOLOGICA





Nell'area in esame l'unità stratigrafica delle alluvioni pleistoceniche (PVM2a) risulta essere affiorante e, talora, posta ad una quota superiore a quella raggiunta dai depositi alluvionali attuali (b_n) all'interno di "tasche stratigrafiche". Ciò deriva dalla maggiore consistenza dei depositi alluvionali antichi (PVM2a) che sono caratterizzati da una minore erodibilità. Tale condizione stratigrafica è ben illustrata dalla sezione geologica di seguito riportata (foglio geologico 528 "Oristano") dove l'emergenza degli strati alluvionali pleistocenici più profondi e antichi (PVM2a) all'interno dei depositi alluvionali olocenici più superficiali (b_b) è indicata dalle frecce rocce:



L'area di sedime del canale irriguo è caratterizzata da elevata stabilità d'insieme e non sono presenti elementi di pericolosità geomorfologica per frana.

12.2 B Sintesi del modello geotecnico del terreno di fondazione

Le indagini geoelettriche hanno evidenziato la presenza dei depositi alluvionali ghiaiosi-ciottolosi con matrice argillosa, di spessore plurimetrico, con possibili intercalazioni di livelli più fini (limoso-argillosi) decimetrici (lenti, straterelli). Il modello geotecnico così definito è del tipo "a una unità litotecnica" rappresentata dai depositi alluvionali sabbioso-ghiaiosi, talora con intercalazioni limose-argillose.

Nella tabella seguente si riportano schematicamente i valori attribuiti ai principali parametri geotecnici del terreno di fondazione.

Descrizione	Peso di volume (kN/mc)	Coesione (kN/mq)	Angolo di attrito interno (°)	Modulo di compressibilità (kN/mq)
<i>Deposito alluvionale olocenico</i> Sabbia con limo e argilla, consistenza variabile da media a bassa. Lo spessore di tale livello è generalmente decimetrico o pluridecimetrico in quanto presente in lenti intercluse all'interno del deposito sabbioso-ghiaioso	18÷19	20-120	20÷24	4000÷8000
<i>Deposito alluvionale olocenico</i> Sabbia con ghiaia e ciottoli, con addensamento da medio a elevato. Lo spessore di tale livello è generalmente plurimetrico, talora con intercalazioni di livelli più fini	19÷20	0-80	30÷34	10000÷22000



ALLEGATO 1

Report indagine geoelettrica

COMUNE DI ZERFALIU

PROVINCIA DI ORISTANO

RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE



GEOL. GIAMBATTISTA CADAU Via Berlinguer 8 08023 FONNI (NU) Cell. 347/5073521		
Titolo: INTERVENTI URGENTI DI SISTEMAZIONE DEL CANALE ADDUTTORE DESTRA TIRSO NEL TRATTO TOMBATO ALL'INTERNO DELL'ABITATO DI ZERFALIU		Tav.:
Oggetto: INDAGINI GEOFISICHE		
I Professionista GEOL. GIAMBATTISTA. CADAU	Committenti: SARDASONDAGGI SRL	Scala: varie Data: Ottobre 2021

SOMMARIO

RELAZIONE GEOFISICA 1

1. **PREMESSA** 1

2. **PROSPEZIONI GEOELETTRICHE**..... 1

2.1 Misure di resistività 1

2.2 Strumentazione utilizzata 4

2.3 Misurazioni di I.P 6

2.4 Caratteristiche di resistività e caricabilità..... 8

3 **CONCLUSIONI**..... 21

RELAZIONE GEOFISICA

1. PREMESSA

La presente relazione, commissionata dalla società Sardasondaggi Srl, illustra i risultati di alcune prospezioni geofisiche realizzate nell'ambito degli *“Interventi urgenti di sistemazione del canale adduttore destra Tirso nel tratto tombato all'interno dell'abitato di Zerfaliu”*.

Le indagini hanno indagato il lato settentrionale del canale adduttore in destra Tirso per valutare le caratteristiche elettriche dei terreni superficiali immediatamente al lato del canale.

Scopo delle indagini è stato quello di valutare l'eventuale presenza di perdite idriche dal canale nei settori ad anomalia elettrica.

A tale scopo sono state realizzate n°5 prospezioni di tipo geoelettrico a breve distanza dal bordo del canale. Le prospezioni sono state localizzate tra via dei Giardini e Via Nuova (TOM1 e TOM2) e sulla via Mazzini (in progressione da ovest verso est TOM3, TOM4 e TOM5).

Localizzazione delle indagini in allegato.

2. PROSPEZIONI GEOELETTRICHE

La tecnica adottata nello studio ha previsto l'utilizzo di una metodologia attiva (con energizzazione del terreno) di tipo geoelettrico. La strumentazione utilizzata è stata quella di acquisizione automatica tramite sistema multielettrodo ARES della GF Instruments. I dati acquisiti in campagna sono stati rielaborati attraverso software particolari che consentono di passare dalla resistività apparente a quella reale, con successiva associazione di certi range di resistività ai vari litotipi in modo da ottenere così una modellizzazione geologica del settore. Le profondità di indagine sono state superiori a quelle di interesse.

2.1 Misure di resistività

I rilievi geofisici sono stati eseguiti mediante un georesistivimetro ARES capace di apprezzare fino al centesimo di mV e di mA. La tecnica consiste nell'immettere corrente continua (I) nel terreno attraverso degli elettrodi metallici e nel misurare la differenza di potenziale (ΔV) grazie all'utilizzo di picchetti in acciaio. Si risale così alla resistività apparente:

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

dove K è la costante geometrica del dispositivo quadripolare e dipende soltanto dalle distanze interelettrodeiche.



Tale tecnica permette di visualizzare l'andamento in profondità della resistività e della caricabilità, apparente e reale.

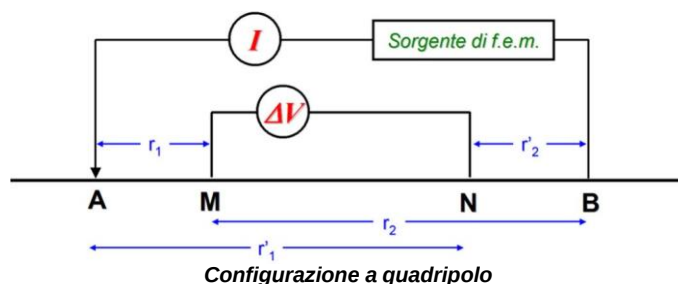
Il metodo della resistività si basa sull'immissione artificiale nel terreno di una determinata quantità di corrente continua attraverso due elettrodi in contatto con il terreno e collegati ad un generatore. Misurando la differenza di potenziale ai capi di un'altra coppia di elettrodi è possibile conoscere la resistività apparente del mezzo.

L'andamento del flusso di corrente viene determinato misurando le differenze di potenziale in diversi punti sulla superficie del terreno. Per un mezzo omogeneo ed isotropo, nota la corrente I (misurata in Ampere) e misurata la differenza di potenziale ΔV (misurata in Volt), attraverso la Legge di Ohm è possibile ricavare i valori di resistività apparente, utilizzando la relazione:

$$\Delta V = \rho \frac{1}{k} I$$

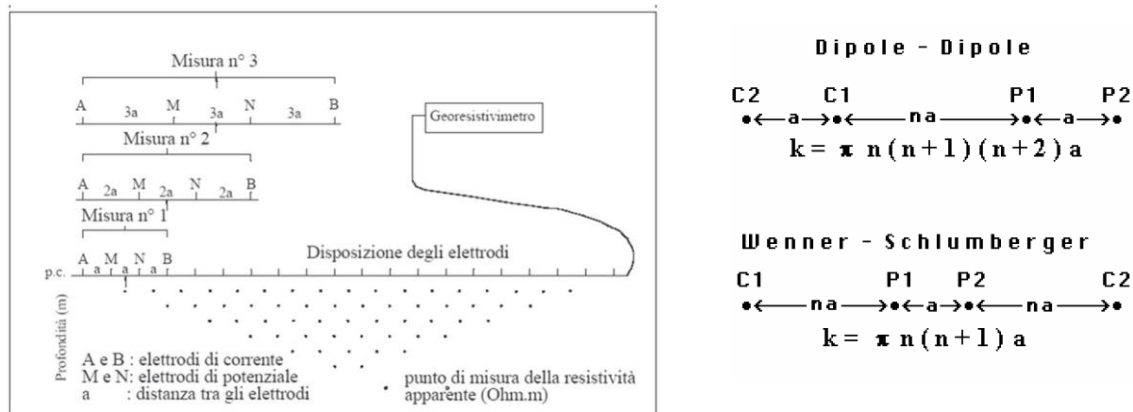
dove con ρ si indica la resistività ($\Omega \text{ m}$) e con k il fattore geometrico (m), che dipende dalla posizione reciproca degli elettrodi. Poiché il terreno non è un mezzo omogeneo ed isotropo ciò che viene ricavata è detta resistività apparente.

Per le misure di resistività elettrica si utilizza uno strumento multielettrodo, il georesistivimetro, in grado di energizzare il terreno attraverso due elettrodi di corrente A e B e misurare la differenza di potenziale ai capi di altri due elettrodi M e N: questa configurazione è detta quadripolo.



Variando la posizione delle coppie di elettrodi di corrente e di potenziale si realizza un'indagine che permette di caratterizzare le proprietà elettriche del sottosuolo a diverse profondità e con differenti risoluzioni spaziali. Per evitare continui riposizionamenti degli elettrodi, i moderni strumenti, come quello utilizzato durante il rilievo in questione, consentono di gestire l'energizzazione e l'acquisizione mediante stendimenti multielettrodo.

In particolare, i dispositivi dipolari che sono stati utilizzati per le indagini geoelettriche oggetto della presente indagine sono il Dipolo-Dipolo e lo Schlumberger. La tecnica della geoelettrica dipolare di superficie, consiste nella realizzazione di un'immagine 2D di estremo dettaglio del comportamento areale della resistività elettrica lungo il piano della sezione verticale passante per i profili scelti per la prospezione.

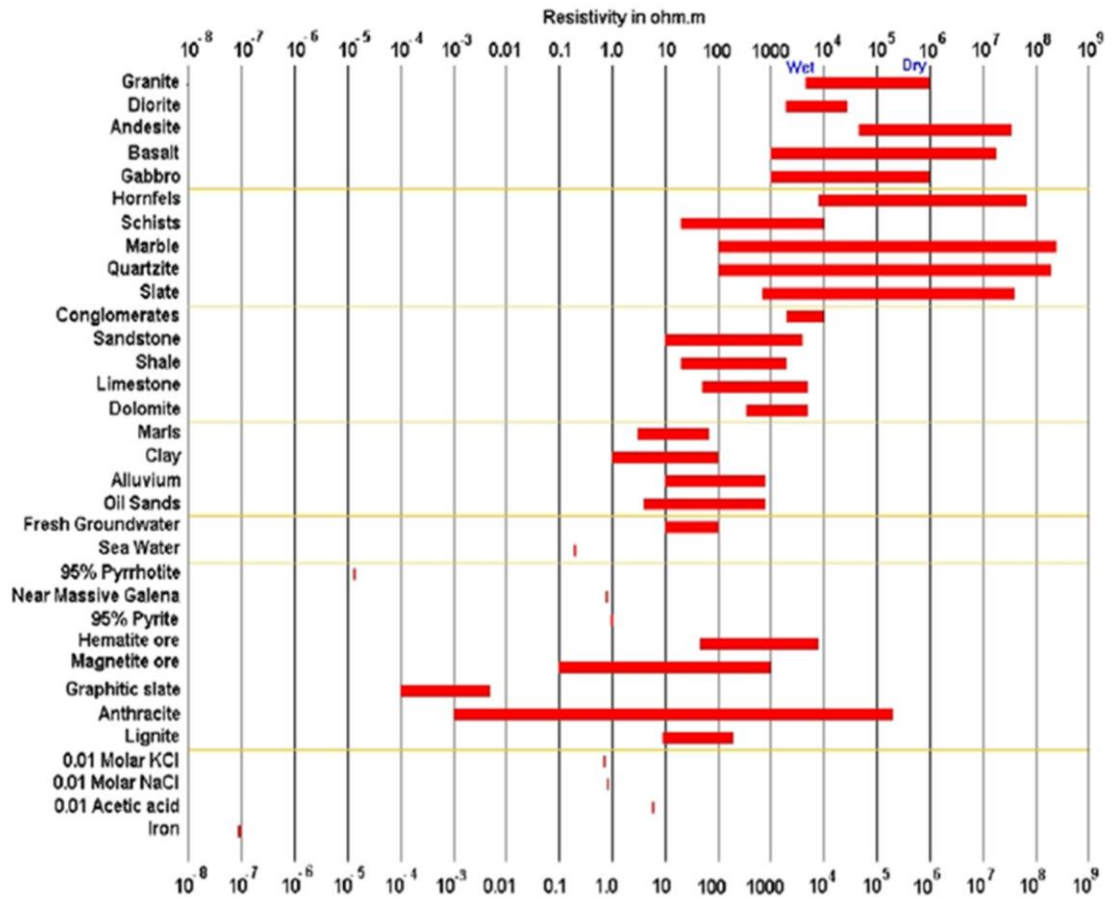


Stendimento multielettrodo e sulla destra schema dipoli

La procedura tomografica di campagna consiste nell'eseguire vari transetti lungo il tracciato, ciascuno dei quali corrisponde ad un'assegnata posizione di uno dei due dipoli lungo il profilo, che viene mantenuto fisso, mentre l'altro dipolo si allontana progressivamente da questo lungo il medesimo profilo, assegnando valori crescenti ad n (1, 2,N).

Le resistività apparenti, distribuite nei punti della griglia che si viene a formare come conseguenza delle diverse disposizioni mutue dei due dipoli, vengono successivamente sottoposte ad una valutazione comparativa, che si concretizza nel tracciamento di una famiglia di isolinee di resistività apparente. Il quadro d'insieme che ne deriva, ulteriormente rifinito con l'uso di una scala di colori o di grigi o con altri mezzi di contrasto tra settori contigui, rappresenta di fatto una pseudo-sezione del sottosuolo lungo il profilo scelto.

Obiettivo delle indagini geoelettriche è la ricostruzione di modelli di resistività del sottosuolo partendo da misure di resistività apparente. Oltre alle inevitabili anisotropie e disomogeneità del terreno, che impediscono una ricostruzione univoca del modello geometrico, è necessario ricordare che la resistività dipende da diversi fattori quali porosità, presenza di fluidi, composizione mineralogica, grado di fratturazione, grado di saturazione etc. In particolare, la resistività delle rocce è sempre maggiore rispetto a quella dell'acqua nei pori, è minima in corrispondenza del grado di saturazione massimo ed è tanto minore quanto maggiore è la porosità. Tutti questi elementi contribuiscono ad una grande variabilità di valori anche per singole classi di rocce o terreni.



Intervallo di resistività per rocce, suoli e minerali

2.2 Strumentazione utilizzata

Per l'esecuzione delle misure geoelettriche di cui si discute è stato utilizzato un georesistivimetro monocanale realizzato dalla ditta GF Instruments mod. ARES G4, alimentato con batteria al piombo ricaricabile.

Questo strumento è stato progettato per effettuare una serie completa di stendimenti geoelettrici: sondaggi elettrici verticali, profili di resistività, misure multi-elettrodo per tomografie elettriche 2D e 3D, misure di polarizzazione indotta e di potenziali spontanei.

Esso è costituito dall'apparato di energizzazione (immette corrente nel terreno attraverso gli elettrodi A e B), e dall'apparato di ricezione (misura la differenza di potenziale tra gli elettrodi di tensione M e N); racchiude, infatti, tre unità principali: trasmettitore, ricevitore e microprocessore.

Il trasmettitore, isolato elettricamente, è costituito da un generatore di tensione in continua, provvisto di commutatore automatico della polarità, per l'invio nel sottosuolo, tramite gli elettrodi del dipolo energizzante, di un flusso di corrente continua la cui intensità può variare fino a raggiungere un'intensità massima di 2.0 A ed un voltaggio compreso tra 10 e 550 V con una potenza massima di 300 W.

L'Ares G4 viene collegato ad un commutatore con cui è possibile programmare la gestione automatica degli elettrodi dello stendimento, ottenendo un elevato numero di combinazioni tra gli elettrodi nonché un notevole risparmio di tempo.

Al cavo multielettrodico del georesistivimetro sono collegati contemporaneamente tutti gli elettrodi attraverso appositi connettori. In base all'array prescelto, l'unità switch (commutatore) seleziona le coppie di elettrodi da energizzare.

La durata della fase di energizzazione, ossia di immissione di corrente nel terreno, è stata determinata nel corso della misura in base al rapporto segnale-rumore caratteristico del sito. Il ricevitore è costituito da un millivoltmetro digitale collegato a un microprocessore, che memorizza i valori di tensione ai capi degli elettrodi del dipolo di misura con un passo di campionamento regolare e tale da rientrare un numero intero di volte nel ciclo completo di un'onda di corrente. Alla fine di ogni ciclo, inoltre, un software di esercizio fornisce il valore della resistenza (visualizzato su un display digitale in Ohm·m) come rapporto tra la media di tutte le stime della tensione di picco, riferite ai cicli di corrente via via susseguirsi, e l'intensità della corrente preselezionata.

È opportuno qui evidenziare che la procedura computerizzata appena descritta, detta *stacking* mira ad isolare il segnale utile di tensione, ovvero il segnale direttamente collegato alla corrente di energizzazione, mediante il processo di rimozione immediata del fattore di disturbo stazionario (generato da fenomeni di polarizzazione spontanea), e di abbattimento progressivo di quello casuale (provocato da sorgenti naturali e/o artificiali spurie di vario genere).

Il primo obiettivo si raggiunge facilmente grazie all'inversione della polarità del flusso di corrente continua nel sottosuolo, cioè mediante l'invio di onde quadre di corrente.

Il secondo obiettivo, invece, viene raggiunto tramite quella proprietà dei processi stocastici che afferma che la somma di m elementi di un rumore casuale comunque selezionati ne attenua la portata rispetto ad un segnale coerente di un fattore pari alla radice quadrata di m . La scelta del numero di cicli da utilizzare è legata all'entità del disturbo: quanto più esso è forte tanto maggiore deve essere il numero di cicli. Lo strumento utilizzato è dotato di un software interno che regola automaticamente il numero di cicli di misura sulla base delle impostazioni dell'operatore, finché non viene raggiunto un segnale ottimale. Per le Tomografie Geoelettriche sono stati utilizzati un numero variabile da 24 a 36 elettrodi, con passo dai 2,0 ai 2,5 m, collegati fra loro da un cavo multipolare schermato e gestito dal commutatore automatico comandato dallo strumento di misura.

2.3 Misurazioni di I.P.

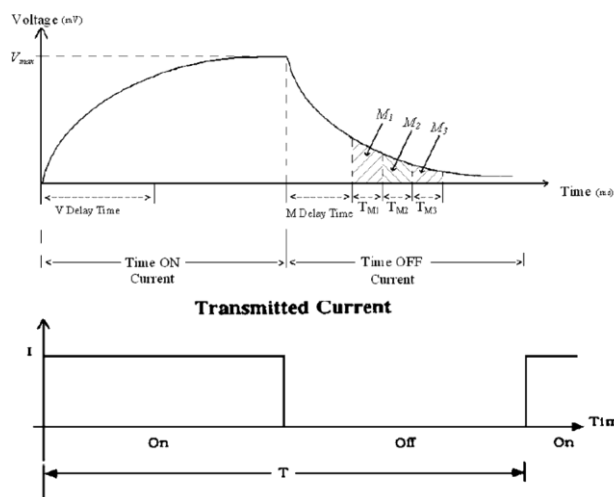
Le misure di polarizzazione indotta spesso forniscono indicazioni sulla possibile natura litologica di un elettrostrato. La stessa circolazione idrica può favorire valori alti di caricabilità dovuti alla polarizzazione delle fasce sature.

La polarizzazione indotta è un fenomeno generato dalla stimolazione di una corrente elettrica, che viene osservata dopo l'applicazione di una tensione nel terreno. Il metodo consiste nell'osservazione della curva di decadimento del potenziale, susseguentemente all'interruzione della corrente immessa, cioè dalla misura della "Caricabilità residua" trattenuta dal terreno sottoposto ad indagine.

Tali misure vengono fatte dopo un tempo di ritardo (Delay Time) di qualche decina di millisecondi, preferibilmente un secondo (M Delay Time), in modo da lasciare che gli effetti di accoppiamento tra i cavi e altri effetti parassiti si siano esauriti o che almeno siano trascurabili. Gli inconvenienti dovuti all'accoppiamento potrebbero essere molto ridotti utilizzando cavi schermati, come cavi coassiali che, però, fanno lievitare i costi e ridurre la flessibilità di tali misurazioni. Le misurazioni della caricabilità apparente parziale (M_i) e una media globale dedotta (M_a) danno qualche informazione riguardante la capacità del suolo ad essere caricato da un flusso di corrente.

La caricabilità parziale di una singola finestra dell'intervallo di tempo T_{Mi} è dato dalla formula:

$$M_i = \int_{T_{Mi}} V dt / (T_{Mi} \cdot V_{Max}) \quad \left[\frac{mV}{V} \right]$$



Andamento della curva di scarica della corrente. La minore o maggiore rapidità nell'esaurimento del voltaggio indotto determina le caratteristiche di caricabilità del terreno

dove V è la tensione istantanea misurata nell'intervallo di tempo $M_i T$ (msec) mostrata nella figura soprastante e V_{Max} è il valore massimo della tensione di carica. Nella figura si nota che gli intervalli di tempo presi in considerazione sono tre (T_{M1} , T_{M2} , T_{M3}), gli intervalli di tempo disponibili per le

misurazioni dipendono dalla corrente iniettata e dal metodo di IP utilizzato. La caricabilità apparente globale, cioè la caricabilità apparente di un singolo punto della pseudosezione, è data dalla formula:

$$M_a = \sum_{i=1}^n (M_i \cdot T_{Mi}) / \sum_{i=1}^n (T_{Mi})$$

L'inversione dei dati di caricabilità permette di passare con un margine di errore discreto dalla caricabilità apparente a quella reale.

Valori di caricabilità elevati sono sicuramente da ricondurre inoltre alla presenza di contaminati sia chimici che organici, si capisce come questa tecnica sia adottata in maniera diffusa nel settore di indagine ambientale.

Il fenomeno fisico può essere spiegato modellando il terreno come una distribuzione di condensatori che si caricano e si scaricano attraverso delle resistenze. Il tempo richiesto per ripristinare le condizioni di equilibrio è funzione del grado di polarizzabilità del terreno. I principali fattori che determinano la PI sono:

- la composizione mineralogica,
- la tessitura,
- la percentuale d'acqua (umidità naturale),
- la composizione chimica dell'acqua interstiziale (elettrolita).

I fenomeni che avvengono a livello microscopico nel materiale sottoposto a corrente elettrica sono globalmente di due tipi: polarizzazione elettrodica e polarizzazione di membrana.

La polarizzazione elettrodica è la tipica polarizzazione dei metalli, nei quali le cariche sono libere di migrare e disporsi in modo tale da creare dipoli. Questo tipo di polarizzazione è tipica nelle indagini minerarie.

La polarizzazione di membrana si ha quando alle pareti dei pori del terreno si affacciano minerali d'argilla. Le argille sono materiali coesivi idrati, a comportamento plastico, i cui minerali argillosi sono generalmente caratterizzati da dimensioni inferiori a 5 µm. In particolare essi sono costituiti da fillosilicati organizzati in strati tetraedrici di silicio ed alluminio e in strati di ottaedri di alluminio, ferro ed altri cationi. In base a come si interfacciano gli strati tetraedrici ed ottaedrici si osserva una forte variabilità della composizione chimica, delle proprietà di scambio e delle risposte geofisiche. Nei sedimenti sciolti esiste una percentuale ottimale dei minerali d'argilla per la polarizzazione di membrana; tale concentrazione è compresa tra il 3% e l'8%, quindi la massima polarizzabilità per un sedimento sciolto si ha per sabbie limoso-argillose. Le argille pure, data l'inesistenza dei pori, non polarizzano. La polarizzazione di membrana pertanto è particolarmente importante nelle rocce contenenti una bassa percentuale di argilla nella matrice. Occorre infine ricordare che non tutti i minerali d'argilla hanno la stessa efficacia

nell'adsorbimento cationico. L'effetto della polarizzazione di membrana aumenta notevolmente in contesti porosi in cui le particelle d'argilla bloccano parzialmente il passaggio alle soluzioni di ioni. La nuvola cationica di diffusione in vicinanza della superficie del minerale argilloso è una caratteristica del sistema argilla-elettrolita. Applicando un potenziale elettrico, le cariche positive manifestano una elevata mobilità attraverso la nube cationica, mentre quelle cariche negative tendono ad accumularsi; si ha quindi una membrana ione-selettiva la quale, all'eliminazione del potenziale elettrico, ostacola la mobilità delle cariche negative e rallenta la riconfigurazione della neutralità elettrica.

Di seguito si riporta una tabella con alcuni valori tipici di caricabilità di alcuni terreni, rocce e minerali (da Telford 1990 e Keller 1966).

Materiali e Minerali	Caricabilità (msec)
Pirite	13.4
Galena (solfo di Piombo)	3.7
Rocce con il 20% di solfuri	2000-3000
Rocce con l'8-20% di solfuri	1000-2000
Rocce con l'2-8% di solfuri	500-1000
Magnetite	2.2
Arenarie e Siltiti	100-500
Rocce vulcaniche compatte	100-500
Graniti	10-50
Acque sotterranee	0
Materiale alluvionale	1-4
Ghiaia	3-9

Il processo di acquisizione di misure di caricabilità è estremamente delicato: in condizioni ideali bisognerebbe utilizzare sonde non polarizzabili, tuttavia con i più moderni georesistivimetri è possibile acquisire con i normali elettrodi metallici (nella fattispecie acciaio inox). Infatti il problema dei potenziali spontanei dovuti alla polarizzazione degli elettrodi metallici viene gestito automaticamente dal georesistivimetro, grazie agli elevati rapporti segnale/disturbo e ad opportuni sistemi di filtraggio elettronico del segnale registrato agli MN.

2.4 Caratteristiche di resistività e caricabilità

L'esame delle sezioni di resistività e caricabilità definisce l'andamento delle caratteristiche elettriche con la profondità. Pur considerando le differenze assolute nei valori di resistività misurate con le differenti disposizioni elettrodiche, si può tentare di attribuire un range di resistività ad ogni litotipo:

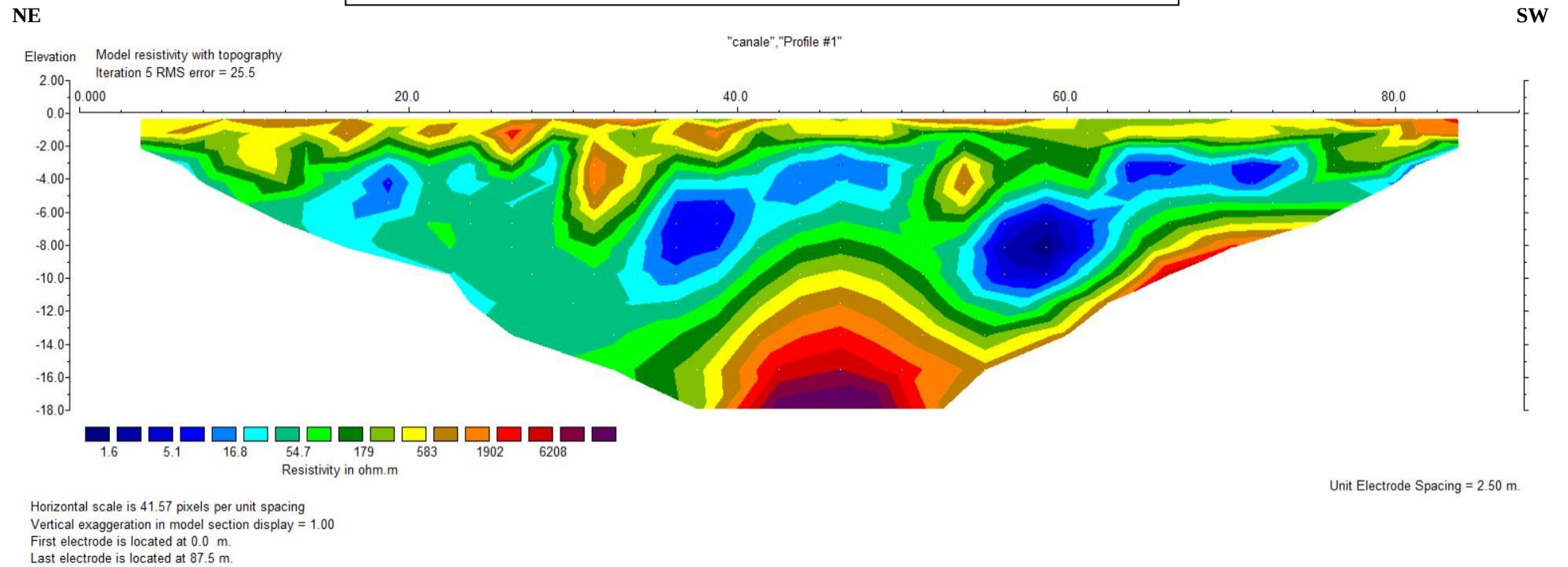
1. Tipo 1 : la resistività reale ρ si colloca su valori superiori a 200 ohmxm e caratterizza terreni superficiali, caricabilità bassa inferiore a 4-6 msec; tale tipo elettrico si associa con i terreni superficiali di riporto;
2. Tipo 2 : caratterizza i terreni sottostanti al tipo 1; in questo tipo di elettrostrato ρ si colloca su valori che vanno da 30 a 5 ohmxm, caricabilità decisamente elevata, superiore a 30 msec; i valori di polarizzazione maggiore si registrano sui bordi delle fasce conduttive, verosimilmente per la

presenza di circolazione idrica e in alcuni settori ben definiti con forma da circolare a subverticale, verosimilmente riconducibili a circolazione idrica o a presenza di condotte fognarie;

L'omogeneità stratigrafica ed elettrica delle sezioni TOM3, TOM4 e TOM5 contrasta con quella delle sezioni tomografiche TOM1 e TOM2 dove la fascia superficiale entro i tre metri di profondità evidenzia settori di conducibilità elevata.

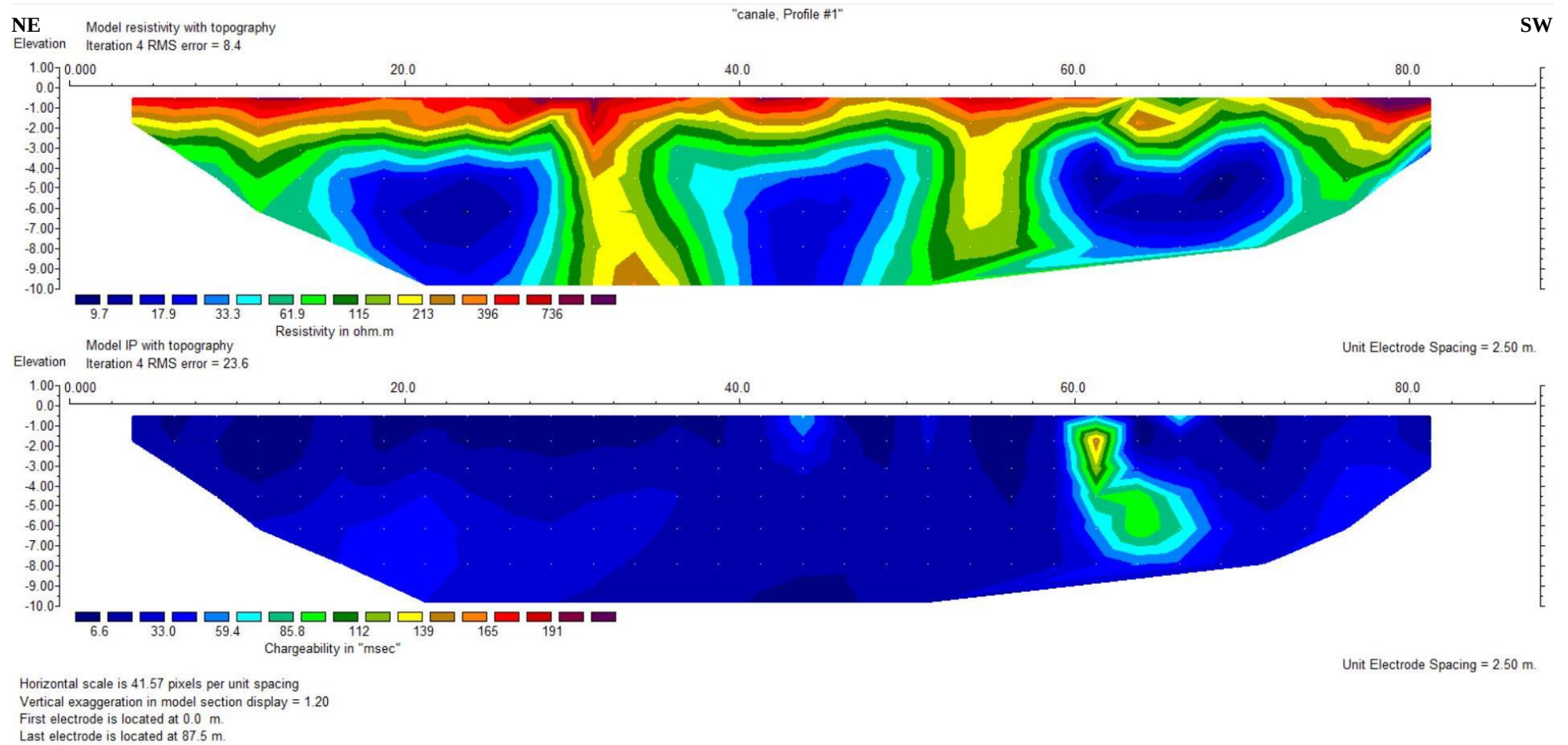
PROSPEZIONI GEOFISICHE

INTERPRETAZIONE SEZIONE DI RESISTIVITA' **TOM 1** – CONFIGURAZIONE DIPOLO DIPOLO



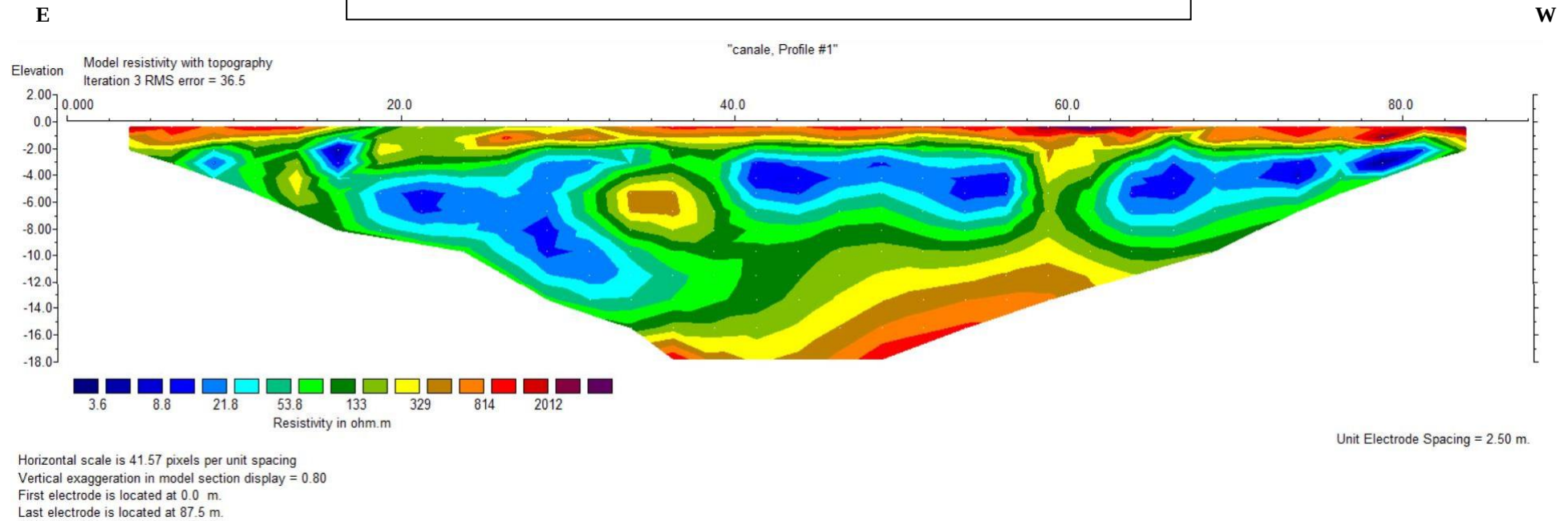
PROSPEZIONI GEOFISICHE

INTERPRETAZIONE SEZIONE DI RESISTIVITA' **TOM 1** – CONFIGURAZIONE SCHLUMBERGER



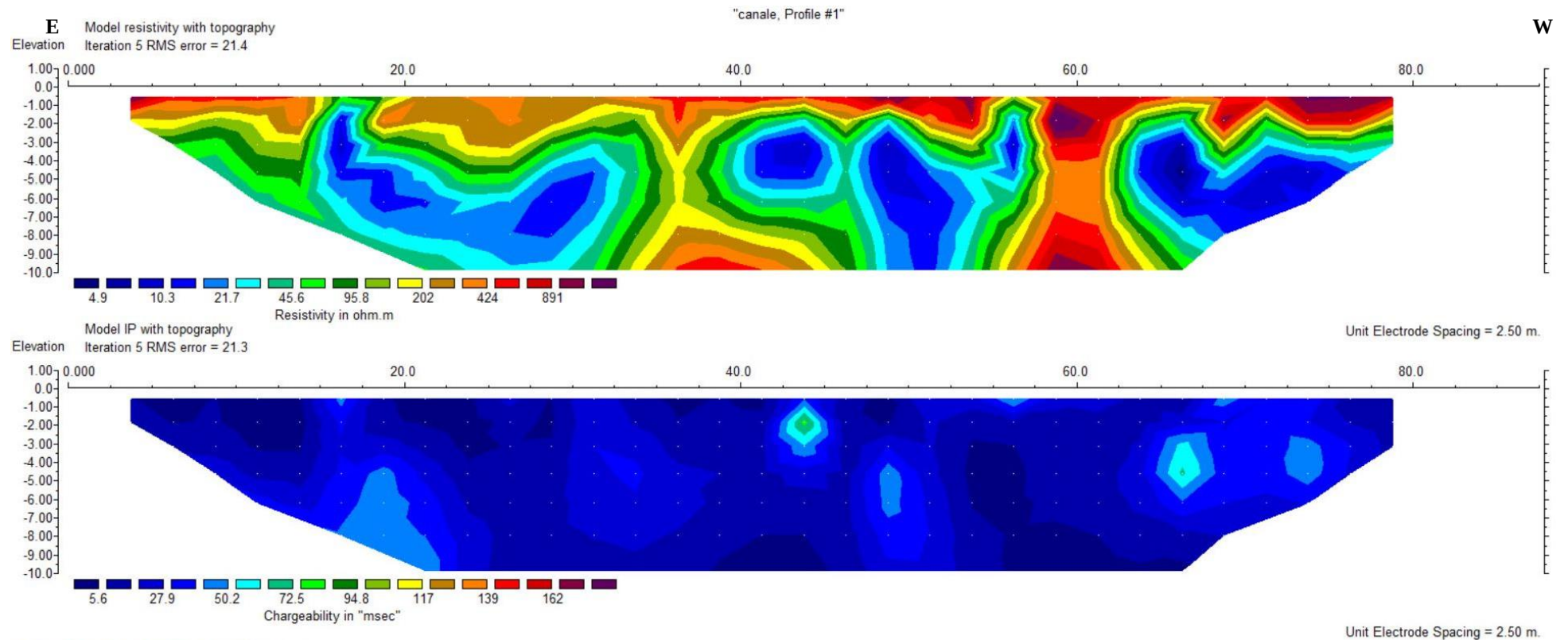
PROSPEZIONI GEOFISICHE

INTERPRETAZIONE SEZIONE DI RESISTIVITA' TOM 2 – CONFIGURAZIONE DIPOLO DIPOLO



PROSPEZIONI GEOFISICHE

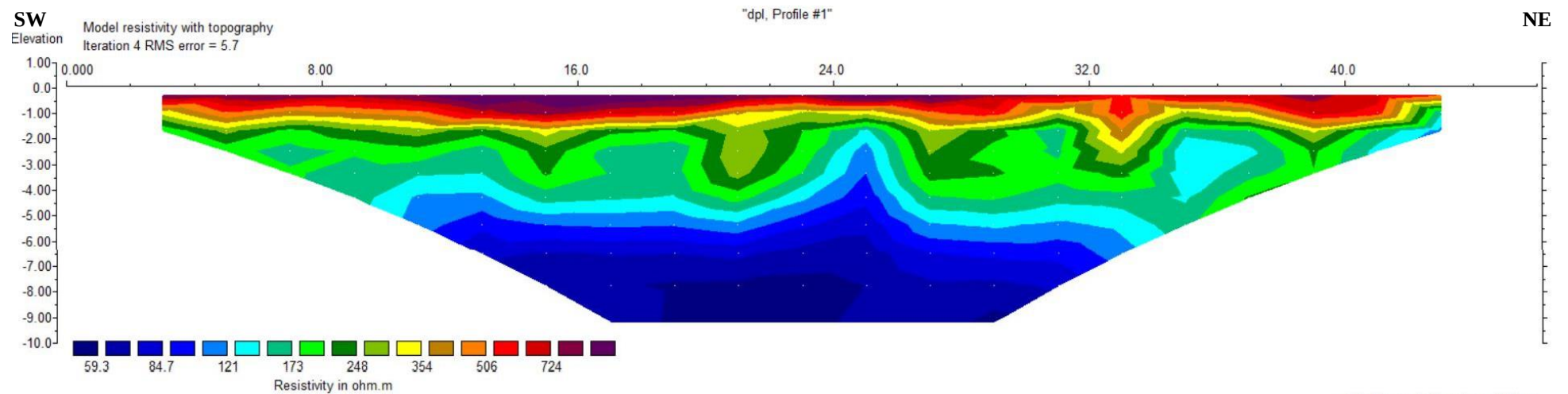
INTERPRETAZIONE SEZIONE DI RESISTIVITA' **TOM 2** – CONFIGURAZIONE SCHLUMBERGER



Horizontal scale is 41.57 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.10
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 87.5 m.

PROSPEZIONI GEOFISICHE

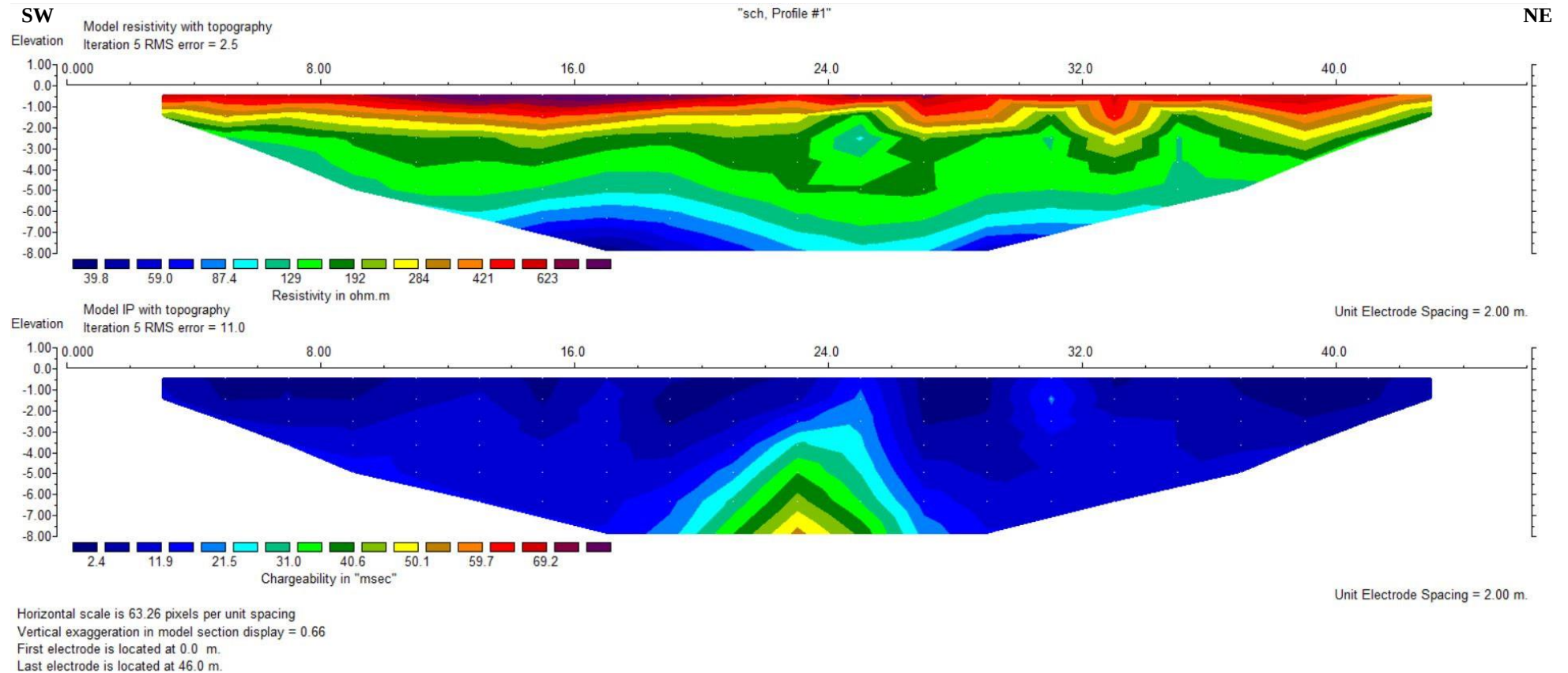
INTERPRETAZIONE SEZIONE DI RESISTIVITA' **TOM 3** – CONFIGURAZIONE DIPOLO DIPOLO



Horizontal scale is 63.26 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.80
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 46.0 m.

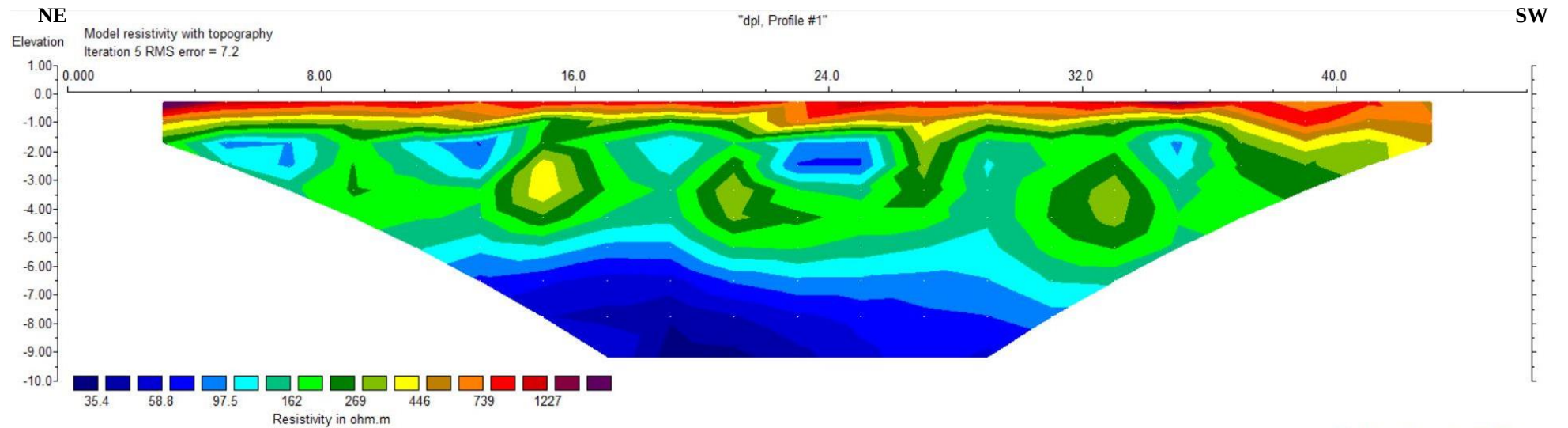
PROSPEZIONI GEOFISICHE

INTERPRETAZIONE SEZIONE DI RESISTIVITA' TOM 3 – CONFIGURAZIONE SCHLUMBERGER



PROSPEZIONI GEOFISICHE

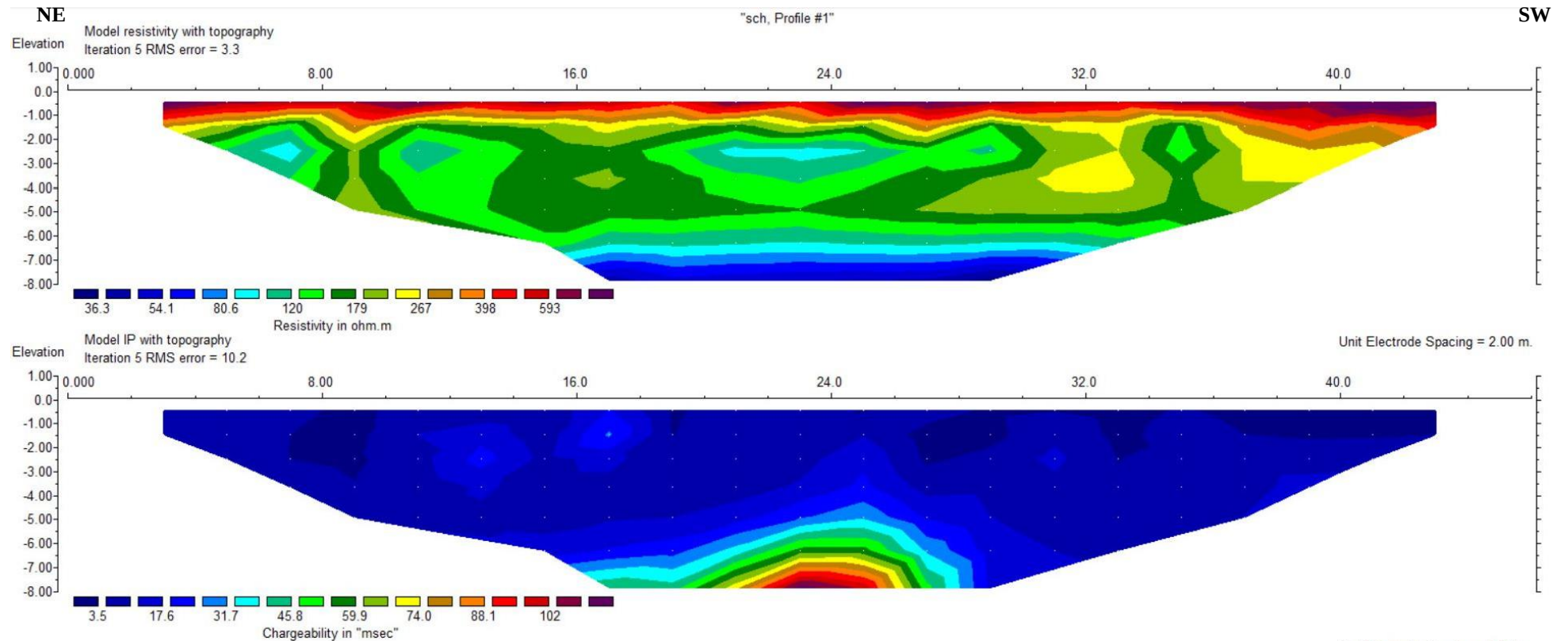
INTERPRETAZIONE SEZIONE DI RESISTIVITA' **TOM 4** – CONFIGURAZIONE DIPOLO DIPOLO



Horizontal scale is 63.26 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.90
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 46.0 m.

PROSPEZIONI GEOFISICHE

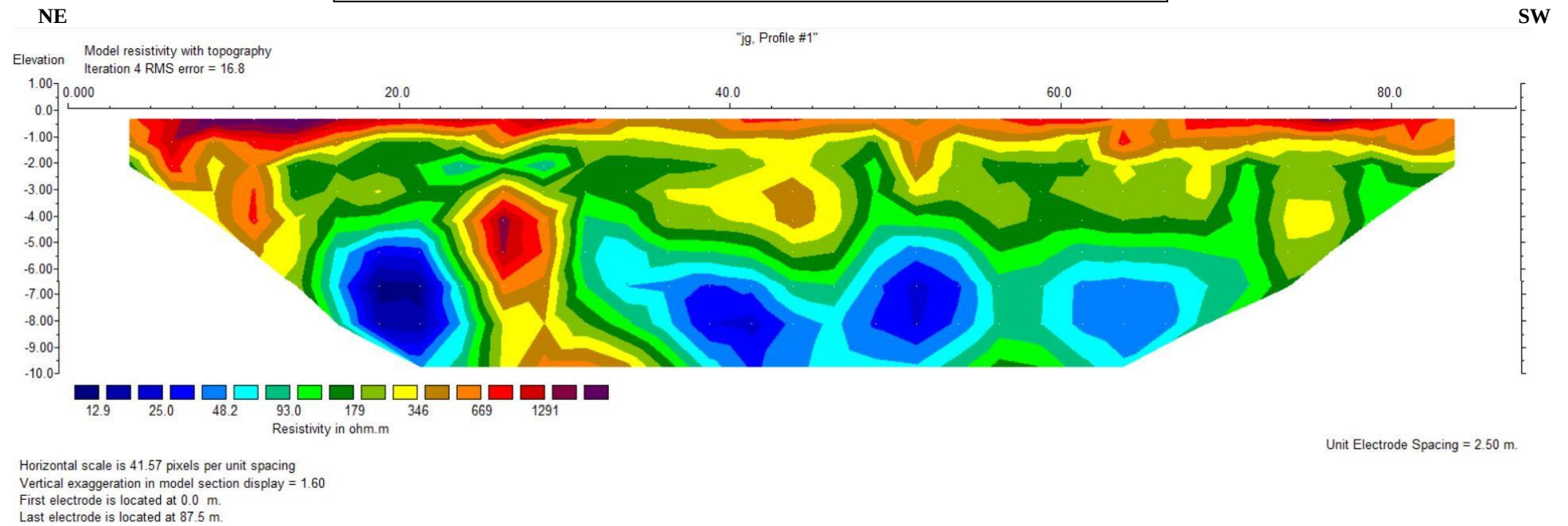
INTERPRETAZIONE SEZIONE DI RESISTIVITA' **TOM 4** – CONFIGURAZIONE SCHLUMBERGER



Horizontal scale is 63.26 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.75
First electrode is located at 0.0 m.
Last electrode is located at 46.0 m.

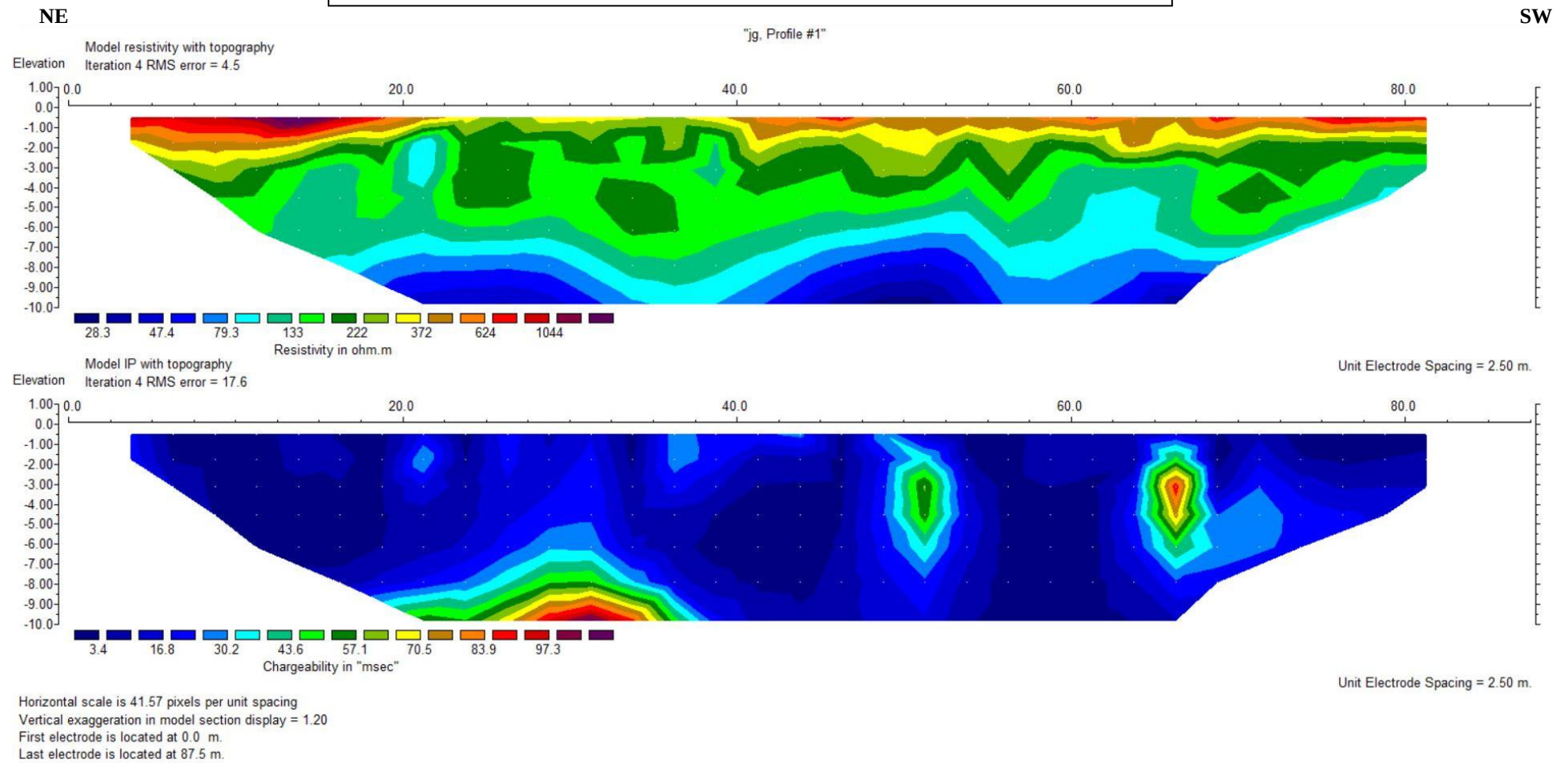
PROSPEZIONI GEOFISICHE

INTERPRETAZIONE SEZIONE DI RESISTIVITA' **TOM 5** – CONFIGURAZIONE DIPOLO DIPOLO

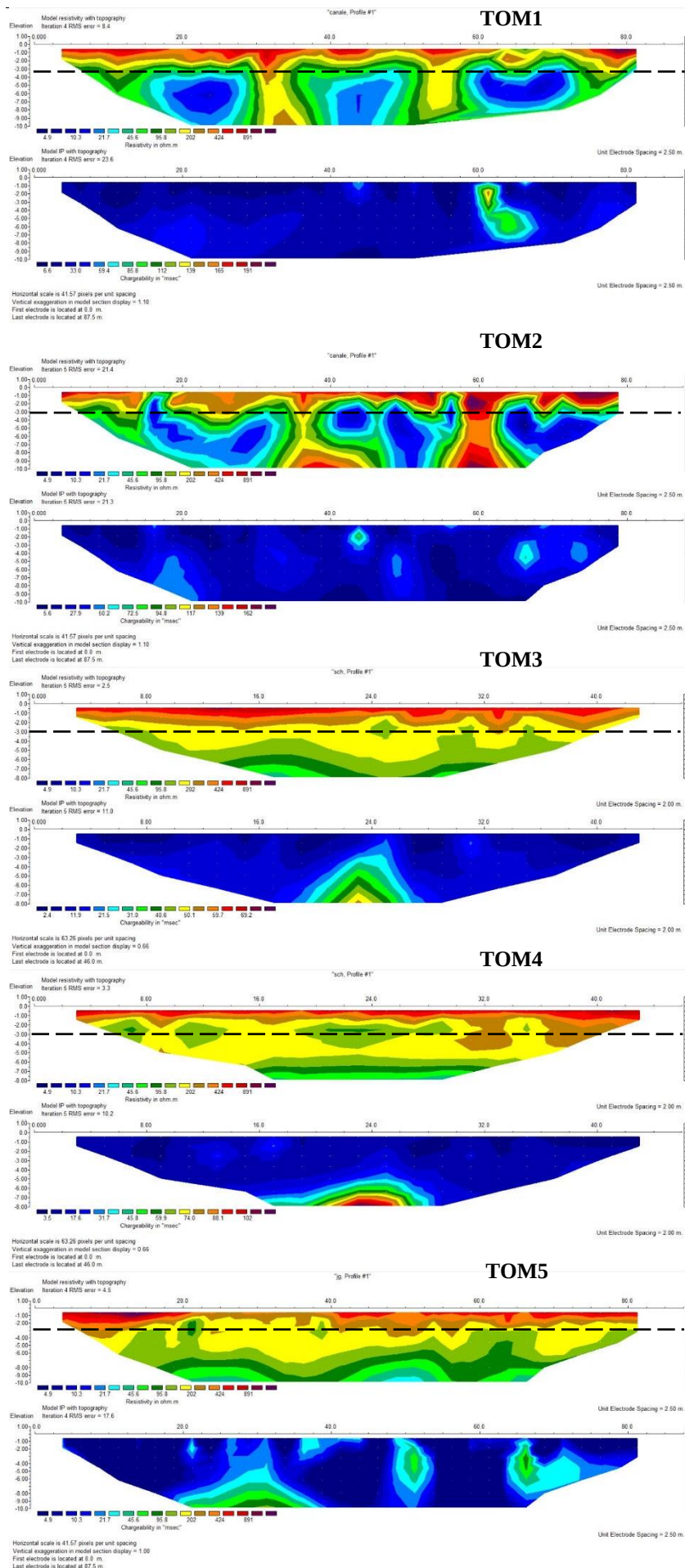


PROSPEZIONI GEOFISICHE

INTERPRETAZIONE SEZIONE DI RESISTIVITA' TOM 5 – CONFIGURAZIONE SCHLUMBERGER



PROSPEZIONI GEOFISICHE



SEZIONI TOMOGRAFICHE A CONFRONTO SECONDO LA DISPOSIZIONE SCHLUMBERGER

Dall'alto verso il basso in progressione la TOM1 sino alla TOM5.

La linea tratteggiata color nero indica la profondità di -3 m dal piano campagna

Evidenti nelle prime due prove, ed in particolare nella TOM2, la superficialità delle aree conduttive

3 CONCLUSIONI

Su commissione della società Sardasondaggi Srl, nell'ambito degli *“Interventi urgenti di sistemazione del canale adduttore destra Tirso nel tratto tombato all'interno dell'abitato di Zerfaliu”*, il sottoscritto ha eseguito una serie di prospezioni geofisiche del tipo geoelettrico per la comprensione delle caratteristiche elettriche dei terreni superficiali adiacenti al canale in esame, col fine di individuare eventuali anomalie elettriche ricollegabili a perdite idriche dal canale stesso.

La finalità delle indagini è stata dunque quella di intercettare i settori più conduttivi verosimilmente ricollegabili a filtrazioni dall'opera di irrigazione.

Sono state realizzate n°5 prospezioni geoelettriche che hanno raggiunto profondità maggiori rispetto a quelle di interesse.

Gli stendimenti TOM 1 E TOM 2, eseguiti tra via dei Giardini e via Nuova sono stati collocati secondo allineamenti SW-NE e hanno rilevato il lato nord del canale scoperto lungo le vie succitate sin quasi alla strada provinciale n°9. Gli stendimenti TOM3, TOM4 e TOM5 realizzati a poco più di un centinaio di metri dal TOM1 hanno indagato il lato settentrionale del canale coperto della via Giuseppe Mazzini.

Le indagini hanno evidenziato alcuni settori superficiali (profondità comprese tra i 2 e i 3 m di profondità) nelle tomografie 1 e 2 dove i valori di resistività si presentano molto bassi (talvolta inferiori a 10 ohmxm) verosimilmente a causa di filtrazioni idriche nei terreni adiacenti l'opera.

Fonni, Ottobre 2021

IL TECNICO

Allegato

Localizzazione indagini

PROSPEZIONI GEOFISICHE



