

“TACCU SA PRUNA”

Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio
ad alta flessibilità

Comune di Esterzili (SU)

COMMITTENTE



COORDINAMENTO / MANDANTE

STRATEGIES FOR WATER



Progettisti: Ing. Luigi Lorenzo Papetti

GEOLOGIA / MANDATARIA

Dott. Geol. S. Paschi
Prof. G. Oggiano

Indagini geofisiche

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	PRIMA EMISSIONE	Maggio 2022	PAS	OGG	PAC
1	REVISIONE 1 – INTEGRAZIONI	Maggio 2023	PAS	OGG	PMA

Codice commessa: 1351 Codifica documento: 1351-A-OP-A-05-1

RELAZIONE GEOFISICA

PROSPEZIONI GEOELETTRICHE

NELL'AMBITO DEL PROGETTO

“IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO AD ALTA FLESSIBILITÀ DI TACCU SA PRUNA” (ESTERZILI - SU)



DICEMBRE 2021

[Dott.ssa Naturalista PhD Valeria Testone](#)
pec: valetest@pec.it – e-mail: valeriatestone@tiscali.it
cell. 340.3275490; Partita I.V.A. 02622620900

Collaboratori: Dott. Naturalista PhD Vittorio Longo
mail: vitto-longo@tiscali.it

SOMMARIO

1. Finalità delle indagini	1
2. Inquadramento geologico-strutturale.....	3
2.1. Assetto geologico	3
2.2. Assetto strutturale dell'area di studio	5
3. La tomografia elettrica di resistività: metodologia.....	8
3.1. Introduzione.....	8
3.2. La resistività elettrica nelle rocce e nei terreni	10
3.3. Strumentazione	11
3.4. Posizionamento dei profili geoelettrici	12
3.5. Processazione dati	14
4. Tomografie ERT-1 e ERT-2: risultati ed interpretazione dati.....	15
5. Conclusioni.....	21
6. Bibliografia.....	23
ALLEGATI	24
ALLEGATO A: LOCALIZZAZIONE INDAGINI.....	25
ALLEGATO B: ERT-1 E ERT-2	27
ALLEGATO C: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA	30

1. FINALITÀ DELLE INDAGINI

Su richiesta dello STUDIO FROSIO NEXT S.r.l. è stata condotta una campagna di indagini geoelettriche di resistività con tecnica tomografica (ERT) nell'ambito del progetto "Impianto di accumulo idroelettrico ad alta flessibilità di Taccu Sa Pruna", in agro del comune di Esterzili (SU).

Il sito d'indagine è ubicato nella Sardegna centro-meridionale, in un altopiano adiacente alla strada provinciale 53 che collega il paese di Escalaplano a quello di Esterzili, nella sponda destra del Lago Medio Flumendosa (Allegato A).

Il Progetto prevede la costruzione di un impianto idroelettrico di pompaggio per immagazzinare energia, mediante la realizzazione di un bacino artificiale a monte dell'invaso esistente di Nuraghe Arrubiu.

L'impianto in questione rientra nella categoria del pompaggio puro in quanto le acque che transiterebbero all'interno delle turbine e delle pompe vengono utilizzate in ciclo chiuso, sfruttando una parte del volume dell'invaso di Nuraghe Arrubiu, e non da altri apporti naturali. Infatti, il bacino di monte così come verrà progettato non recepisce alcun deflusso naturale (né superficiale né sotterraneo).

In questo contesto, le indagini geoelettriche eseguite sono state condotte con lo scopo di registrare le variazioni di resistività lungo sezioni bidimensionali del sottosuolo, al fine di ricavare informazioni lito-stratigrafiche utili per la progettazione e realizzazione del bacino di monte.

In merito alla tecnica applicata, va precisato che la resistività è una proprietà fisica che non è in grado di identificare in modo univoco la natura di un materiale; la resistività dei suoli e delle rocce dipende fortemente dal loro contenuto idrico, dal chimismo dei fluidi circolanti/interstiziali, dalla composizione mineralogica, nonché dalla loro permeabilità. Per questa ragione la stessa tipologia di roccia può avere intervalli di resistività molto ampi; cosa che inibisce un'interpretazione geologica diretta ed univoca ma è utilissima in fase interpretativa nel confronto tra i dati raccolti con altre tecniche di osservazione geologica o prospezione geofisica. Inoltre, il processo di inversione a cui vengono sottoposti i dati introduce delle incertezze che si ripercuotono nel modello di resistività finale. La lettura delle tomografie non può prescindere pertanto dal contesto geologico, morfologico e geografico dell'area.

Un sopralluogo preliminare, compiuto il 04/11/2021, ha permesso di materializzare sul terreno ed ottimizzare le linee di acquisizione dati ERT.

Le misure di resistività sono state acquisite nei giorni 3 e 4 dicembre 2021, realizzando complessivamente due tomografie elettriche di lunghezza unitaria pari a 630 m al fine di raggiungere una profondità massima d'investigazione di 120 m.

Nella presente relazione, dopo un inquadramento geologico del sito, vengono descritti:

- metodo geoelettrico di resistività con tecnica tomografica;
- modelli di resistività ottenuti;
- interpretazione dei risultati.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

2.1. ASSETTO GEOLOGICO

Il presente inquadramento geologico è stato preparato con il contributo del Dott. Geol. Sandro Pasci. L'area di intervento in progetto è caratterizzata da rocce paleozoiche metamorfiche e da depositi carbonatici mesozoici con esigue coperture sedimentarie di età cenozoica.

Le rocce paleozoiche sono riconducibili a successioni depositate durante il Cambriano e l'Ordoviciano, metamorfosate e deformate durante le fasi collisionali ed estensionali dell'orogenesi ercinica. L'assetto geologico di buona parte dell'area di studio deriva quindi dalla complessa evoluzione ercinica. L'area di studio fa parte dell'Unità tettonica di Meana Sardo (Figura 1) che ha un metamorfismo di basso grado e che appartiene alla cosiddetta "Zona a falde" della catena ercinica. I depositi mesozoici, discordanti sulle rocce metamorfiche, sono essenzialmente conglomerati ed argille e soprattutto dolomie di età Giurassica in giacitura sub-orizzontale che danno luogo ad altipiani tabulari, noti come "Tacchi".

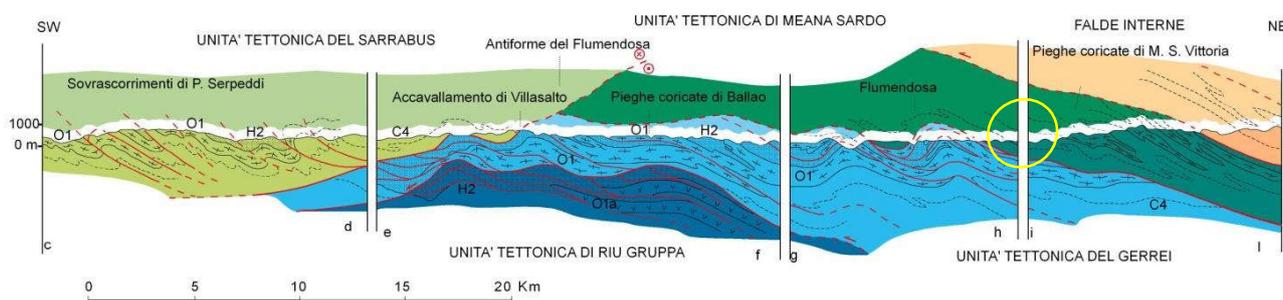


Figura 1 Sezioni geologiche schematiche attraverso la "Zona a falde" del basamento sardo. Il cerchio giallo indica l'area di studio.

La stratigrafia dell'area comprende dunque formazioni di età paleozoica (principalmente rocce metamorfiche e subordinatamente rocce magmatiche) e depositi carbonatici giurassici. Sono inoltre presenti sottili coperture quaternarie. Dal termine più antico, la successione stratigrafica osservata durante i sopralluoghi è sinteticamente riportata di seguito.

- **Arenarie di San Vito**

In tutte le Falde esterne questi metasedimenti rappresentano i termini più antichi affioranti. La successione è costituita da prevalenti metarenarie micacee, quarziti di colore variabile dal grigio-verdastro al grigio scuro. Queste metareniti formano regolari alternanze, da centimetriche a metriche, con metasiltiti e metapeliti grigio-verdastre e scure. Lo spessore di questa successione potrebbe corrispondere a diverse centinaia di metri. L'età della formazione,

pressoché azoica, è basata sul rinvenimento di acritarchi del Cambriano Superiore - Ordoviciano inferiore.

- **Formazione di Monte Santa Vittoria**

Si tratta di rocce metamorfiche provenienti da originarie vulcaniti e dai loro derivati di rimaneggiamento. Nell'area investigata sono presenti soprattutto metaepiclastiti; ossia metagrovacche litiche, metarenarie vulcaniche e metaconglomerati. Lo spessore di questa litofacies è variabile da zero a 20-30 m, con forti variazioni laterali e la sua età sarebbe Ordoviciano? Medio.

- **Formazione di Genna Selole**

Nell'area di studio, alla base della cornice carbonatica giurassica, questa formazione affiora con spessori in genere modesti, fino a circa 20 m. Spesso le condizioni di affioramento sono sfavorevoli, a causa della scarsa resistenza all'erosione di parte di queste rocce e a causa della presenza di depositi di versante e corpi di frana che bordano le cornici del Tacco di Sa Pruna. Buone esposizioni si trovano a circa 4 km a sud dell'area di studio, dove è presente una miniera che estrae le argille caolinitiche della formazione. Questa formazione è composta, alla base, da conglomerati monogenici quarzosi, con intercalazioni di quarzoareniti biancastre, e al di sopra, da prevalenti argille bianche o grigio- chiare caolinitiche. L'unità è attribuita al Giurassico Medio (Dogger).

- **Formazione di Dorgali**

Questa formazione è ben rappresentata nel settore orientale dell'area di studio, dove ha giacitura da sub-orizzontale a debolmente inclinata e costituisce una serie di altopiani tabulari, detti "Tacchi" (Taccu sa Pruna nel nostro caso), che caratterizzano fortemente la morfologia della regione. Nella parte basale è costituita da calcari marnosi e marne da giallastri a grigi, con locali intercalazioni arenacee grigio-verdastre. Seguono dolomie e calcari dolomitici di colore da biancastro a nocciola a rossastri in banchi da decimetrici a metrici. La formazione poggia in concordanza su quella di Genna Selole e il limite superiore è sempre erosivo. Lo spessore massimo affiorante nell'area di intervento è di circa 30 m. L'età è Giurassico Medio-superiore.

- **Depositi alluvionali**

Nell'area di studio affiorano in piccoli lembi isolati conglomerati di ambiente alluvionale sia clasto- che matrice-sostenuti, fortemente eterometrici, poligenici e con matrice arenacea e da arenarie poco classate con un'organizzazione in bancate grossolane. La frazione conglomeratica è di gran lunga quella prevalente, in genere con clasti elaborati di dolomie e calcari mesozoici e di metamorfiti e quarzo filoniano di età paleozoiche. L'età della formazione

è dubbia: non è chiaro se questi depositi appartengano alla Formazione di Ussana dell'Oligocene Superiore - Aquitaniano Inferiore oppure a depositi più recenti.

- **Travertini**

Depositi di travertino, generalmente compatto affiorano presso i bordi delle coperture carbonatiche mesozoiche nell'area in studio. Questi depositi non sono attuali (sono comunque olocenici) e non più in equilibrio con le attuali condizioni morfogenetiche in quanto sono sempre dissecati e spesso soggetti a dissesti gravitativi legati a crolli.

- **Depositi di versante**

Si tratta di depositi detritici costituiti da clasti angolosi con rara classazione e granulometria variabile, accumulati essenzialmente per gravità lungo i versanti rocciosi più ripidi delle cornici dolomitiche o lungo i versanti delle rocce metamorfiche. Lo spessore è in genere limitato, fino a circa 3-4 m.

2.2. ASSETTO STRUTTURALE DELL'AREA DI STUDIO

L'assetto strutturale dell'area di intervento è principalmente legato alla tettonica polifasica dell'orogenesi ercinica, che ha determinato la struttura fondamentale del basamento metamorfico paleozoico durante il Carbonifero superiore - Permiano, e, in maniera più blanda, dallo sviluppo della tettonica terziaria. L'evoluzione tettonica ercinica si articola, a grandi linee, in una fase di raccorciamento (D1), connessa alla collisione continentale, ed una fase estensionale post-collisionale (D2). La fase di raccorciamento è quella che ha prodotto le deformazioni più consistenti, pervasive a tutte le scale, con metamorfismo di basso grado sin-cinematico e formazione di sovrascorrimenti che hanno sovrapposto le diverse unità tettoniche, e al loro interno ha prodotto pieghe isoclinali coricate con ampiezza a volte chilometrica ed una marcata scistosità di piano assiale. Si tratta di unità di coperture completamente sradicate dal loro basamento, e spesso le arenarie di San Vito ne costituiscono il livello di scollamento più profondo. Agli stadi del raccorciamento tardivi è riconducibile lo sviluppo di grandi sinformi e antiformali (come l'Antiforme del Flumendosa, nel cui fianco settentrionale è ubicata l'area di studio) che ripiegano tutte le strutture precedenti.

Durante la fase post-collisionale, il riequilibrio isostatico dell'edificio a falde sviluppa pieghe asimmetriche con piani assiali sub-orizzontali e zone di taglio con cinematica diretta, impostate sui fianchi delle antiformali, che favoriscono il sollevamento dei nuclei più profondi delle unità tettoniche, esasperando la geometria antiformali dell'edificio a falde acquisita durante la fase tardiva compressiva.

In affioramento, nella area in studio, la stratificazione è molto spesso trasposta sulla scistosità principale. Ciò rende difficile il riconoscimento delle strutture plicative D1 quando mancano forti contrasti litologici e soprattutto lungo i fianchi delle pieghe D1. Conseguentemente, le strutture plicative di questa fase isoclinale sono di difficile individuazione nelle Arenarie di San Vito a causa della frequente monotonia litologica e dell'assenza di *marker* litostratigrafici al suo interno. Solo localmente è possibile individuare le zone di cerniera quando sono presenti evidenti contrasti litologici.

Le pieghe sono rovesciate verso SO, fortemente asimmetriche e quelle maggiori con lunghezza d'onda di circa 1 km, tendenzialmente isoclinali e con geometria a cerniera ispessita e fianchi assottigliati, a tutte le scale. I piani assiali immergono costantemente verso NE con inclinazioni medie intorno a 35°. Le anticlinali hanno in genere a nucleo le arenarie di San Vito, mentre le sinclinali hanno spesso a nucleo le metavulcaniti ordoviciane (Figura 2).

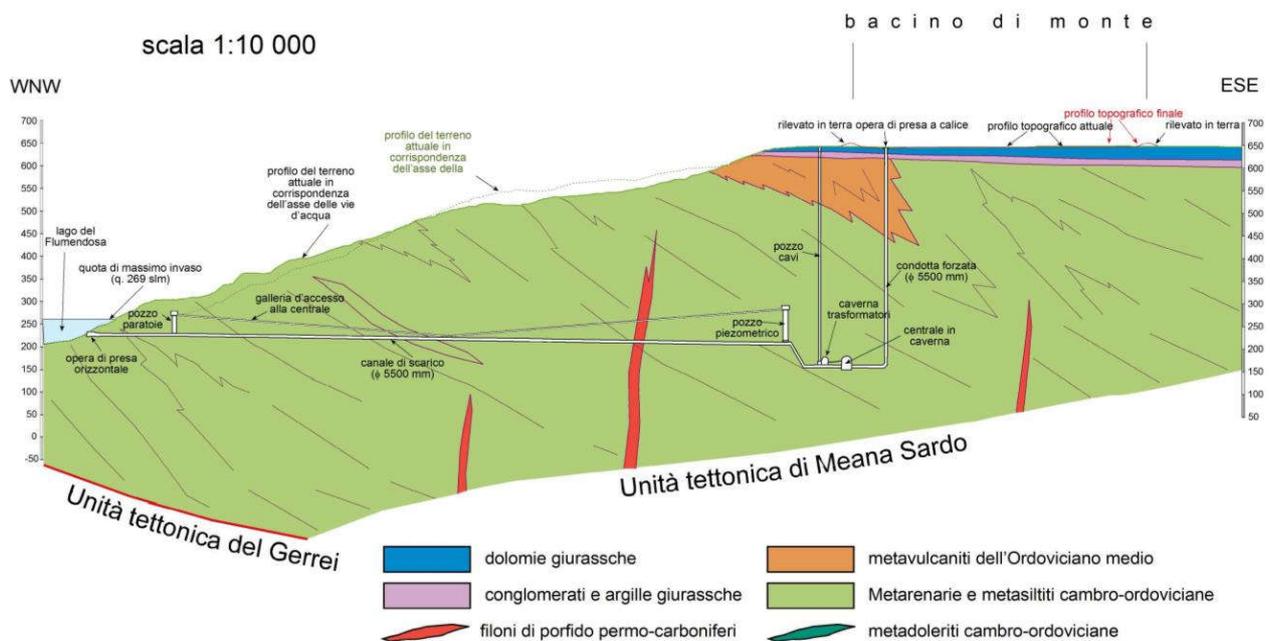


Figura 2 Sezione geologica lungo le opere in progetto (in asse galleria, pozzo piezometrico e centrale in caverna). Si tratta di una sezione interpretativa, pertanto non rappresenta i reali spessori, geometrie ed estensioni delle diverse unità.

Come detto, la fase deformativa tardo-collisionale genera le culminazioni antiformali come l'Antiforme del Flumendosa che ripiegano l'edificio a falde e tutti gli elementi strutturali della fase D1, sia scala pluri-chilometrica che dell'affioramento. Queste strutture plicative sono caratterizzate a piani assiali sub-verticali ed assi sub-orizzontali.

Una tettonica più recente, probabilmente già tardo ercinica, con ripetute riattivazioni durante Oligocene-Aquitano, il Burdigaliano e il Pliocene ha interessato l'area di studio. In base a

giacitura e cinematica, si distinguono tre sistemi di faglie spesso ben visibili anche in foto aerea: quelle dirette (e/o trascorrenti?) orientate circa NO-SE che hanno avuto un ruolo importante nella strutturazione oligo-miocenica; quelle dirette (e/o trascorrenti?) orientate circa N-S, che hanno interessato più volte tutte le successioni fino al Pliocene, rigettando anche le faglie NO-SE, e quelle E-O, che hanno interessato soprattutto il basamento ercinico e, localmente la successione giurassica (Figura 3).

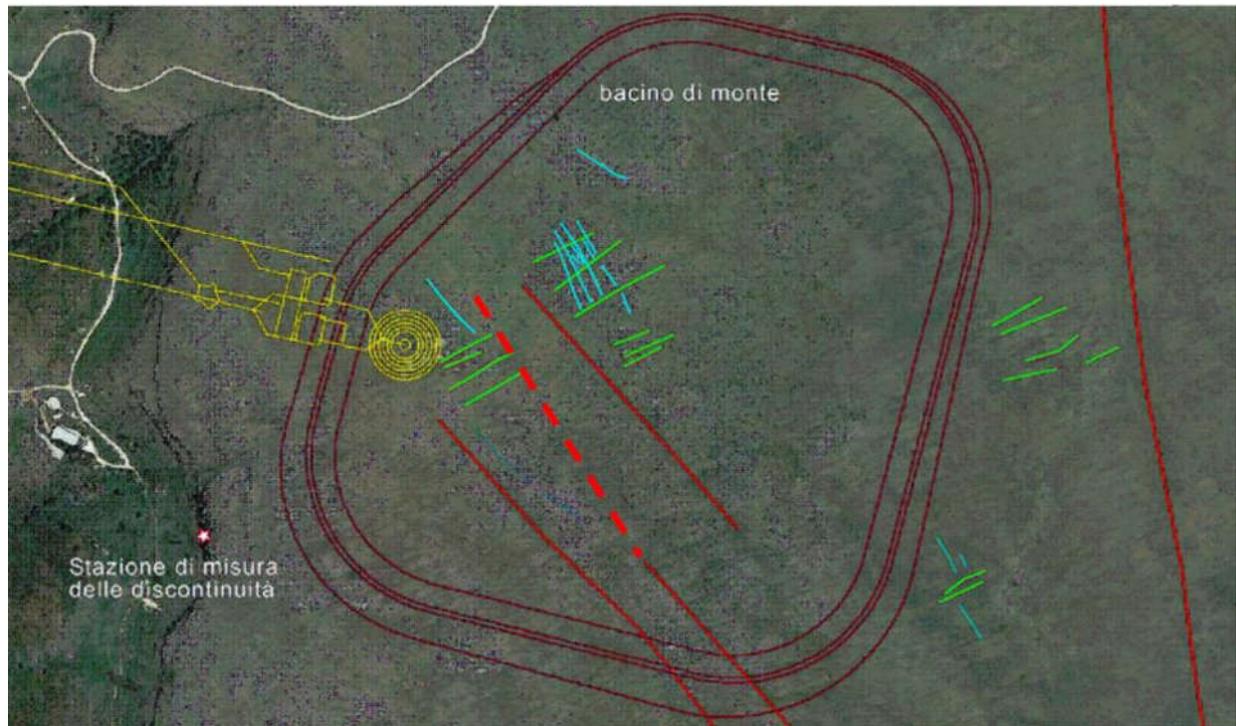


Figura 3 Sviluppo dei sistemi di discontinuità evidenti in foto aerea. L'area è quella del bacino di monte sulle dolomie giurassiche. Faglie: linee rosse. Principali famiglie di fratture presenti nell'area: linee verdi e ciano. La linea rossa tratteggiata indica il probabile andamento della faglia individuata dalle indagini ERT sotto i sedimenti colluviali.

3. LA TOMOGRAFIA ELETTRICA DI RESISTIVITÀ: METODOLOGIA

3.1. INTRODUZIONE

Nelle ultime due decadi, le tradizionali indagini di resistività elettrica monodimensionali (*sounding and profiling*), sono state in parte sostituite dall'applicazione di nuove tecniche di acquisizione chiamate *Resistivity Imaging* (RI) o *Electrical Resistivity Tomography* (ERT).

Il vantaggio del metodo ERT è che permette di realizzare modelli di resistività 2D del sottosuolo in tempi brevi e con costi ridotti.

Il metodo prevede l'energizzazione del terreno con corrente continua (I) ed una misura diretta sulla superficie del suolo della differenza di potenziale (ΔV), da cui si ricava la resistività apparente (ρ_a).

Per realizzare questo tipo di misure è necessario utilizzare uno strumento in grado di immettere corrente nel terreno attraverso due elettrodi (chiamati convenzionalmente C_1 e C_2 o elettrodi di corrente), e misurarne la differenza di potenziale in altri due punti (P_1 e P_2 o elettrodi di potenziale) (Figura). Le cariche elettriche attraversano il terreno da un elettrodo all'altro percorrendo "linee di corrente" a profondità diverse: maggiore è la separazione tra C_1 e C_2 , maggiore sarà la diffusione della corrente nel terreno (e di conseguenza la profondità raggiunta), ma minore sarà la differenza di potenziale registrata in superficie.

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 multi-elettrodo attraverso l'utilizzo di *switchbox* integrate ed una sequenza predefinita di *array* (Griffiths et al., 1990; Griffiths e Barker, 1993) (Figura). La profondità di investigazione dipende dalla lunghezza complessiva dello stendimento, mentre la risoluzione spaziale orizzontale dipende dalla distanza relativa degli elettrodi. Stendimenti più lunghi sono spesso legati a distanze tra gli elettrodi più ampie: la profondità cresce, ma la risoluzione dell'indagine diminuisce. A seconda degli obiettivi dell'indagine viene scelto lo stendimento o array più appropriato. I principali array impiegati in campo geologico sono: Wenner α , Wenner-Schlumberger e Dipolo-Dipolo (Figura 6).

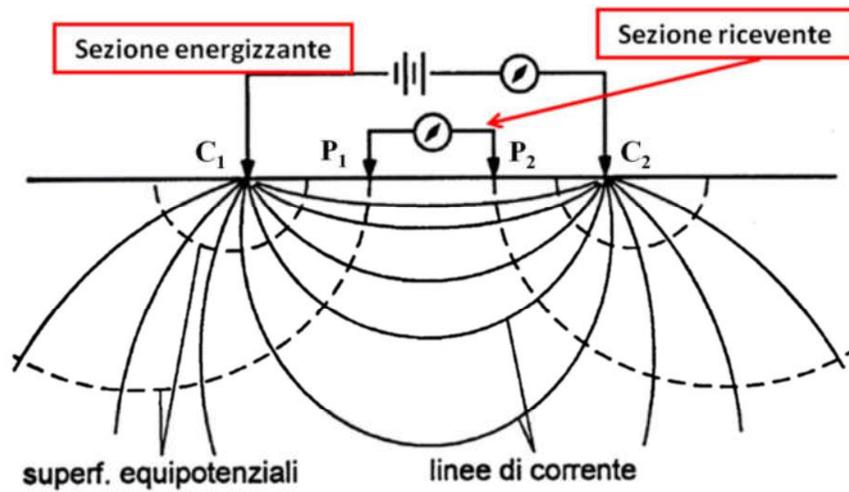


Figura 4 Schematizzazione di un’indagine di resistività. C₁ e C₂ elettrodi di corrente connessi al sistema energizzante; P₁ e P₂ elettrodi di potenziale connessi al sistema ricevente.

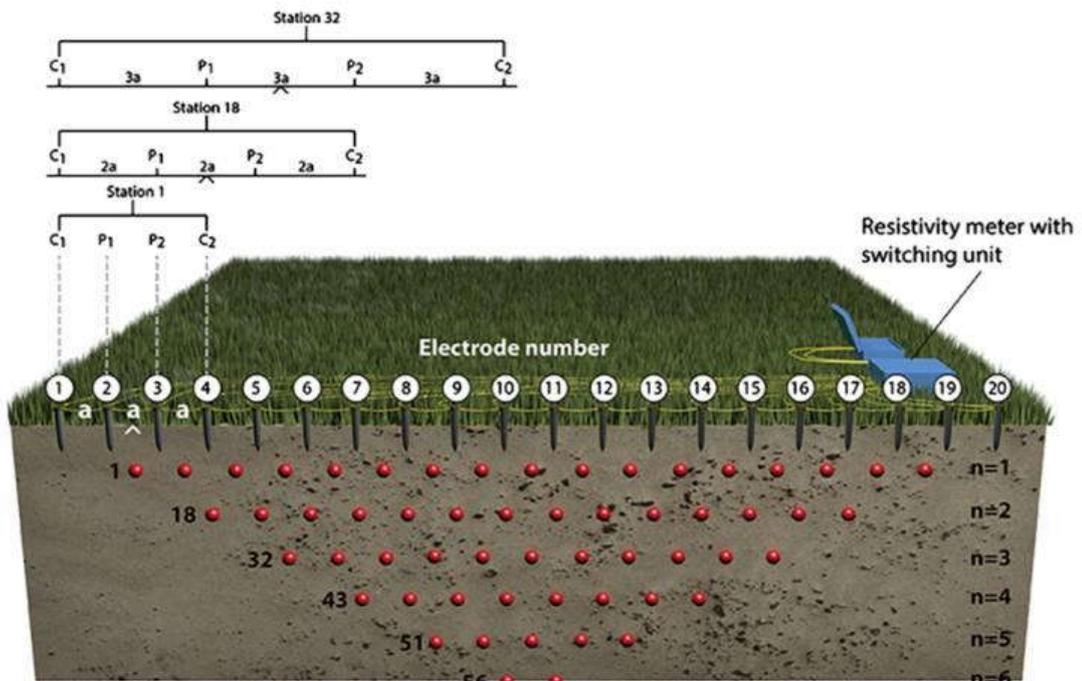


Figura 5 Stendimento multi-elettrodo.

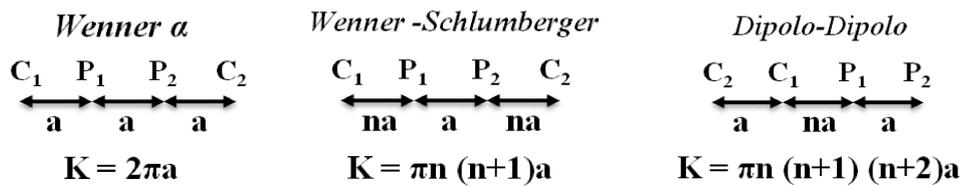


Figura 6 Configurazioni elettrodeiche e relativi fattori geometrici di alcuni stendimenti impiegati in ambito geologico.

3.2. LA RESISTIVITÀ ELETTRICA NELLE ROCCE E NEI TERRENI

Tutte le rocce naturali possono condurre elettricità se sottoposte ad un campo elettrico.

La modalità di trasmissione della corrente elettrica nelle rocce e nei terreni può essere di tre tipi:

- Conduzione elettronica: il flusso di corrente avviene attraverso elettroni liberi come nei metalli. Questi ultimi, infatti, sono costituiti da atomi talmente vicini che gli elettroni esterni risultano delocalizzati e comuni a tutto il cristallo; pertanto, quando viene applicato un campo elettrico tali elettroni sono liberi di muoversi in modo ordinato. Anche i solfuri metallici (pirrotite, galena e pirite) presentano questo tipo di conduzione ed hanno valori di resistività bassi, tipicamente inferiori ad $1 \Omega\text{m}$.
- Conduzione ionica o elettrolitica: in questo caso il flusso di corrente è rappresentato da ioni sia positivi che negativi presenti in soluzione.
- Dielettrica: si verifica nei materiali isolanti come la maggior parte delle rocce in condizioni anidre. Negli isolanti non esistono elettroni di conduzione (a differenza dei metalli), quindi in presenza di un campo elettrico non si verifica un movimento di cariche ma un'orientazione di dipoli, ossia sistemi formati da cariche opposte ma molto vicine tra loro. Sono minerali dielettrici alcuni silicati, ma anche i carbonati e i solfati.

Considerando che le rocce allo stato naturale, sono in genere permeate da una certa quantità d'acqua interstiziale ricca in sali, la conduzione ionica o elettrolitica risulta sempre il principale meccanismo di conduzione. 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 nonché presenza di sostanze organiche (idrocarburi, solventi, etc.).

A causa dei numerosi fattori che influenzano la resistività complessiva di una roccia, appare chiara l'impossibilità di attribuire dei valori di resistività unici per singole classi di rocce o terreni. Per questi si possono stabilire solamente dei range di valori di resistività spesso anche molto ampi (Figura).

Rocce, minerali, minerali metallici	Resistività (ohm·m)
Sedimentarie	
calcare chalk	50-150*
argilla	1-100
ghiaia	100-5000
calcare	50-10 ⁷
marna	1-100
quarzite	10-10 ⁸
argilla (shale)	10-1000
sabbia	500-5000
arenaria	1-10 ⁸
Ignee e metamorfiche	
basalto	10-10 ⁷
gabbro	1000-10 ⁶
granito	100-10 ⁶
marmo	100-10 ⁸
scisto	10-10 ⁴
ardesia	100-10 ⁷
Minerali e minerali metallici	
argento	1,6 × 10 ⁻⁸
grafite (giacimento massivo)	10 ⁻⁴ -10 ⁻³
galena (Pbs)	10 ⁻³ -10 ²
magnetite di giacimento	1-10 ⁵
sfalerite (ZnS)	10 ³ -10 ⁶
pirite	1 × 100
calcopirite	1 × 10 ⁻⁵ -0,3
quarzo	10 ¹⁰ -2 × 10 ¹⁴
salgemma	10-10 ¹³

Figura 7 Intervalli di resistività per rocce, suoli e minerali (da Mussett A. E. 2003).

3.3. STRUMENTAZIONE

Lo strumento utilizzato per le indagini geoelettriche è ABEM Terrameter LS 2, un georesistivimetro di ultima generazione con canali di misurazione integrati, trasmettitore di corrente ad alta potenza, selezionatore di elettrodi, computer e interfaccia utente grafica (Figura).

Il selezionatore di elettrodi incorporato consente di collegare fino a 81 elettrodi, offrendo alta risoluzione e capacità di raggiungere grandi profondità. Durante la misurazione, lo strumento fornisce informazioni continue sulla qualità dei dati, mostrando i risultati direttamente sullo schermo. Il GPS integrato registra automaticamente la posizione dello strumento durante l'acquisizione dei dati; purché vi sia un'adeguata ricezione del segnale GPS.

Oltre alla batteria esterna da 12V è presente una batteria interna progettata principalmente come fonte di alimentazione di *backup* per il funzionamento dello strumento durante l'installazione, il trasferimento di dati etc., ma può essere utilizzata anche per indagini limitate a bassa potenza. I cavi dello stendimento sono del tipo multicanale, ossia ad intervalli regolari e prefissati non

presentano la guaina isolante, e in questi punti detti "take out" vengono collegati gli elettrodi. In base all'array prescelto, il selezionatore di elettrodi integrato invierà la corrente alle varie coppie di elettrodi da energizzare.

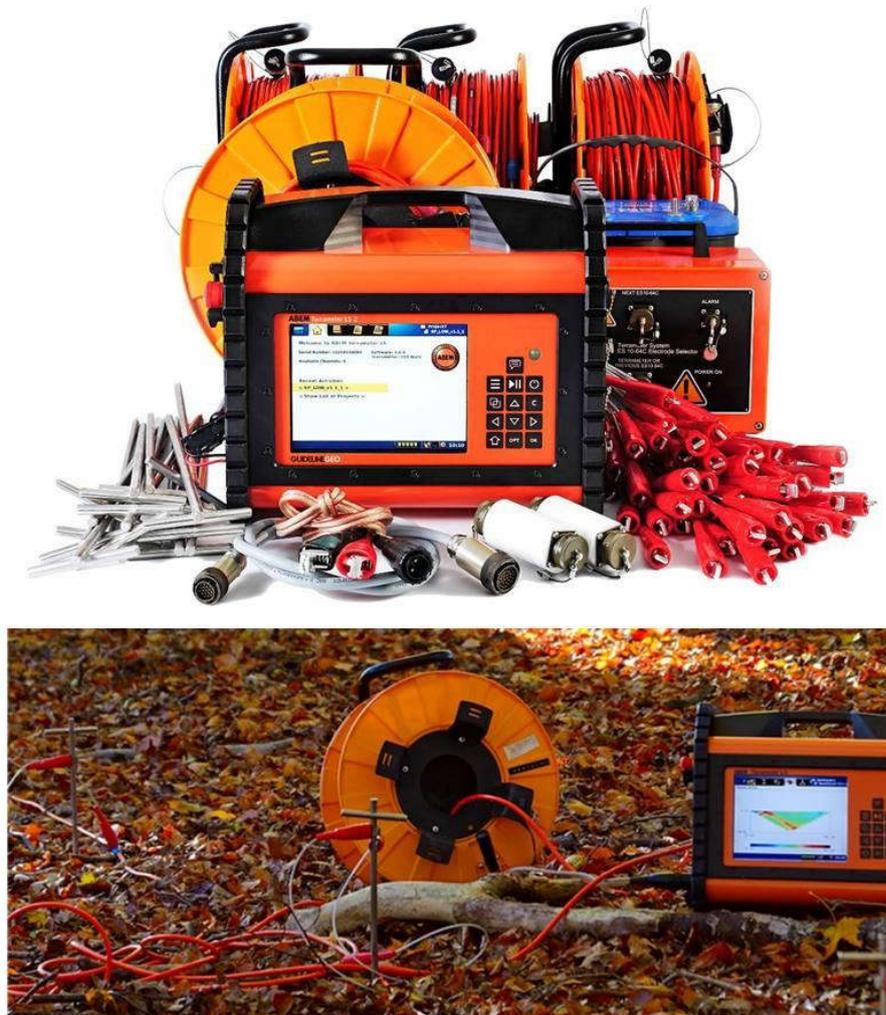


Figura 8 Georesistivimetro Abem Terrameter LS2.

3.4. POSIZIONAMENTO DEI PROFILI GEOELETTICI

I profili geoelettrici indicati con le sigle ERT-1 e ERT-2 ed orientati rispettivamente 15°N e 103°N , sono stati ubicati nel terreno individuato per la realizzazione del bacino di monte (Figura). Si tratta di un altopiano (circa 650 m s.l.m.) adiacente alla strada provinciale SP53 che collega il paese di Escalaplano a quello di Esterzili, nella sponda destra del Lago Medio Flumendosa (Sardegna centro-meridionale).

Entrambe le linee di acquisizione dati sono state posizionate in modo rettilineo fissando nel terreno 64 elettrodi metallici con una spaziatura interelettrodica di 10 m, raggiungendo una lunghezza per profilo di 630 m.

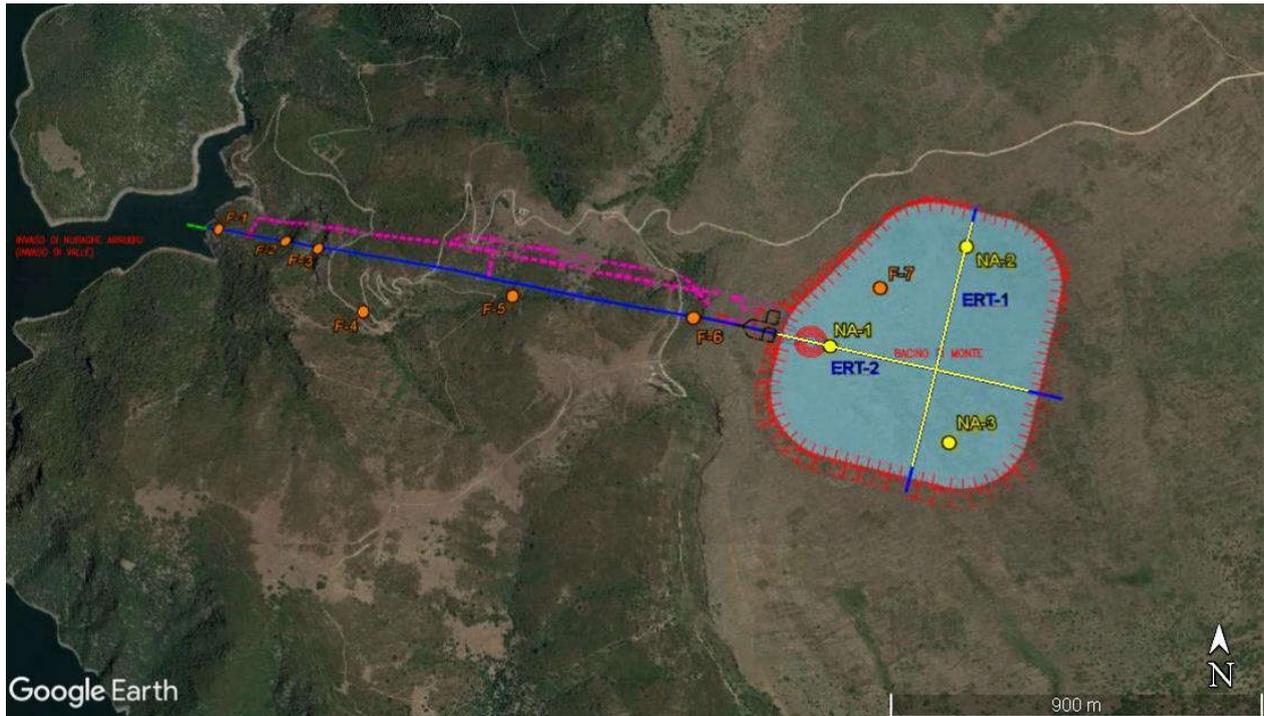


Figura 9 Immagine satellitare del terreno individuato per la realizzazione del bacino di monte: - linee gialle (profili ERT); - linea blu (*waterway*); - linee fucsia (gallerie di accesso necessarie per lo scavo delle opere in sotterraneo); - cerchi gialli (sondaggi previsti); - cerchi arancione (rilievi strutturali programmati).

In Tabella 1 sono riportate le coordinate relative ai punti essenziali degli stendimenti (inizio, fine) che sono stati materializzati sul campo mediante dei picchetti in legno opportunamente siglati (Foto 1 - Allegato C).

Inoltre, è stata misurata la quota relativa di ogni elettrodo al fine di ricostruirne il profilo topografico essenziale per la corretta interpretazione delle tomografie. I punti topografici sono stati acquisiti mediante un clinometro Mk2 (*Invicta Education*) (Foto 3, 5 - Allegato C) e i valori espressi in angoli sono stati successivamente trasformati in quote relative rispetto al primo elettrodo. Le misure di resistività sono state acquisite impiegando un *array* Wenner-Schlumberger con un fattore "*n*" pari a 2 che meglio si presta ad individuare sia le variazioni verticali di resistività che le anomalie orizzontali.

Nome profilo	Elettrodo	Latitudine	Longitudine	Orientazione
ERT-1_inizio	1	39°41'20.91"N	9°19'48.67"E	15° N
ERT-1_fine	64	39°41'40.54"N	9°19'55.64"E	
ERT-2_inizio	1	39°41'31.41"N	9°19'35.02"E	103°N
ERT-2_fine	64	39°41'26.88"N	9°20'0.79"E	

Tabella 1 Coordinate GPS dei profili geoelettrici e loro orientazione. Le coordinate GPS sono state prese utilizzando un GPS Garmin 62ST.

3.5. PROCESSAZIONE DATI

I valori di resistività apparente sono stati scaricati dalla centralina del Terrameter LS2 al PC e convertiti in un formato .dat compatibile con il *software* di inversione RES2DINV (Loke, 2001).

Tutti i dati di resistività apparente 2D sono stati invertiti usando il metodo dei minimi quadrati regolarizzato (Loke et al., 2003). Il problema diretto è stato risolto usando il metodo degli elementi finiti (Silvester and Ferrari, 1990), nel quale la posizione dei nodi è stata aggiustata per permettere alla topografia di essere inserita nel modello durante il processo di inversione.

Un modello ad alta risoluzione è stato ottenuto mediante l'opzione "*model refinement*" che impone l'uso di celle del modello con una larghezza pari alla metà della minima spaziatura elettrodica. Per ottenere una chiave interpretativa omogenea e funzionale, tutti i modelli di resistività sono stati rappresentati con la stessa scala di colori e valori.

4. TOMOGRAFIE ERT-1 E ERT-2: RISULTATI ED INTERPRETAZIONE DATI

L'indagine geoelettrica, eseguita con il metodo ERT, ha permesso di raggiungere una profondità massima d'indagine di circa 120 m dal piano campagna (p.c.).

In entrambe le tomografie (Figura) è possibile distinguere tre elettrostrati:

- uno superficiale resistivo, caratterizzato da valori superiori a 600 Ωm , rappresentato nella scala cromatica adottata dalle variazioni di colore che vanno dal rosso al viola;
- uno intermedio, con resistività compresa tra 300 e 600 Ωm , rappresentato dalle colorazioni arancione-giallo intenso;
- uno profondo più conduttivo, con un *range* di resistività che va da 100 a 300 Ωm , rappresentato dalle variazioni di colore che vanno dal giallo più chiaro a quello più scuro.

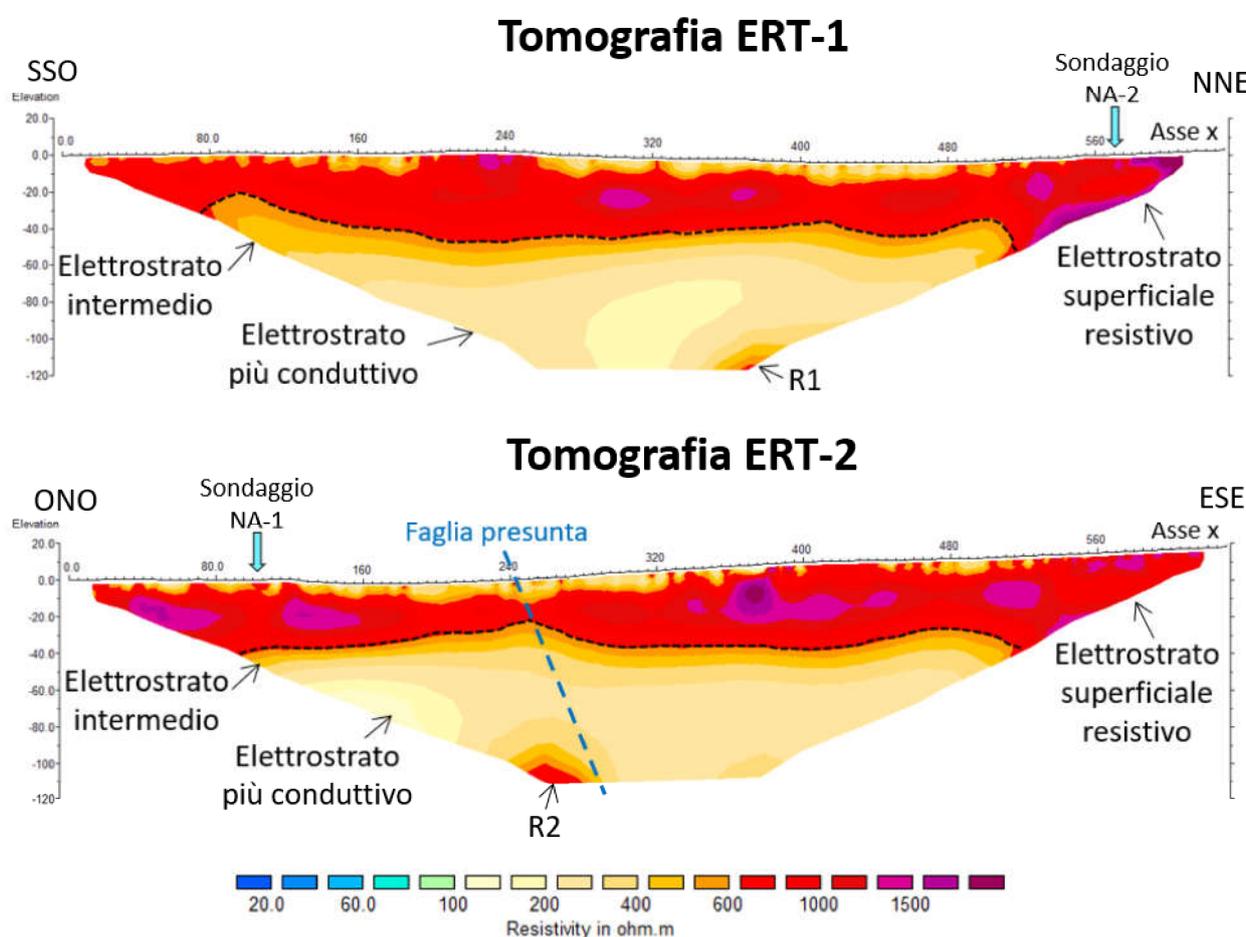


Figura 10 Tomografie elettriche ERT-1 e ERT-2. La linea nera tratteggiata indica il contatto stratigrafico tra le dolomie resistive e le siltiti più conduttive; la linea blu tratteggiata segnala una probabile faglia. R1 e R2 sono anomalie resistive rilevate al margine delle tomografie.

L'elettrostrato superficiale resistivo, risulta sub-orizzontale e continuo con uno spessore variabile da un minimo di 20 m ad un massimo di 45 m.

Lo spessore minimo si registra rispettivamente alla progressiva 410 m (asse x) nella tomografia ERT-1 e 250 m (asse x) nella tomografia ERT-2; mentre lo spessore massimo si rileva in

prossimità delle progressive 240 e 560 m (asse x) nella tomografia ERT-1 e nel tratto finale del profilo ERT-2 (400÷560 m - asse x).

Dalle osservazioni sul terreno e dai primi dati diretti relativi ai sondaggi in atto nell'area, questo elettrostrato resistivo è ascrivibile alle dolomie e/o calcari dolomitici di colore da biancastro a nocciola della Formazione di Dorgali. Questo strato roccioso affiora in alcuni punti dei profili, soprattutto a quote topografiche più elevate (Foto 5, 8 - Allegato C)

Nel tratto compreso tra il metro 260÷480 m (asse x) nella tomografia ERT-1 e 130÷320 m (asse x) nella tomografia ERT-2, le dolomie risultano coperte da sedimenti colluviali, sia clasto che matrice sostenuti, con sottile suolo vegetale (resistività 300÷600 Ω m) che raramente raggiunge i 5-6 metri di spessore.

Il limite inferiore delle dolomie è ben definito dalla linea di iso-resistività dei 600 Ω m (passaggio dal rosso all'arancione) (Figura).

L'elettrostrato intermedio sottostante, registra un repentino abbassamento nei valori di resistività (da 600 a 300 Ω m) nell'intervallo di profondità 35÷50 m. Le stratigrafie dei sondaggi diretti a tali profondità rilevano sottili livelli conglomeratici e argillosi, seguiti da siltiti carboniose con uno spessore di 12-15 m appartenenti alla Formazione di Genna Selole.

Questo elettrostrato appare continuo in entrambe le tomografie, anche se il limite inferiore non è ben distinguibile a causa di un graduale abbassamento dei valori di resistività procedendo in profondità.

L'elettrostrato profondo più conduttivo, che si estende da circa 50-60 m alla massima profondità raggiunta dall'indagine, è compatibile con le litologie appartenenti alle porzioni più superficiali del basamento metamorfico ercinico (Arenarie di San Vito, Formazione di Monte Santa Vittoria). Si tratta prevalentemente di metarenarie, metasiltiti e metaconglomerati che per caratteristiche fisiche e di genesi risultano meno compatte delle dolomie e di conseguenza maggiormente conduttive.

Si segnalano piccole anomalie resistive, denominate R1 ed R2, (400÷1.000 Ω m) in corrispondenza del margine più profondo (a circa 100 m da p.c.) nord-est dell'ERT-1 e nord-ovest dell'ERT-2 che potrebbero identificare porzioni rocciose meno alterate e più compatte del basamento, messe in continuità laterale da strutture deformative.

Non si esclude infatti la presenza di una faglia ad andamento NO-SE in prossimità della progressiva 240 m (asse x) nella tomografia ERT-2, adiacente all'anomalia resistiva sopra descritta (R2, Figura). Di seguito vengono riportate le tomografie viste in prospezione 3D dai differenti punti cardinali (Figure da 11 a 14).

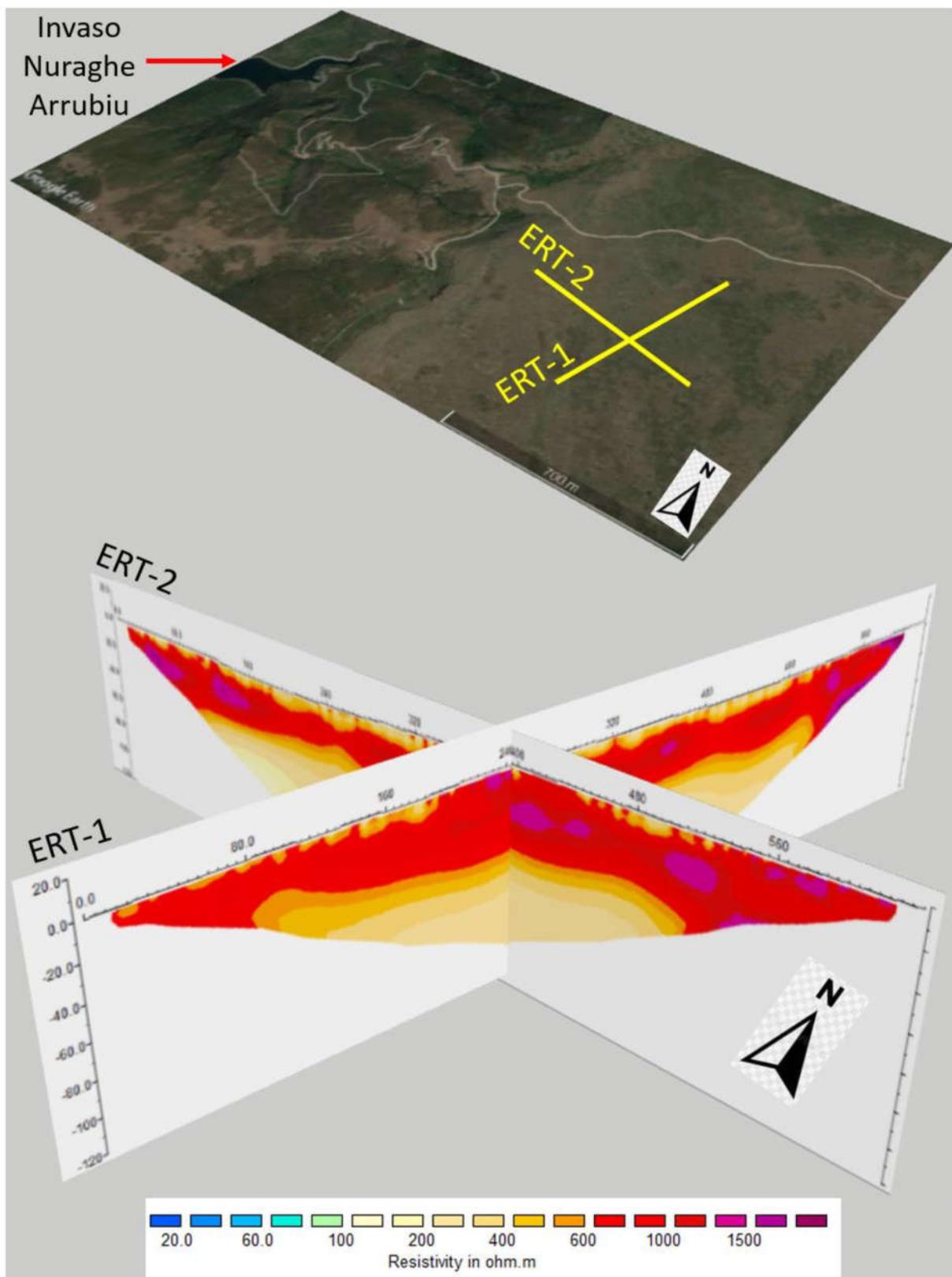


Figura 11 – Visione 3D dell’intersezione tra le tomografie ERT-1 e ERT-2 da SUD-EST.

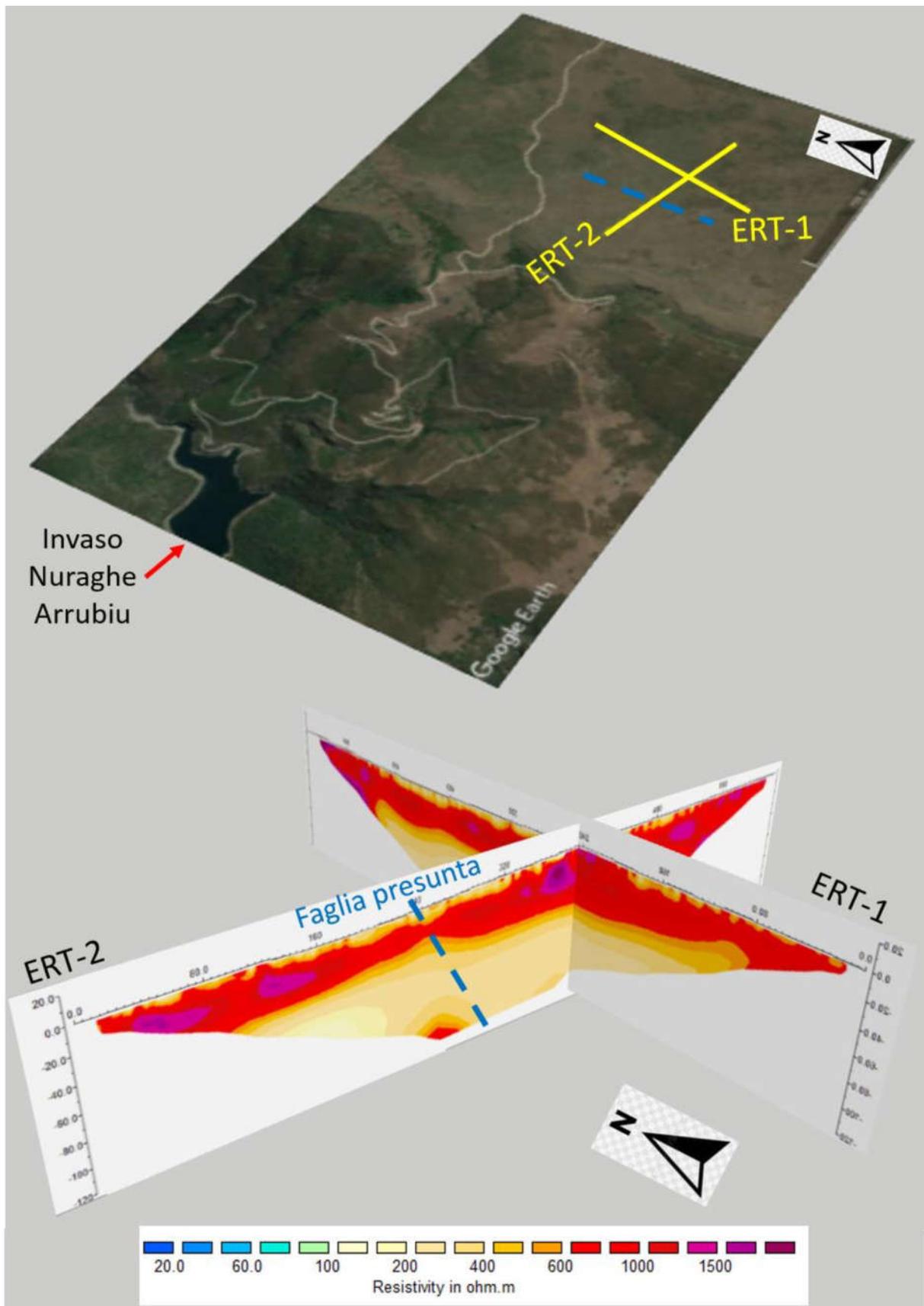


Figura 12 – Visione 3D dell'intersezione tra le tomografie ERT-1 e ERT-2 da SUD-OVEST. Con la linea blu tratteggiata è riportata la faglia presunta.

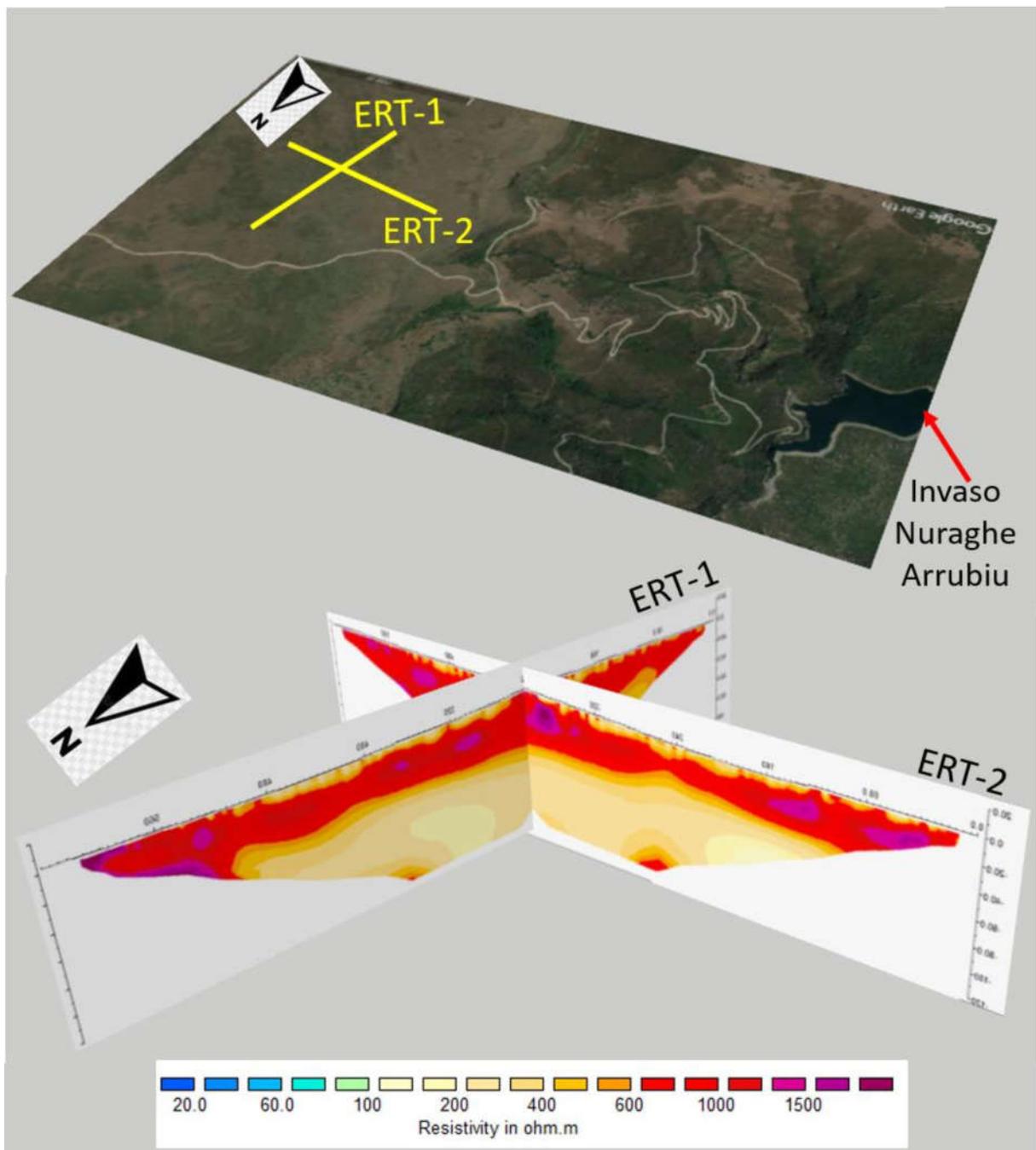


Figura 13 – Visione 3D dell'intersezione tra le tomografie ERT-1 e ERT-2 da NORD-OVEST.

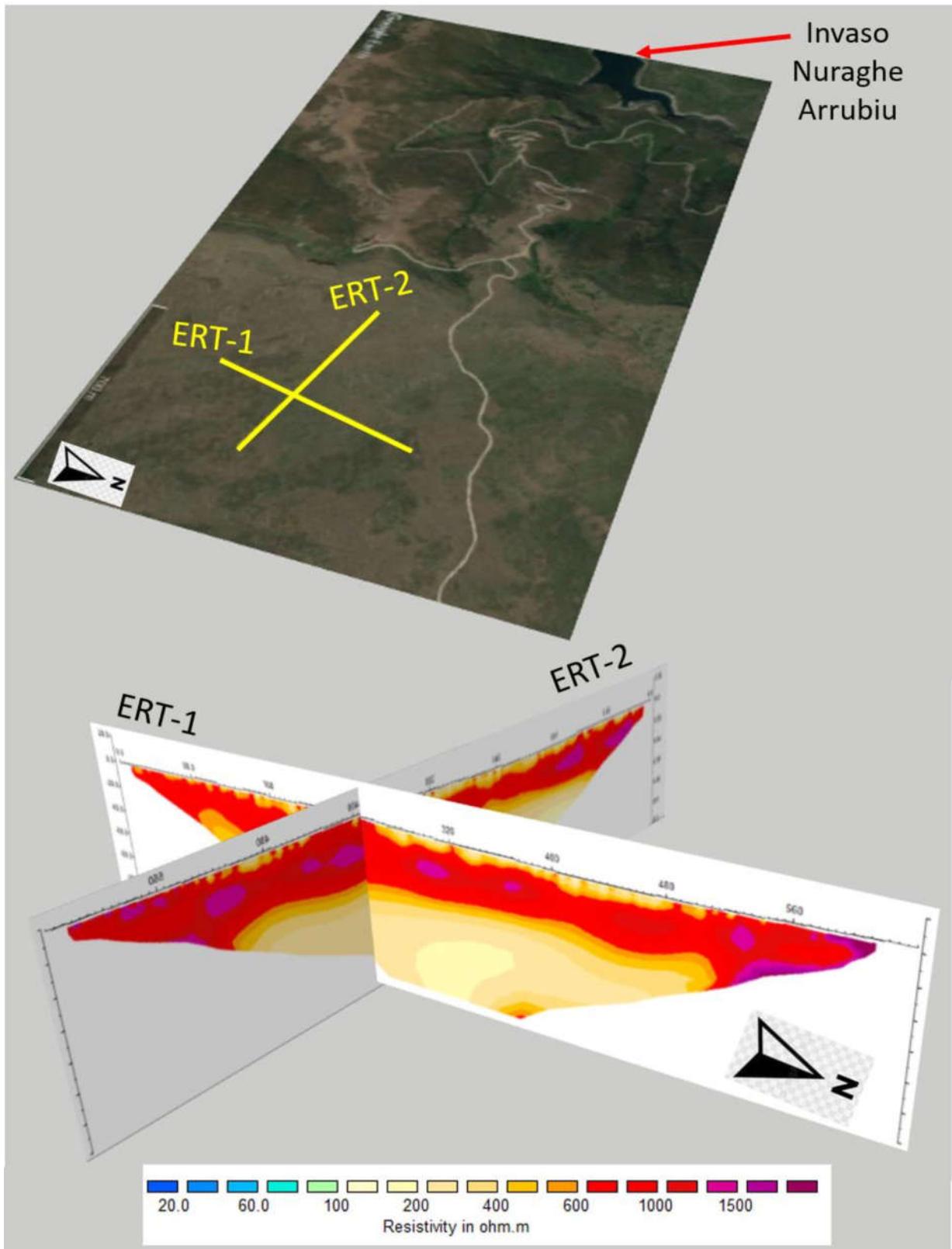


Figura 14 – Visione 3D dell’intersezione tra le tomografie ERT-1 e ERT-2 da NORD-EST.

5. CONCLUSIONI

Le indagini geoelettriche con tecnica tomografica (ERT), condotte nell'ambito del progetto "Impianto di accumulo idroelettrico ad alta flessibilità di Taccu Sa Pruna" in agro del comune di Esterzili (SU), hanno registrato le variazioni di resistività elettrica delle litologie presenti nell'area, lungo sezioni bidimensionali.

Le tomografie elettriche presentano un RMS (*Root Mean Square error*) inferiore al 3% (Allegato B) indice di un ottimo grado di accuratezza dei modelli geofisici (Loke, 2010).

Dall'interpretazione dei modelli è possibile ricavare informazioni sullo spessore, continuità laterale, grado di alterazione e fratturazione dei depositi carbonatici mesozoici che sovrastano il basamento metamorfico ercinico (par.4.1).

In particolare, nelle tomografie ERT-1 e ERT-2 (Figura) è possibile distinguere, dalla superficie alla profondità di 120 m circa, tre elettrostrati:

- uno superficiale resistivo, caratterizzato da valori superiori a 600 Ωm , ascrivibile alle dolomie e/o calcari dolomitici della Formazione di Dorgali;
- uno intermedio, con resistività compresa tra 300 e 600 Ωm , attribuibile alle siltiti carboniose della Formazione di Genna Selole;
- uno profondo maggiormente conduttivo, con un range di resistività che va da 100 a 300 Ωm , compatibile con le metarenarie, metasiltiti e metaconglomerati del basamento ercinico (Arenarie di San Vito, Formazione di Monte Santa Vittoria).

Il contatto tra le dolomie e le siltiti carboniose viene chiaramente identificato in entrambe le tomografie dalla linea di iso-resistività dei 600 Ωm ad una profondità di 30÷45 m. A tale profondità si rileva un repentino abbassamento nei valori di resistività, testimoniato dalle linee di iso-resistività molto ravvicinate.

Al contrario, il contatto tra le litologie della Formazione di Genna Selole e quelle del basamento risulta sfumato a causa di un abbassamento graduale nei valori di resistività procedendo in profondità (le linee di isoresistività risultano più distanziate). Pertanto, le tomografie non risolvono correttamente lo spessore delle siltiti (12-15 m dai sondaggi). Si verifica in questo caso il principio della soppressione (Reynolds, 1997; Longo et al., 2014), in base al quale maggiore è la profondità alla quale si trova uno strato e più grande deve essere il suo spessore affinché il suo effetto sia visibile sul modello sperimentale. Inoltre, queste siltiti mostrano dei valori di resistività più alti rispetto a quelli attesi e riportati in letteratura, poiché sono sovrastate da uno strato di dolomie molto più potente (spessore circa 40 m) e resistivo che ne influenza le misure.

Delle piccole anomalie resistive ($400 \div 1000 \Omega m$) nel margine profondo delle ERT, potrebbero identificare porzioni rocciose meno alterate e più compatte del basamento, messe in continuità laterale da strutture deformative. In particolare, si rileva una faglia in prossimità della progressiva 240 m (asse x) nella tomografia ERT-2, che dovrebbe far parte del sistema di faglie dirette (e/o trascorrenti) orientate circa NO-SE che hanno avuto un ruolo importante nella strutturazione oligo-miocenica, rilevabili anche da fotointerpretazione (par. 2.2).

Data la bassa risoluzione delle tomografie, dovuta all'interdistanza elettrodica adottata per raggiungere elevate profondità, non è possibile rilevare tutti i campi di fratture e faglie con distanziamento metrico individuabili da foto aerea (Figura 3).

I dati ottenuti da queste indagini ERT hanno fornito un inquadramento preliminare della risposta elettrica del sottosuolo. Incrociare i dati geofisici ottenuti con le informazioni litostratigrafiche derivanti dai primi sondaggi, ha permesso di risolvere le approssimazioni circa lo spessore dello strato intermedio compreso tra le dolomie resistive e le metamorfite erciniche più conduttive.

Pertanto, per avere una caratterizzazione geologico-stratigrafica completa del sito, sarà fondamentale il confronto dei dati geoelettrici con tutte le stratigrafie dei sondaggi realizzati nell'area e con le altre indagini geofisiche in progetto.

6. BIBLIOGRAFIA

- GRIFFITHS, D.H., TURNBULL, J., OLAYINKA, A.I., 1990. *Two-dimensional resistivity mapping with a complex controlled array*. First Break 8(4):121-129.
- GRIFFITHS, D.H., BARKER, R.D., 1993. *Two dimensional resistivity imaging and modeling in areas of complex geology*. J. Appl. Geoph. 29:211-226.
- LOKE, M.H., 1999. *Electrical imaging survey for environmental and engineering studies*.
Unpublished report: www.geoelectrical.com.
- LOKE, M.H., 2001. *RES2DINV ver. 3.4: Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method*. www.terraplus.com, 98.
- LOKE, M.H., ACWORTH, I., AND DAHLIN, T., 2003. *A comparison of smooth and blocky inversion methods in 2D electrical imaging surveys*. Exploration Geophysics 34, 3, 182-187. DOI:10.1071/EG03182
- LOKE, M.H., 2010. *Tutorial: 2-D and 3-D Electrical Imaging Surveys*. Geotomo Software, Res2dinv 3.5 Software.
- LONGO V., TESTONE V., OGGIANO G. AND TESTA A., 2014, *Prospecting for clay minerals within volcanic successions: application of electrical resistivity tomography to characterise bentonite deposits in northern Sardinia (Italy)*. Journal of Applied Geophysics, pp. 21-32. DOI:10.1016/j.jappgeo.2014.09.014 EID: 2-s2.0-84907811951
- MUSSETT, A. E., KHAN, M. A., 2003. *Esplorazione del sottosuolo, un'introduzione alla geofisica applicata*, Bologna.
- REYNOLDS J.M. (1997): *An introduction to Applied and Environmental Geophysics*. J. Wiley & Sons, Chichester, 796 pp.
- SILVESTER, P.P., AND FERRARI, R.L., 1990. *Finite elements for electrical engineers* (2nd. ed.). Cambridge University Press, 516.

ALLEGATI

ALLEGATO A: LOCALIZZAZIONE INDAGINI

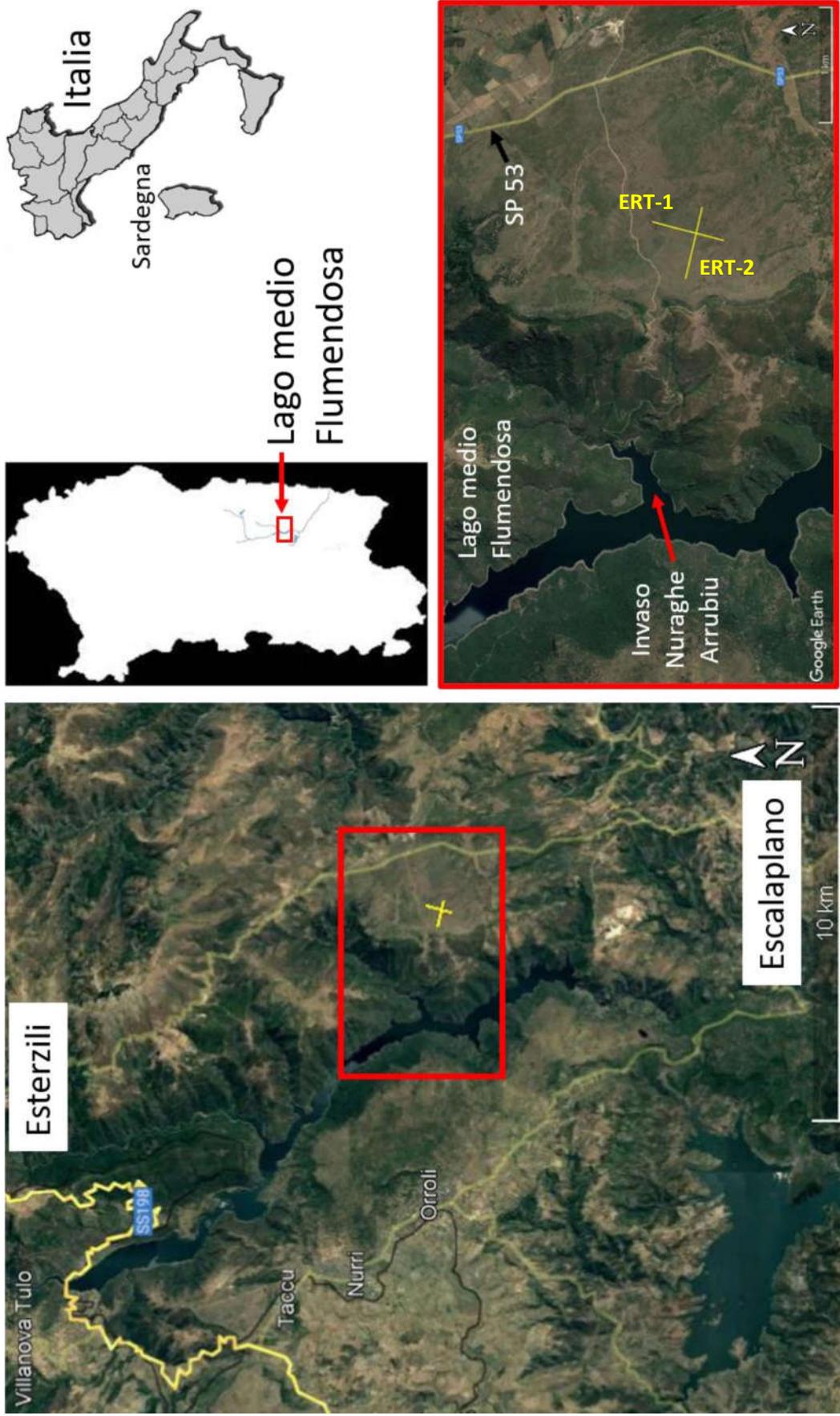
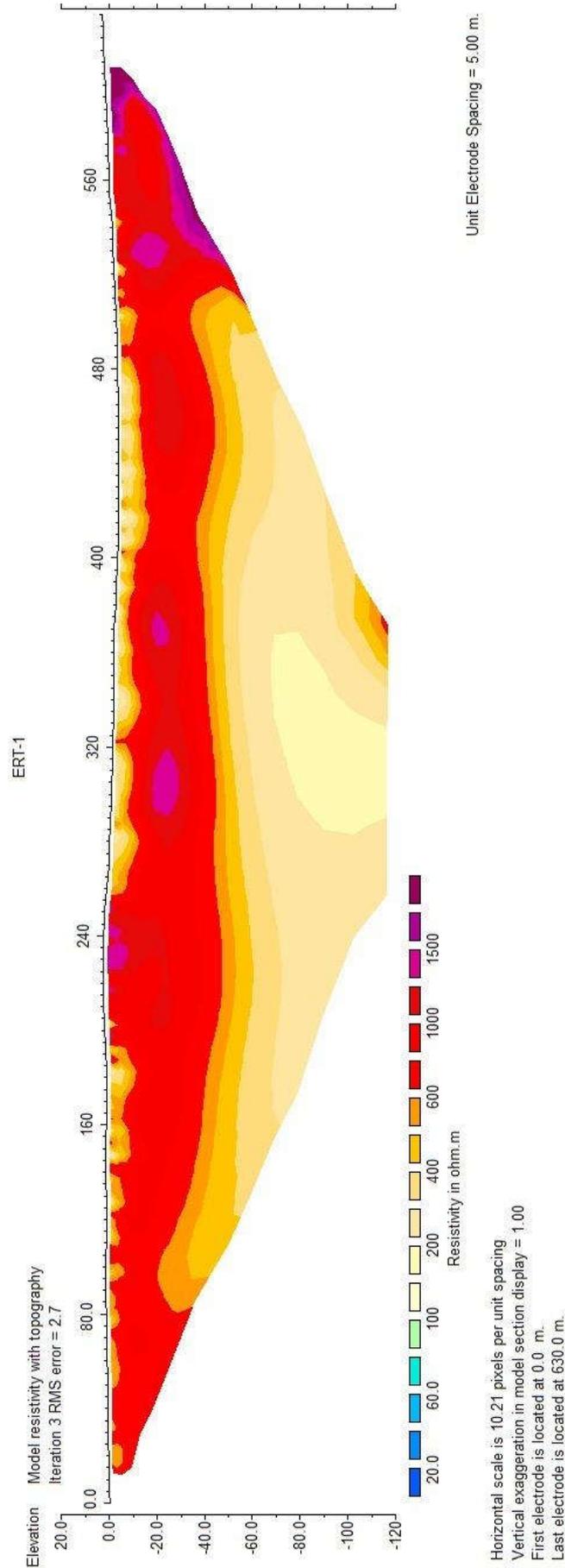
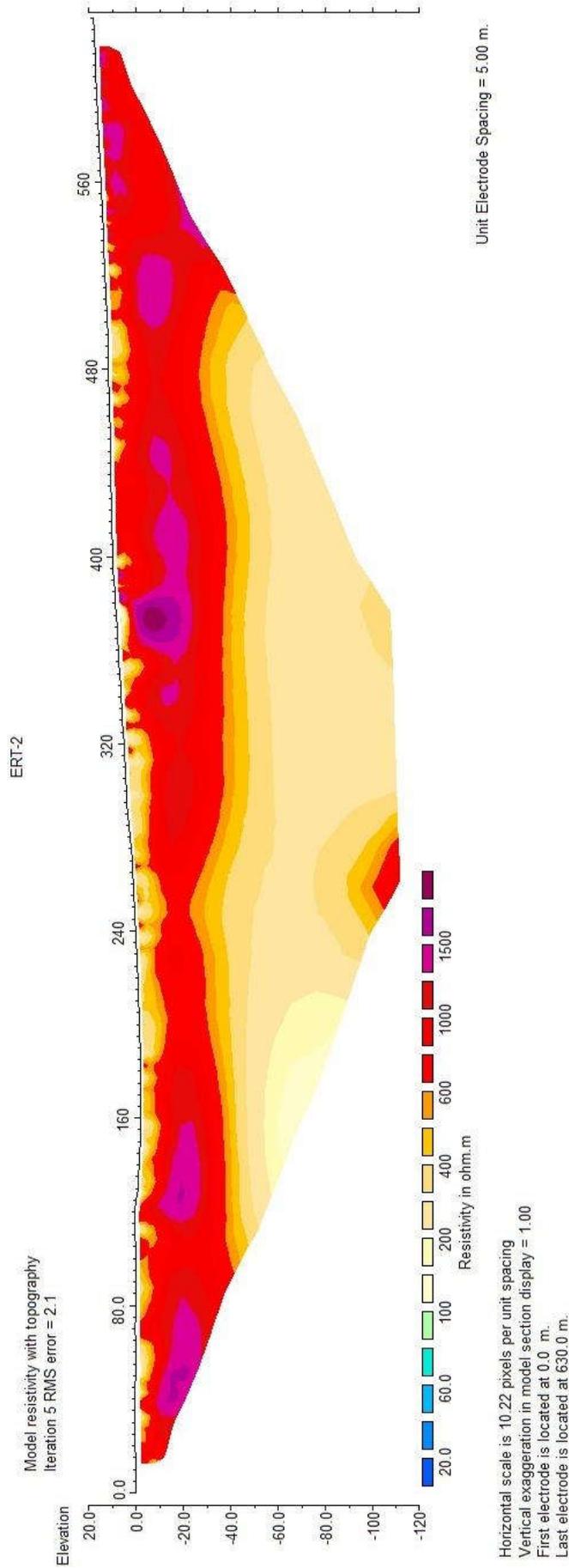


Immagine satellitare del sito individuato per la costruzione dell’impianto idroelettrico in agro del comune di Esterzili (SU). In giallo sono riportate le tracce dei profili ERT.

ALLEGATO B: ERT-1 E ERT-2



Tomografia elettrica di resistività ERT-1



Tomografia elettrica di resistività ERT-2

ALLEGATO C: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Foto 1 - Localizzazione degli estremi delle linee ERT sul campo mediante picchetti in legno.



Foto 2 - Localizzazione del sondaggio NA3 rispetto alla linea di acquisizione dati ERT-1.



Foto 3 - Rilevamento del profilo topografico nel tratto iniziale della linea ERT-1 mediante clinometro.



Foto 4 - Posizionamento del georesistivometro nel punto centrale di ERT-1 durante le fasi di acquisizione dati.



Foto 5 - Rilevamento della topografia nel tratto centrale di ERT-2. In primo piano affioramento di dolomie.



Foto 6 - Posizionamento del georesistivimetro nel punto centrale di ERT-2 durante le fasi di acquisizione.



Foto 7 - Localizzazione del sondaggio NA-1 (tubo blu) rispetto alla linea di acquisizione dati ERT-2 (100 m circa dall'inizio del profilo). In primo piano affioramento di dolomie.



Foto 8 - Tratto finale della linea di acquisizione dati ERT-2



INTEGRATO PERI 2004
Certificato n. 50140/0902

PROSPEZIONI GEOFISICHE PER L'ESPLORAZIONE,
LO STUDIO E LA CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO

GEORISORSE
ITALIA

**COMUNE DI ESTERZILI
PROVINCIA SUD SARDEGNA**

**TACCU SA PRUNA: PROGETTO DI IMPIANTO DI
ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO
AD ALTA FLESSIBILITÀ**

INDAGINE GEOFISICA

Committente:



Rapporto Tecnico #2599/22
Rev. 00

di:

GIANFRANCO CENSINI

Geologo / Geofisico – Ordine dei Geologi della Toscana – n.299
Associato a European Association of Geoscientists and Engineers
Geophysical Division al n.M1987-093

In collaborazione con:

STEFANO CONTI

Geologo-Geofisico - Ordine dei Geologi della Sardegna n.344

Marzo 2022

GEORISORSE ITALIA di G. Censini & C. s.a.s

Prospezioni geofisiche per l'esplorazione, la caratterizzazione e lo studio del sottosuolo

Via E. Fermi, 8 – 53048 SINALUNGA (SI) – Unità Locale di Porto Torres (SS)

www.georisorse.it – info@georisorse.it – georisorse.italia@pec.it

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario:  EDISON EDF GROUP</p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 2 / 45</p>
--	--	---

Indice

1. PREMESSA		5
2. ATTIVITÀ SVOLTE		8
3. ACQUISIZIONE DATI		10
3.1 SISMICA TOMOGRAFICA		10
3.2 TOMOGRAFIA DI RESISTIVITÀ ELETTRICA (ERT)		12
3.3 RILIEVO TOPOGRAFICO DEI PUNTI DI INDAGINE		16
3.4 SISMICA IN FORO (DOWN HOLE)		17
4. DATA PROCESSING		19
4.1 SISMICA TOMOGRAFICA		19
4.2 TOMOGRAFIA DI RESISTIVITÀ ELETTRICA (ERT)		21
4.3 METODO DOWN HOLE.....		25
4.3.1 STAMPA DEI SISMOGRAMMI RELATIVI AI CANALI UTILIZZATI PER LA DETERMINAZIONE DELLE VELOCITA'		28
4.3.2 TABELLE DEI TEMPI DI ARRIVO MISURATI E CORRETTI DELLE ONDE P E DELLE ONDE SH.....		30
4.4.3 DROMOCRONE E DIAGRAMMA DELLE VELOCITA' – DH-S1		32
5. CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI CONSEGUITI		36
5.1 BACINO DI MONTE		36
5.2 GALLERIE DI ACCESSO, DI SCARICO E POZZO PARATOIE		41
5.3 SINTESI DEI RISULTATI.....		45

n. 7 Tavole allegate

RAD	RED	QC
<small>(Responsabile Acquisizione Dati)</small>	<small>(Responsabile Elaborazione Dati)</small>	<small>(Responsabile Controllo Qualità)</small>
Dr Geol. Stefano Conti	D.ssa Chiara Amerighi	D.ssa Giulia Censini

RISERVATEZZA:

Il presente documento viene redatto da personale di Georisorse Italia ed è gestito nella totale riservatezza delle informazioni qui inserite e/o di cui si verrà a conoscenza.

Tutto il personale è assunto con il Contratto Concordato Nazionale dei Lavoratori degli Studi Tecnici Professionali ed è obbligato al rispetto delle norme di tutela di riservatezza dei dati tecnici e dei dati personali.

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

<p>Committente:  Beneficiario: </p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 Rapporto n. 2599/22 Pag. 3 / 45
--	---	---

Figura 1 - Area del Progetto Taccu sa Pruna.....	5
Figura 2 - Ubicazione dell'area di progetto sulla base della Geologia Regionale della Sardegna	6
Figura 3 - Piano di posizione generale sul layout del Progetto di Massima.....	9
Figura 4 - Stendimenti delle indagini sismiche.....	10
Figura 5 - Postazione d'acquisizione dati	11
Figura 6 - Sismogramma di campagna	11
Figura 7 - Schema generico per misure di resistività elettrica.....	12
Figura 8 - Differenti profondità di penetrazione del segnale al variare delle dimensioni	13
Figura 9 - Dispositivo Polo-Dipolo.....	13
Figura 10 - Approccio multi-elettrodico	14
Figura 11 - Strumentazione di misura IRIS – Syscal PRO Switch 48.....	14
Figura 12 - Operazioni di ricezione dei segnali GPS (immagine di repertorio)....	16
Figura 13 – Down-hole DH-S1 fase di acquisizione	17
Figura 14 - Sistema di generazione delle onde SH.....	18
Figura 15 - Individuazione dei primi arrivi	20
Figura 16 - Scala cromatica per le tomografie in onde P	21
Figura 17 - Tomografia sismica per il profilo PR-4S in onde P	21
Figura 18 - Profilo geoelettrico profondo PDP-2E (Elaborazione con algoritmo <i>standard</i>)	24
Figura 19 - Profilo geoelettrico profondo PDP-2E (Elaborazione con algoritmo <i>robust</i>).....	24
Figura 20 - Down-Hole_Schema operativo	26
Figura 21 - Down-Hole DH-S1_Onde P assemblaggio delle tracce del canale 1	28
Figura 22 - Down-Hole DH-S1_Onde SH assemblaggio delle tracce del canale 12.....	29
Figura 23 - Down-Hole DH-S1_Dromocrone e calcolo della velocità di strato	32
Figura 24 - Down-Hole DH-S1_Diagramma delle velocità delle onde P d SH	33
Figura 25 - Down-Hole DH-S1_Diagramma del Coefficiente di Poisson.....	35
Figura 26 - Legenda interpretativa per le indagini relative alle fondazioni degli argini	37
Figura 27 - Sezione interpretativa per le fondazioni sul lato Ovest-Nord-Ovest del Bacino	39
Figura 28 - Sezione interpretativa per le fondazioni sul lato Sud-Sud-Ovest del Bacino	39
Figura 29 - Sezione interpretativa per le fondazioni sul lato Est-Sud-Est del Bacino	40
Figura 30 - Sezione interpretativa per le fondazioni sul lato Nord-Nord-Est del Bacino	40
Figura 31 - Discontinuità sub-orizzontale tra la Formazione di Dorgali ed i terreni sottostanti.....	42
Figura 32 - Discontinuità ad inclinazione variabile nel substrato paleozoico.....	42

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

<p>Committente:  Beneficiario: </p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 Rapporto n. 2599/22 Pag. 4 / 45
--	---	---

Figura 33 - Zona di intensa fratturazione tra la P.k. 1+390 ed 1+450 della galleria di scarico 43

Figura 34 - Zona potenzialmente intensamente fratturate alla P.k. 0+000 - 0+400 44

Figura 35 - Mappa di sintesi delle strutture individuate dalla campagna di indagini geofisiche 45

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

1. PREMESSA

Il presente rapporto riporta i risultati ottenuti dalle prospezioni geofisiche eseguite nei periodi 12-19 Dicembre 2021 e 17-28 Gennaio 2022, nell'ambito del Progetto di realizzazione di un impianto di accumulo idroelettrico presso il Lago del Flumendosa in Località Taccu sa Pruna (**Figura 1**) nel Comune di Esterzili (SU).



Figura 1 - Area del Progetto Taccu sa Pruna

Il programma di intervento di cui alla Ns. proposta n°13221 prevedeva l'esecuzione di una campagna di indagine concentrata nelle seguenti tre aree:

- 1) Bacino di Monte: indagato mediante l'esecuzione di profili sismici ad onde P e profili geoelettrici polo-dipolo per una lunghezza complessiva di circa 2.275 m per ciascuna delle metodologie e profondità d'indagine

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

di 40-60 m dal p.c. La stessa area è stata indagata mediante l'esecuzione di misure sismiche in foro con la tecnica Down-Hole in corrispondenza del foro di sondaggio DH-S1 (56 m di profondità).

- 2) Gallerie di accesso e di carico/scarico: indagata mediante l'esecuzione di un profilo geoelettrico polo-dipolo PR-2E della lunghezza di 2.225 m, in questo caso le profondità d'indagine sono decisamente maggiori e arrivano a circa 400 m dal p.c.
- 3) Lago di Flumendosa (opera di presa): sono state eseguite indagini mediante tre profili sismici e tre profili geoelettrici polo-dipolo, ubicati nella stessa posizione, per un totale di 825 m di acquisizione per ciascuna metodologia.

Vedi schema allegato riportato in **Figura 2**, in sovrapposizione alla Carta Geologica della Regione Autonoma della Sardegna disponibile on-line.



Figura 2 - Ubicazione dell'area di progetto sulla base della Geologia Regionale della Sardegna

In questo rapporto tecnico si riportano i risultati ottenuti dal *processing* dei dati acquisiti e presentati in forma di tomografie dei parametri "Resistività

<p>Committente:  Beneficiario: </p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 Rapporto n. 2599/22 Pag. 7 / 45
--	---	---

elettrica” e “Velocità sismica delle onde P”. Per ogni sezione esplorata viene riportata un’interpretazione litologico – stratigrafica.

Questa interpretazione è basata su considerazioni generiche relativamente ai valori tipici delle varie litologie per i suddetti parametri come da nostre esperienze e sulla base dei dati stratigrafici derivati dalle stratigrafie dei Sondaggi geognostici eseguiti.

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario:  EDISON EDF GROUP</p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 8 / 45</p>
--	--	---

2. ATTIVITÀ SVOLTE

Di seguito si riporta la suddivisione temporale e l'avvicendamento delle attività di campagna svoltesi, a partire dal loro inizio del 12/12/2021 fino alla fase conclusiva del 28/02/2021.

Data	Attività	Quantità	Cumulativo
12/12/21	Mobilizzo da Sinalunga/Porto Torres a Esterzili con 5 operatori: Dr Geol. Stefano Conti (Capo missione) P. Min. Daniele Meschini (Capo operatore) Sig. Andrea Cau (Operatore) Sig. Lorenzo Lorenzi (Operatore) Sig. Leonardo Puzo (Operatore) e 2 Automezzi: Nissan Van NV200 Targato EJ911AX Nissan Pickup Navara Targato FY411EJ	---	---
13/12/21	Esecuzione indagini geoelettriche lungo il profilo PR-1E (Gallerie accesso e carico/scarico).	1.025mPDP-2E	
14/12/21	Esecuzione di parte delle indagini sismiche lungo il profilo PR-1S (Bacino di monte)	760m PR-1S	
15/12/21	Esecuzione di parte delle indagini sismiche lungo il profilo PR-1S (Bacino di monte)	760m PR-1S	1.520 PR-1S
16/12/21	Esecuzione di parte delle indagini sismiche lungo il profilo PR-1S (Bacino di monte)	755m PR-1S	2.275 PR-1S
17/12/21	Esecuzione di parte delle indagini geoelettriche lungo il profilo PR-1E (Bacino di monte); Indagine Down-Hole su foro di sondaggio NA_1 della profondità di 56m.	780m PDP-1E DH-NA1 (56m)	780m PR-1E DH-NA1 (56m)
18/12/21	Esecuzione di parte delle indagini geoelettriche lungo il profilo PR-1E (Bacino di monte);	1'495m	2.275m PR-1E
19/12/21	Rientro in sede della squadra		
17/01/22	Ripresa con attività sismiche nei pressi del Lago di Flumendosa		
17/01/22	Esecuzione di parte delle indagini sismiche lungo il profilo PR-4S trasversale alla galleria di carico /scarico.	235m PR-4S	2.510m PR-4S
18/01/22	Esecuzione di parte delle indagini sismiche lungo il profilo PR-5S vicino al lago; Esecuzione di parte delle indagini sismiche lungo il profilo PR-3S parallelo alla galleria di carico/scarico.	115m PR-5S 235m PR-3S	2.625 PR-5S 2.860 PR-3S
19/01/22	Esecuzione di parte delle indagini sismiche lungo il profilo PR-3S parallelo alla galleria di carico/scarico.	235m PR-3S	3.095 PR-3S

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

23/01/22	Esecuzione di parte delle indagini geoelettriche lungo il profilo PDP-2E	575m PDP-2E	575 m PDP-2E
24/02/22	Esecuzione di parte delle indagini geoelettriche lungo il profilo PDP-2E	600 m PDP-2E	1.175 m PR-2E
25/02/22	Esecuzione di parte delle indagini geoelettriche lungo il profilo PDP-2E	600 m PDP-2E	1.775 m PDP-2E
26/02/22	Esecuzione di parte delle indagini geoelettriche lungo il profilo PDP-3E	450 m PDP-2E 235 m PDP-3E	2.225 m PDP-2E 235 m PDP-3E
27/02/22	Esecuzione di parte delle indagini geoelettriche lungo i profili PDP-3E e PDP-4E	240 m PDP-3E 235 m PDP-4E	475 m PDP-3E 235 m PDP-4E
28/02/22	Esecuzione di parte delle indagini geoelettriche lungo il profilo PDP-5E	115 m PDP-5E	115 m PDP-5E

L'ubicazione delle suddette linee è riportata nella Planimetria Generale (Tavola n.1) e di seguito riproposta in scala adattata alla pagina (**Figura 3**).

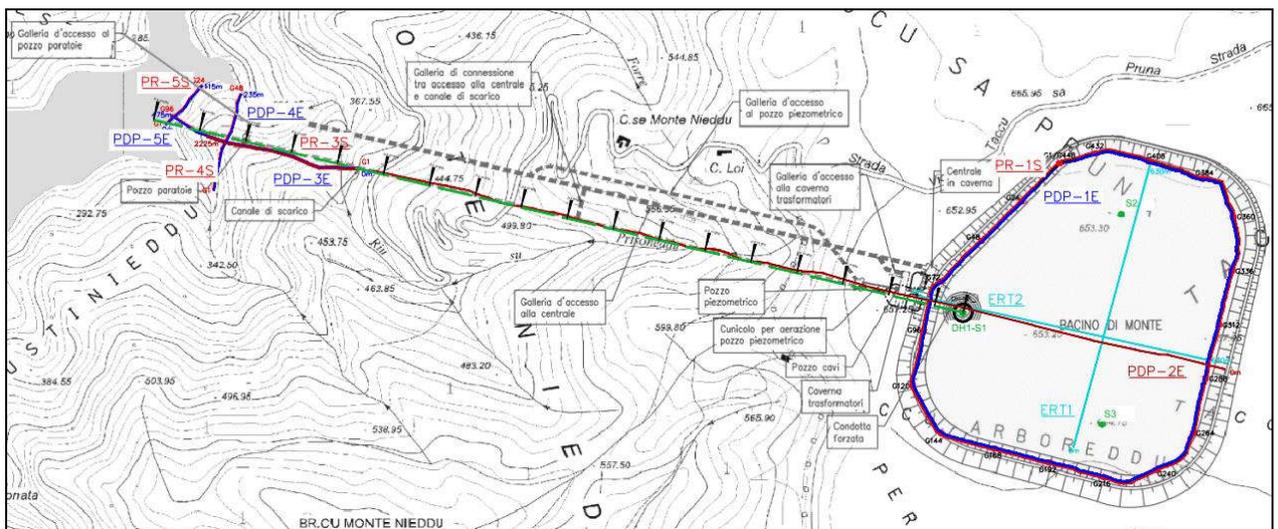


Figura 3 - Piano di posizione generale sul layout del Progetto di Massima

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario: EDISON EDF GROUP</p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	<p>GEORISORSE</p> <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 10 / 45</p>
--	--	--

3. ACQUISIZIONE DATI

3.1 SISMICA TOMOGRAFICA

I dati sismici sono stati acquisiti con sismografi Seismic Source DAQ Link 3, a 24 canali (**Figura 4**) e registrati con geofoni verticali (onde P) a cadenza di 5 metri e frequenza di 4.5 Hz.



Figura 4 - Stendimenti delle indagini sismiche

Gli *shots* sismici sono stati effettuati a cadenza di 15 m (ogni 3 geofoni), il segnale è stato generato mediante l'utilizzo di una mazza da 12 kg con impatto su piastra in teflon.

<p>Data Marzo 2022</p>	<p>2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319</p>	<p>Approvato: gfc</p>	<p>Rev. 00</p>
----------------------------	--	---------------------------	----------------

In **Figura 5** è rappresentata una postazione di acquisizione dati.



Figura 5 - Postazione d'acquisizione dati

In **Figura 6**, a titolo d'esempio, si riporta un sismogramma di campagna relativo al profilo PR4-S, tiro al geofono 21, ubicato nei pressi del Lago Flumendosa.

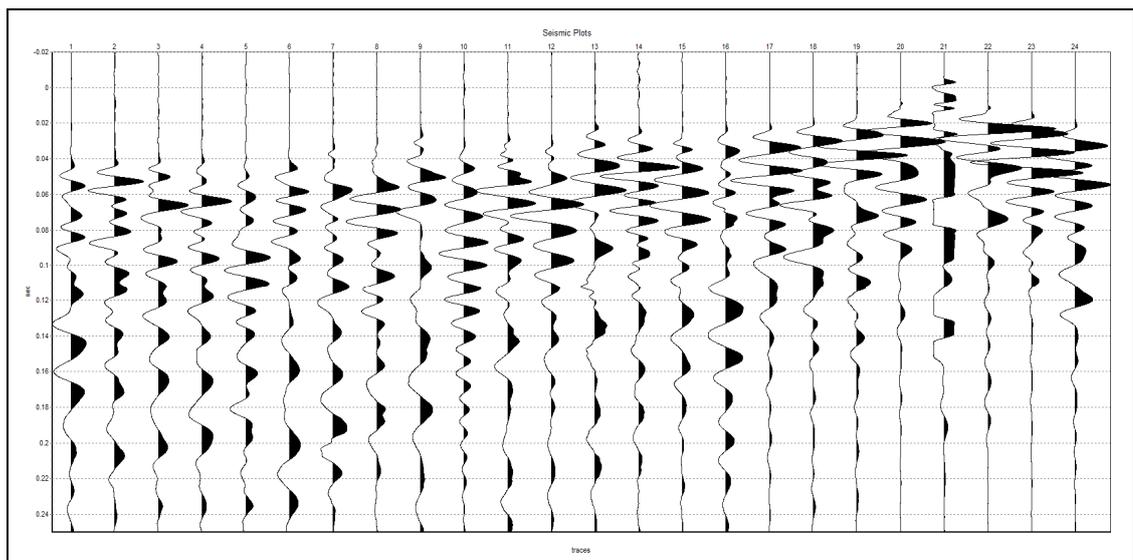


Figura 6 - Sismogramma di campagna

3.2 TOMOGRAFIA DI RESISTIVITÀ ELETTRICA (ERT)

Per l'esecuzione delle misure di resistività è stato utilizzato il dispositivo Polo-Dipolo (**Figura 7**) che richiede, come gli altri dispositivi utilizzabili, di far circolare corrente elettrica nel sottosuolo attraverso 2 elettrodi "Elettrodi di Corrente", e di misurare il gradiente di potenziale che si instaura durante la circolazione di corrente nel terreno tra 2 punti, tramite l'ausilio di altri 2 elettrodi "Elettrodi di Potenziale".

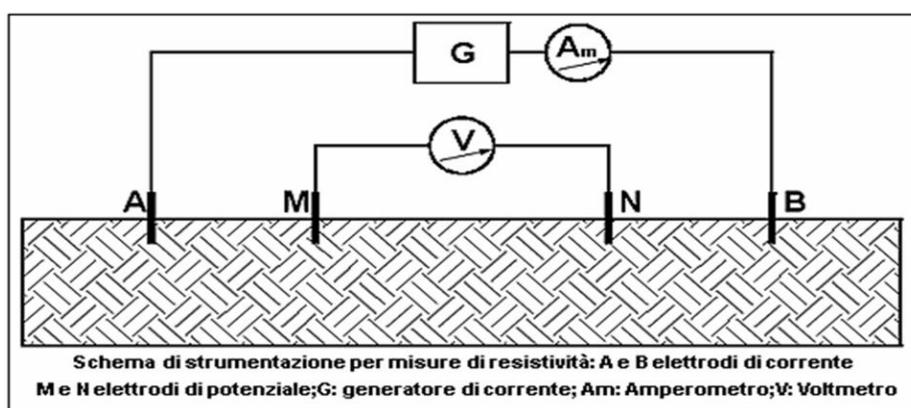


Figura 7 - Schema generico per misure di resistività elettrica

La posizione reciproca degli elettrodi è nota e sfruttando questa informazione si risale ad un fattore geometrico che, inserito nel calcolo della resistenza (Differenza di potenziale / Corrente immessa nel terreno) porta alla definizione della resistenza specifica, cioè per unità di lunghezza, o Resistività.

Questa resistività, definita Resistività Apparente, è indicativa delle caratteristiche del mezzo in cui circola la corrente solo se questo è omogeneo, altrimenti è indicativa del contesto in cui è stata fatta la misura e, in particolare, dipendente dalle dimensioni del dispositivo di misura. Un dispositivo piccolo è indicativo di una situazione molto localizzata in prossimità della superficie, dispositivi di dimensioni crescenti portano informazioni sulle caratteristiche del terreno a profondità sempre maggiori (**Figura 8**).

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

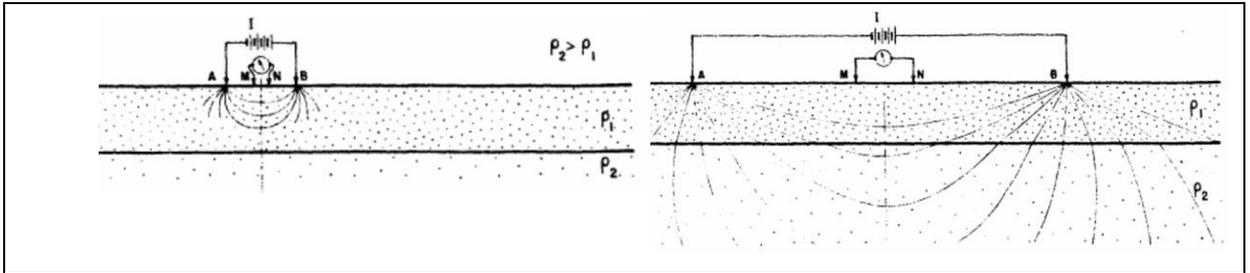


Figura 8 - Differenti profondità di penetrazione del segnale al variare delle dimensioni

Nella tecnica del profilo Polo-Dipolo gli elettrodi di corrente (convenzionalmente A-B) vengono posti esternamente alla linea degli elettrodi di potenziale M-N, uno a distanza pari alla dimensione di un Dipolo MN dal primo degli elettrodi di potenziale (B), l'altro (A) ad una distanza molto grande rispetto alla dimensione di tutto il dispositivo di misura di elettrodi potenziometrici.

Per una determinata posizione dell'elettrodo B sono state eseguite varie misure di tensione su Dipoli MN posti a varie distanze lungo il profilo, i valori che si ottengono sono riferibili a profondità via via crescenti con l'aumentare della distanza tra l'elettrodo B ed il centro M-N considerato.

L'esecuzione di varie serie di misure relative a differenti posizioni dell'elettrodo B lungo un profilo porta alla rappresentazione su una sezione dell'evoluzione della resistività nel sottosuolo (**Figura 9**).



Figura 9 - Dispositivo Polo-Dipolo

Dalle misure con il dispositivo Polo-Dipolo o con altri dispositivi quali il Dipolo-Dipolo, il Wenner (**Figura 10**) o lo Schlumberger, si ottengono dataset che possono essere successivamente elaborati tramite approccio tomografico, utilizzando vari algoritmi di inversione. Questo porta alla realizzazione di modelli della distribuzione di resistività nel sottosuolo.

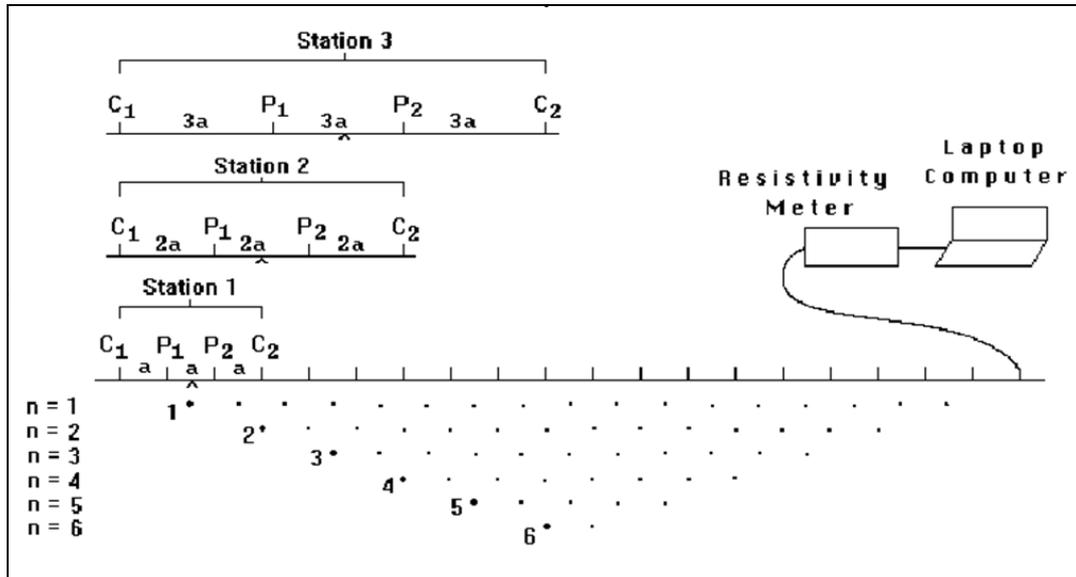


Figura 10 - Approccio multi-elettrodico

I dati sono stati acquisiti con il sistema SYSCAL PRO Switch 48 della Iris Instruments (**Figura 11**), che permette di registrare i dati tramite sequenze appositamente create per sfruttare tutte le combinazioni di dipoli AB-MN disponibili, in funzione del tipo di dispositivo d'acquisizione scelto.



Figura 11 - Strumentazione di misura IRIS – Syscal PRO Switch 48

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario:  EDISON EDF GROUP</p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 15 / 45</p>
--	--	---

I dati relativi alle indagini geoelettriche sono quasi sempre stati acquisiti sugli stessi allineamenti dei profili sismici e cadenza tra gli elettrodi da 5 metri. Unica eccezione il profilo PDP-2E, eseguito in asse con la galleria idraulica di carico/scarico, ed avente dipoli da 25 m, acquisito unicamente con la tecnica geoelettrica. Nel caso generale, quindi, la cadenza degli elettrodi è stata pari a 5 m, con registrazione dei dati fino a 230 m dal punto di invio di corrente e spostamento dei dispositivi secondo il metodo *roll-along* con passi di 60 m. Questo schema ha permesso di raggiungere una profondità di indagine di 60-80 m dal p.c.

Il dispositivo con distanza tra gli elettrodi di 25 m, invece, ha permesso di avere registrazioni continue su 875 m di profilo, con *roll-along* di 150 m e lunghezza complessiva di 2.225 m. Tale distanza ha permesso di raggiungere una profondità di indagine di circa 300-350 m.

In linea generale, questi profili sono stati realizzati per avere informazioni sulla stratigrafia delle varie rocce caratterizzate da differenti resistività, che verrà incontrata sia durante lo scavo delle opere in sotterraneo (caverna della centrale, vie d'acqua, condotta forzata, etc.).

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

3.3 RILIEVO TOPOGRAFICO DEI PUNTI DI INDAGINE

Tutti punti di posizionamento dei geofoni e degli elettrodi dell'area relativa la bacino di monte, sono stati rilevati con GPS RTK Geomax Zenith 15 (**Figura 12**) e riportati nella proiezione UTM Fuso 32 Nord. Nella zona morfologicamente più bassa , l'uso è stato più limitato a causa sia della conformazione morfologica che della presenza di vegetazione che ne hanno limitato l'utilizzo per carenza del segnale GPS e della trasmissione dati..

Il sistema utilizzato fornisce in tempo reale la posizione corretta dei dati GPS tramite connessione al sistema GEOMAX che condivide le informazioni acquisite in numerose stazioni fisse presenti nel territorio nazionale.



Figura 12 - Operazioni di ricezione dei segnali GPS (immagine di repertorio)

3.4 SISMICA IN FORO (DOWN HOLE)

La tecnica Down-Hole consiste nel misurare i tempi di arrivo delle onde sismiche, generate in superficie, in corrispondenza di un gruppo di geofoni posti all'interno di un foro di sondaggio ad una determinata profondità. In particolare, ogni gruppo di geofoni utilizzato, registra gli impulsi su tre canali provenienti da sensori orientati secondo le tre direzioni spaziali, due orizzontali (per convenzione x e y), ed una verticale (z).

Nel caso particolare, il sistema di ricezione dei segnali è costituito da un doppio gruppo di geofoni tridimensionali posizionati a distanza di un metro l'uno dall'altro con orientamento parallelo tra i vari sensori. I due gruppi sono stati posizionati a profondità variabili da -1.00 m fino a fondo foro. In **Figura 13** si mostra il sondaggio DH-S1 con le aste di orientamento del gruppo dei sensori in modo da muovere i sensori nel foro mantenendo sempre lo stesso orientamento dei sensori.



Figura 13 – Down-hole DH-S1 fase di acquisizione

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

Le onde sismiche sono state generate sia come onde di compressione, mediante un colpo di mazza su una piastra appoggiata al terreno, sia come onde di taglio (onde S).

In **Figura 14** è possibile osservare la fase di generazione delle onde sismiche orizzontali (SH) mediante un sistema di pendoli di 20 kg con impatto tangente al terreno su un'asse di legno, zavorrato dal peso di una autovettura.



Figura 14 - Sistema di generazione delle onde SH

Le onde SH sono state generate, per ogni punto di posizionamento dei sensori, con polarità destra e sinistra (ai due lati dell'asse zavorrato). Con questa tecnica, provvedendo al cambio di polarità del segnale al sismografo, si ottiene il rinforzo del segnale relativo alle onde S e l'attenuazione delle componenti di compressione che comunque si generano durante la generazione delle onde S.

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario:  EDISON EDF GROUP</p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 19 / 45</p>
--	--	--

4. DATA PROCESSING

4.1 SISMICA TOMOGRAFICA

Per l'indagine sismica la prima fase del *processing* dei dati consiste nella determinazione degli istanti di primo arrivo dei segnali generati lungo i profili, e la creazione di *files* che includono tutti i punti di primo arrivo per tutti i tiri eseguiti lungo ciascun profilo.

La determinazione degli istanti di primo arrivo è stata effettuata mediante l'ausilio del *software* Reflexw versione 9.5, che permette la visualizzazione ed eventuale miglioramento del segnale mediante tecniche di filtraggio digitale.

In genere si è proceduto alla regolarizzazione della scala di ampiezza della traccia, al filtraggio di rumori ad alta frequenza e/o a bassa frequenza oltre alla eliminazione di componenti monotoni a 50 Hz derivanti da linee elettriche presenti nelle vicinanze.

Queste operazioni hanno portato a notevoli miglioramenti dei sismogrammi acquisiti. Nelle pagine seguenti vengono riportate alcuni esempi di immagini relative ai risultati dopo tali elaborazioni, dove viene indicato il punto selezionato come istante di primo arrivo delle vibrazioni per ciascuna traccia.

Questa selezione è stata effettuata manualmente con l'ausilio della funzione "PHASE FOLLOWER" di Reflexw che, laddove i segnali sono chiari, porta alla individuazione dello stesso segnale selezionato nelle tracce successive a quella in cui è stato individuato con chiarezza.

In **Figura 15** si riportano due sismogrammi relativi ad una parte del profilo PR-1S, precisamente alle progressive 300 e 660 m, con i punti di primo arrivo delle onde P evidenziati dalle crocette rosse lungo le tracce dei vari geofoni.

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

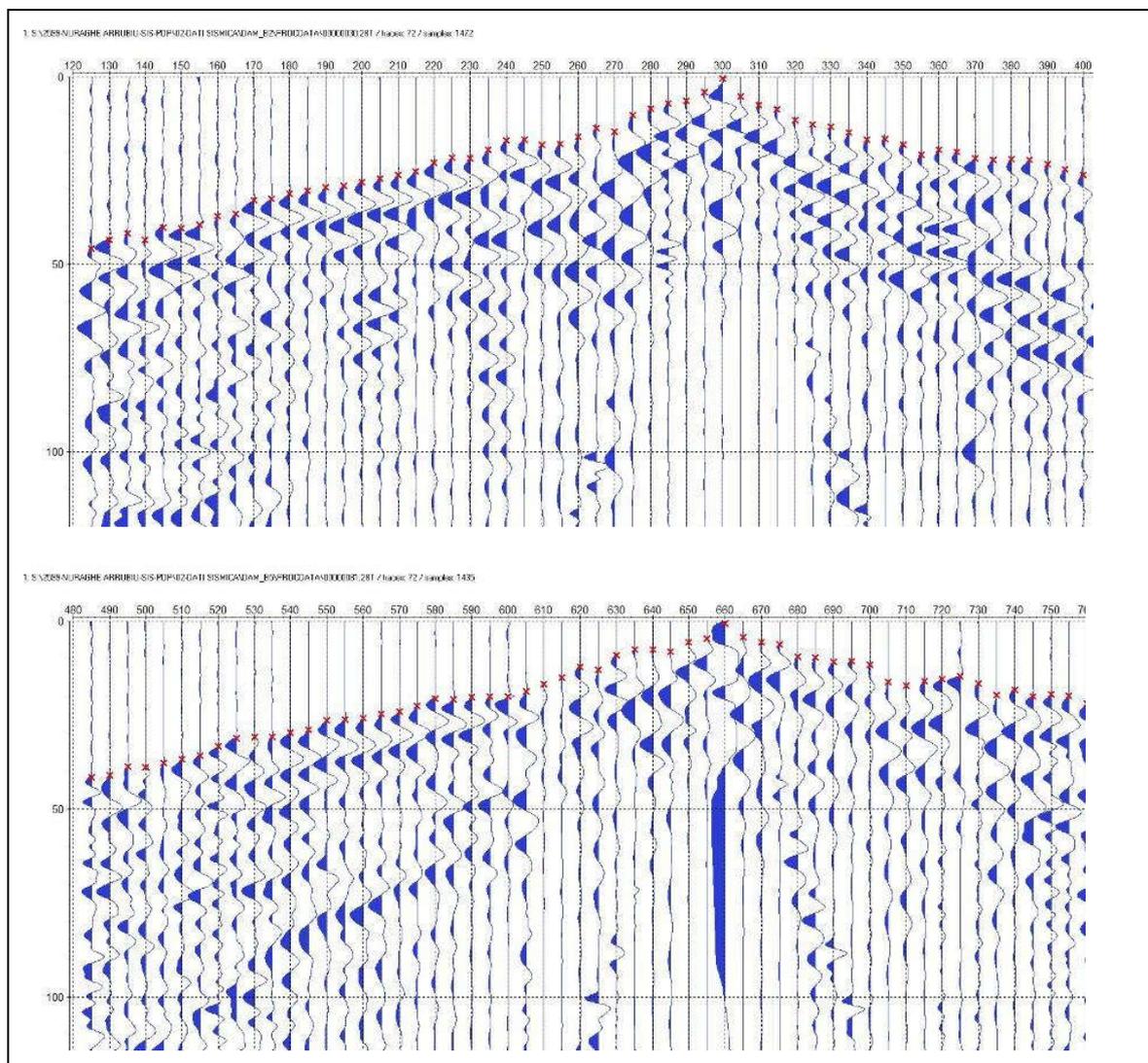


Figura 15 - Individuazione dei primi arrivi

Partendo dai dati del *picking* viene poi effettuata la elaborazione tomografica con il *software* RAYFRACT che parte da un modello iniziale generato con la tecnica Deltat-V. Successivamente viene effettuata l'inversione iterativa del modello con la tecnica WET (*Wavepath Eikonal Traveltime tomography*), che analizza la propagazione dei vari fronti d'onda generati nei punti di tiro fino ad ogni geofono.

Il modello stratigrafico ottenuto come insieme di elementi caratterizzati da una specifica velocità, viene quindi rappresentato mediante il *contour* a linee di isovelocità.

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

Nel caso specifico le tomografie ottenute, allegate nelle Tavole 2, 3 e 5, vengono rappresentate mediante curve di isovelocità ad intervallo di 200 m/sec e una scala cromatica (**Figura 16**) che va dal blu scuro, per i valori bassi, passando poi in sequenza al celeste, al verde, al giallo, al rosso ed infine al bianco per i valori massimi pari e superiori a 5.000 m/sec nella zona in esame.

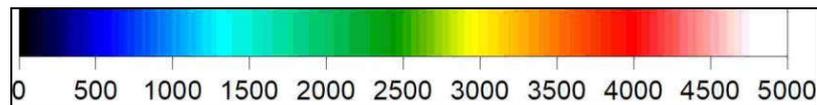


Figura 16 - Scala cromatica per le tomografie in onde P

In **Figura 17** si riporta come esempio la tomografia sismica relativa al profilo PR-4S in scala adattata alla pagina. Per la visione dettagliata si rimanda alla Tavola 5.

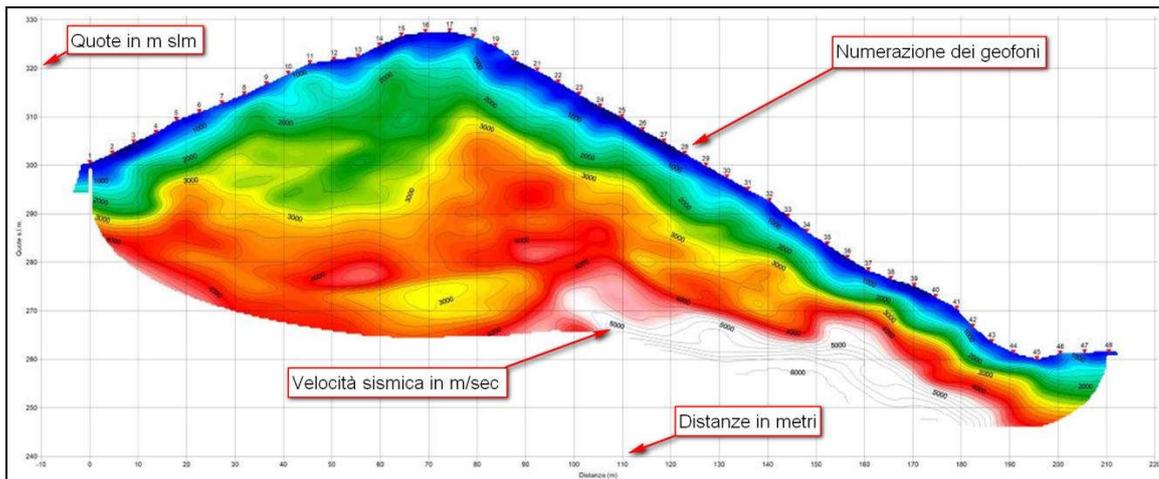


Figura 17 - Tomografia sismica per il profilo PR-4S in onde P

4.2 TOMOGRAFIA DI RESISTIVITÀ ELETTRICA (ERT)

L'elaborazione dei dati ottenuti dall'indagine geoelettrica ha lo scopo di restituire profili geoelettrici del sottosuolo. La variazione di resistività osservata nei modelli ottenuti fornisce ulteriori informazioni inerenti la variabilità delle proprietà litologiche o della presenza di acqua nel sistema.

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario:  EDISON EDF GROUP</p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 22 / 45</p>
--	--	--

In generale la profondità delle strutture che vengono messe in evidenza nelle pseudo sezioni (immagini create direttamente con i dati di resistività apparente, la cui profondità dipende solamente dalle caratteristiche del dispositivo adottato, quindi precedentemente alla fase di inversione dei dati e quindi di modellazione) sono stimabili con molta approssimazione, dato che la distorsione delle linee isoeresistive può avvenire per effetto di situazioni locali, poco influenti sugli spessori, ma molto sui valori di resistività.

La modellazione in termini quantitativi della situazione del sottosuolo può avvenire mediante specifici algoritmi di elaborazione, questi lavorano su base numerica e non sono facilmente condizionabili con le informazioni geologiche note. Nel caso specifico del programma utilizzato - RES2DINV - l'eventuale conoscenza della situazione stratigrafica in un punto della sezione, può essere imposta come condizione vincolante, ma sarebbe necessaria la conoscenza della sua evoluzione bidimensionale, per cui se questa non è perfettamente conosciuta è preferibile tenerne conto in fase di interpretazione geologica del risultato geofisico, come una sorta di taratura, anziché introdurre restrizioni vincolanti.

Un aspetto che è necessario tener presente nella valutazione dei risultati di questo tipo di indagini è relativo alla reale bidimensionalità del sottosuolo. Infatti, il *software* di modellazione produce un modello che si presume debba svilupparsi nelle direzioni ortogonali al piano della sezione in maniera infinita, mantenendo costanti le forme rappresentate nel piano della tomografia. Cioè, una eventuale discontinuità verticale (faglia) che separa un tratto di sezione, caratterizzato da una resistività ρ_1 da un tratto successivo con resistività ρ_2 , si presume che si sviluppi all'infinito in maniera ortogonale al piano della sezione. Questa situazione raramente può essere riscontrata nella realtà, dove l'evoluzione di un'eventuale discontinuità è "tridimensionali", e spesso difficilmente schematizzabili.

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario: </p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 23 / 45</p>
--	--	--

La bontà della modellazione numerica, pertanto, può essere definita solo in base alla differenza che viene calcolata tra l'insieme dei dati acquisiti lungo una linea di misura ed i dati che sono calcolati mediante specifici algoritmi, partendo da un modello matematico del sottosuolo. Un basso scarto (*root mean square - RMS*), tra i dati acquisiti e quelli calcolati porta a ritenere probabile che il modello ottenuto rappresenti bene la situazione del sottosuolo, ma si deve ricordare anche che esistono numerose situazioni di equivalenza, cioè modelli differenti possono portare a situazioni molto simili tra loro.

Un'ulteriore variabilità deriva dalle impostazioni del *software* che può essere indirizzato verso modelli con discontinuità nette ma con andamento "molto squadrato" (*Robust*), oppure discontinuità più sfumate ed andamento "sinuoso" (*Standard*). Questo approccio ovviamente può essere giustificato da ipotesi stratigrafiche basate sulla conoscenza geologiche.

Ad esempio per la serie carbonatica della formazione di Dorgali, che presentano resistività molto elevate e variazioni nette lungo le linee di frattura è stato utilizzato l'approccio *Robust*, mentre per le formazioni metamorfiche profonde, dove si può avere anche una variazione progressiva dello stato di alterazione, è stato utilizzato l'approccio *Standard*.

Nelle figure 18 e 19 è possibile osservare il risultato dell'elaborazione lungo il profilo PDP-2E relativo all'esplorazione profonda. La scala cromatica delle due tomografie geoelettriche è la stessa, tuttavia appaiono evidenti le differenze tra le geometrie delle discontinuità oltre alla chiara diversità di risoluzione derivante anche dalle diverse modalità di approccio matematico.

Le immagini riportate in scala adattata alla pagina risultano di bassa risoluzione e si rimanda alla Tavola 4 per una risoluzione più elevata.

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

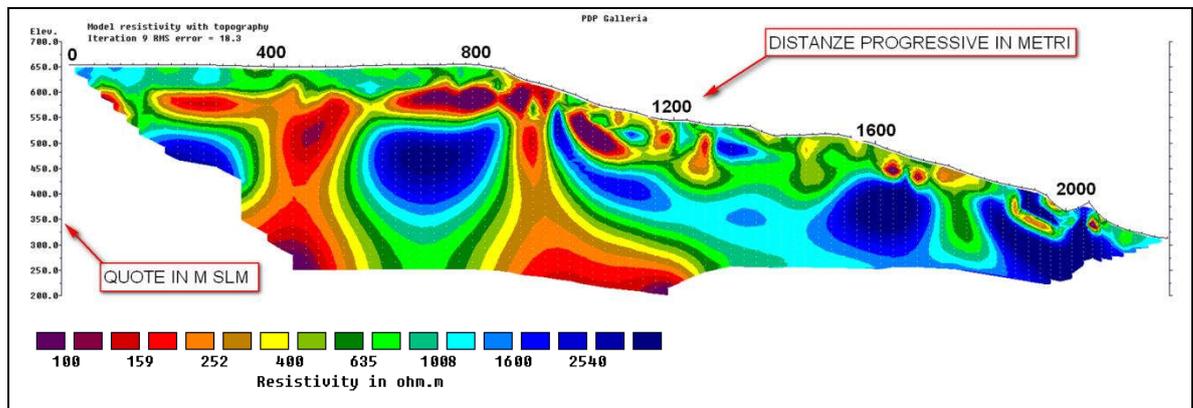


Figura 18 - Profilo geoelettrico profondo PDP-2E (Elaborazione con algoritmo *standard*)

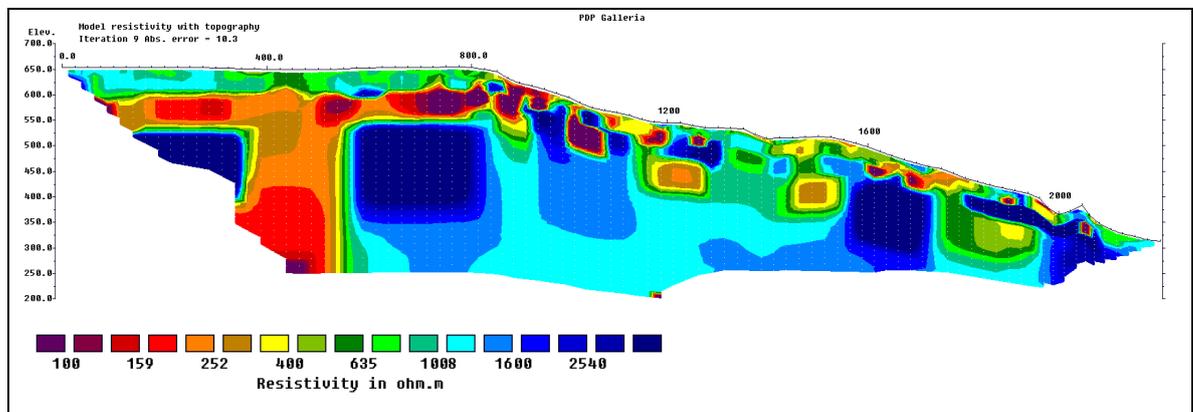


Figura 19 - Profilo geoelettrico profondo PDP-2E (Elaborazione con algoritmo *robust*)

Questa “doppia” elaborazione è stata proposta unicamente per il profilo in asse con la galleria idraulica di carico/scarico (PDP-2E) e riportata in Tavola 4.

Per il profilo PDP-1E, eseguito nella zona del “bacino di monte”, caratterizzato dalle formazioni di carbonatica di Dorgali, è stata scelta l’elaborazione con l’algoritmo *Robust* (che esalta le variazioni di resistività molto contrastate), mentre, per quelli eseguiti nella zona dell’opera di presa (PDP-3E, PDP-4E e PDP-5E) si è presa in considerazione l’elaborazione di tipo *Standard*, per le motivazioni prima espresse, cioè enfatizza le variazioni progressive di resistività.

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario:  EDISON EDF GROUP</p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 25 / 45</p>
--	--	--

4.3 METODO DOWN HOLE

Le operazioni di acquisizione dati si sono svolte i giorni 16 e 17 novembre 2021 tramite acquisizione con sismografo digitale DAQ-Link III della sorgente sismica (Seismic Source) con campionamento digitale con dinamica a 24 bit ed intervallo di campionamento di 100 microsecondi per una durata di 1000 millisecondi.

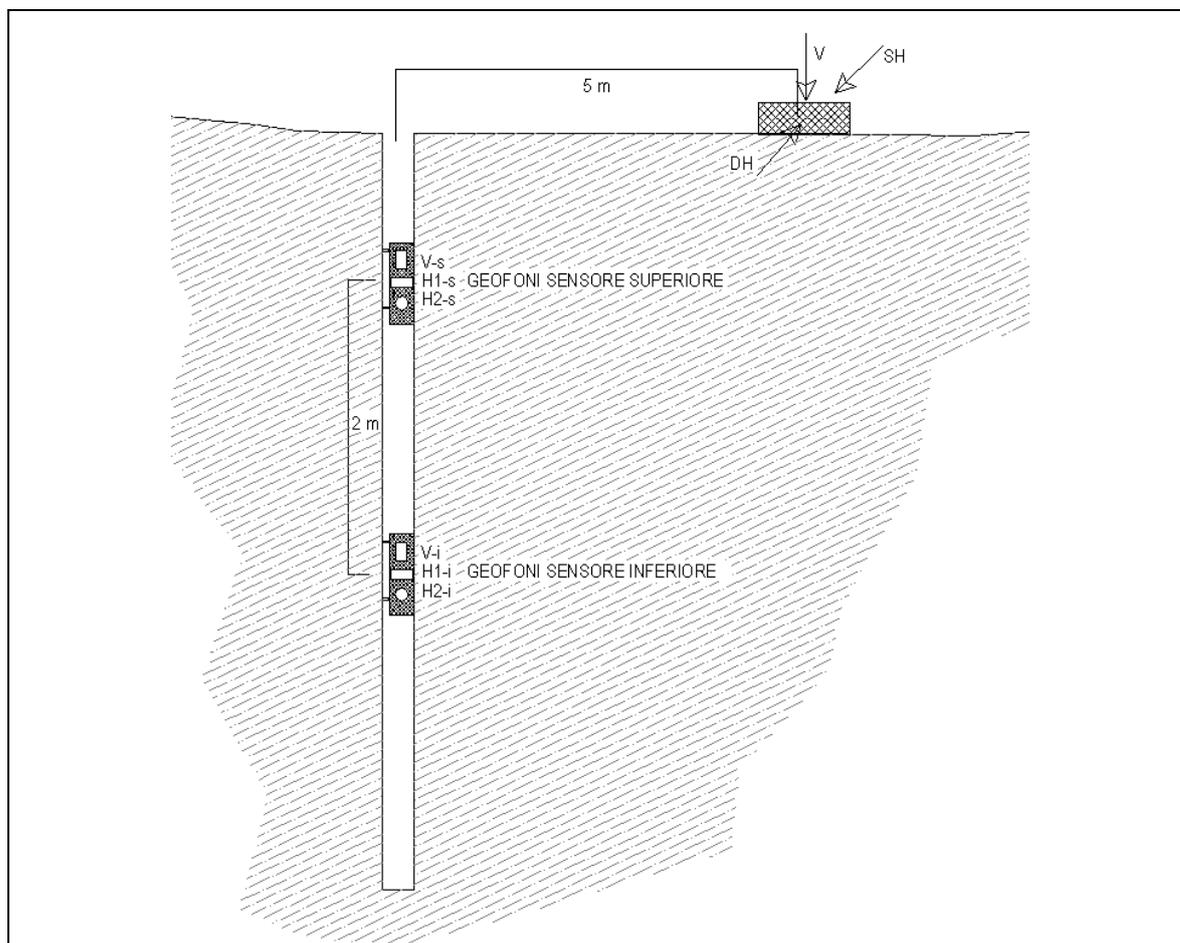
Per quanto riguarda le modalità dell'esecuzione delle misure, per ogni profondità di posizionamento del geofono, sono state eseguite registrazioni con differenti modalità di generazione delle vibrazioni, i punti di generazione delle vibrazioni sono stati mantenuti a distanza costante di 5 m dal boccapozzo.

Le vibrazioni sono state generate secondo lo schema di Figura 20, con impulsi verticali (battendo su una piastra) e con impulsi orizzontali (battendo sui lati di una tavola zavorrata dal peso di un'autovettura), pertanto su ogni posizione dei gruppi di sensori sono stati acquisiti almeno tre differenti segnali.

Le differenti modalità con cui vengono generate le vibrazioni servono per poter distinguere nei sismogrammi in fase di elaborazione, le onde P ed SH e misurare i relativi tempi di arrivo.

Sempre in Figura 20 si riporta lo schema operativo ed i collegamenti attivi con il sismografo per le varie acquisizioni.

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------



I collegamenti attivi con i canali del sismografo sono stati i seguenti:

- Canale 1 attivo con geofono V-s per la battuta Verticale;
- Canale 2 attivo con geofono V-i per la battuta V;
- Canale 3 attivo con geofono H1-s per la battuta Sinistra Horizontale;
- Canale 4 attivo con geofono H1-i per la battuta SH;
- Canale 5 attivo con geofono H2-s per la battuta SH;
- Canale 6 attivo con geofono H2-i per la battuta SH;
- Canale 7 attivo con geofono H1-s per la battuta Destra Horizontale;
- Canale 8 attivo con geofono H1-i per la battuta DH;
- Canale 9 attivo con geofono H2-s per la battuta DH;
- Canale 10 attivo con geofono H2-i per la battuta DH;
- Canale 11 attivo con geofono H1-i per la battuta SH e con polarità invertita sommatrice della battuta DH;
- Canale 12 attivo con geofono H2-i per la battuta SH e con polarità invertita sommatrice della battuta DH.

Figura 20 - Down-Hole_Schema operativo

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario: EDISON EDF GROUP</p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 27 / 45</p>
---	--	--

Il lato Sinistro o Destro dell'asse di battuta è stato stabilito, come da nostra convenzione, guardando l'asse stesso dal punto del foro di sondaggio

Pertanto con 12 canali si acquisiscono tutte le informazioni delle varie configurazioni.

È utile ricordare che i tempi misurati sui sismogrammi sono relativi al percorso inclinato tra il punto sorgente (distante 5 m dal boccapozzo), ed i punti di posizionamento dei sensori. La correzione di questi tempi viene effettuata con la seguente formula:

$$TVC = TVM \times FC$$

Dove:

TVC è il tempo (in millisecondi) calcolato sia per le onde P che per le Onde S;

TVM è il tempo (in millisecondi) misurato per il percorso obliquo;

FC è il fattore di correzione dipendente dalla distanza dal boccapozzo e dalla profondità dei sensori.

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

4.3.1 STAMPA DEI SISMOGRAMMI RELATIVI AI CANALI UTILIZZATI PER LA DETERMINAZIONE DELLE VELOCITA'

DH-S 1

In Figura 21 è rappresentato l'assemblaggio delle tracce relative al geofono verticale inferiore (V-i) del sistema di ricezione (onde P).

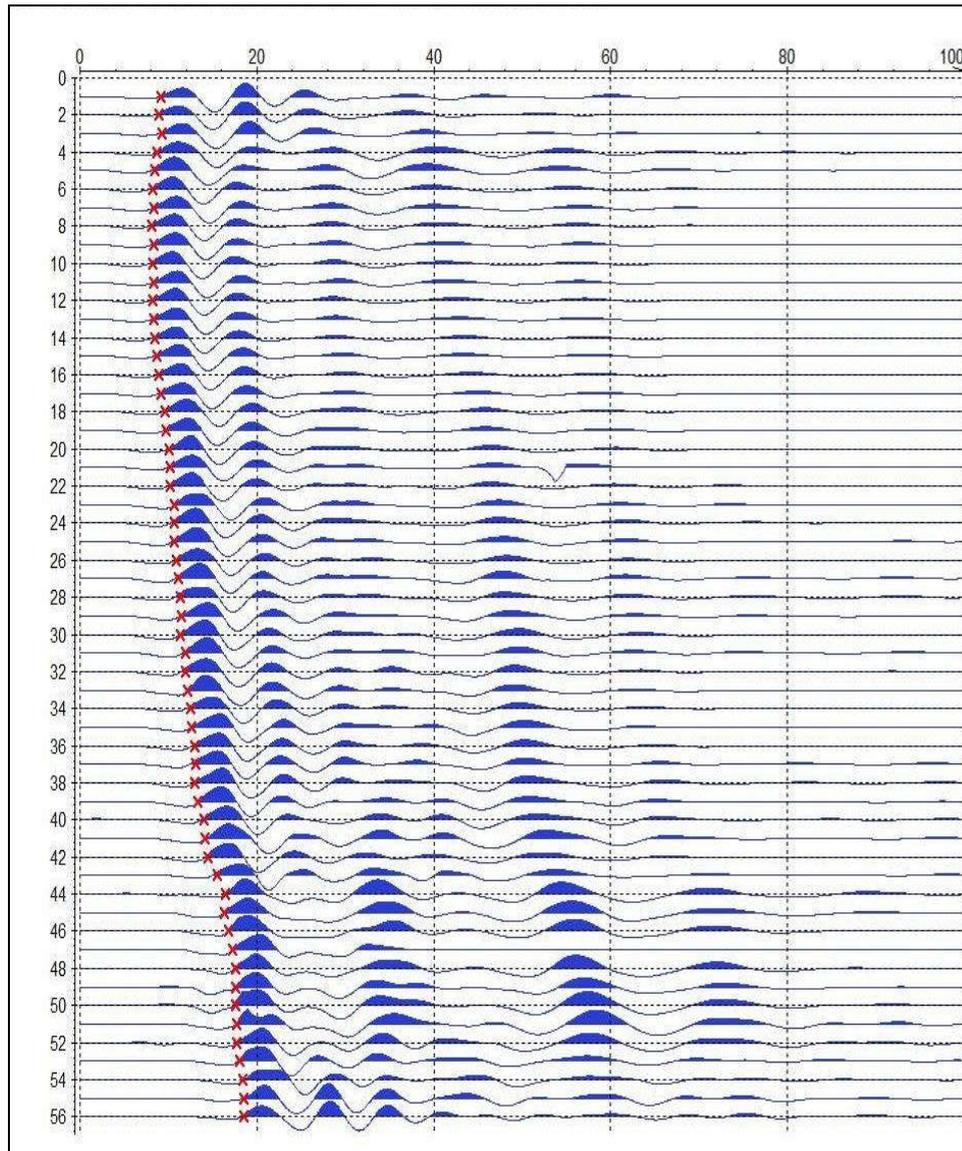


Figura 21 - Down-Hole DH-S1_ Onde P assemblaggio delle tracce del canale 1

In Figura 22 si riporta l'assemblaggio delle tracce relative alla sommatoria dei segnali (battuta destra-battuta sinistra) relativi al geofono orizzontale più profondo (onde S).

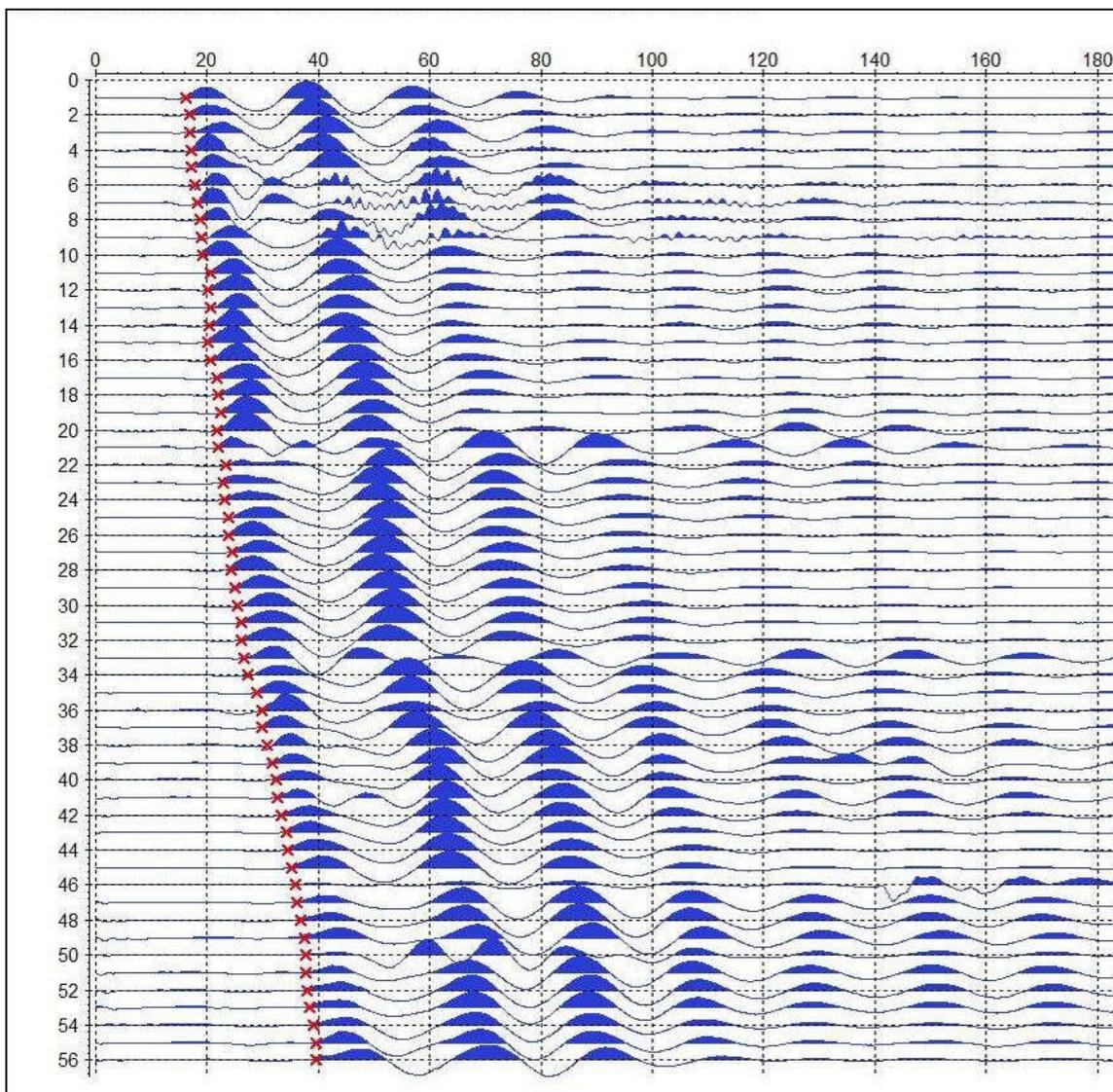


Figura 22 - Down-Hole DH-S1_ Onde SH assemblaggio delle tracce del canale 12

4.3.2 TABELLE DEI TEMPI DI ARRIVO MISURATI E CORRETTI DELLE ONDE P E DELLE ONDE SH

DH-S1

PB	DbatM	FC	TVPM	TVPC	TVSM	TVSC
1	5	0.20	9.152374	1.79	16.31474	3.20
2	5	0.37	8.920669	3.31	16.985208	6.31
3	5	0.51	9.229016	4.75	16.985208	8.74
4	5	0.62	8.716293	5.45	17.131771	10.70
5	5	0.71	8.459931	5.98	17.208698	12.17
6	5	0.77	8.203569	6.30	17.879167	13.74
7	5	0.81	8.33175	6.78	18.38752	14.96
8	5	0.85	8.075389	6.85	18.773125	15.92
9	5	0.87	8.33175	7.28	18.983854	16.59
10	5	0.89	8.203569	7.34	19.220104	17.19
11	5	0.91	8.33175	7.58	20.604427	18.76
12	5	0.92	8.216031	7.58	20.141406	18.59
13	5	0.93	8.33175	7.78	20.604427	19.23
14	5	0.94	8.459931	7.97	20.259647	19.08
15	5	0.95	8.716293	8.27	20.120424	19.09
16	5	0.95	8.910344	8.50	20.604427	19.67
17	5	0.96	9.141781	8.77	21.650319	20.77
18	5	0.96	9.604656	9.25	21.993489	21.19
19	5	0.97	9.720375	9.40	22.45651	21.72
20	5	0.97	10.067531	9.77	21.67849	21.03
21	5	0.97	10.126281	9.85	21.901979	21.31
22	5	0.98	10.126281	9.87	23.338674	22.76
23	5	0.98	10.646125	10.40	23.019427	22.49
24	5	0.98	10.646125	10.42	23.242917	22.75
25	5	0.98	10.646125	10.44	23.913385	23.45
26	5	0.98	10.877563	10.68	23.913385	23.48
27	5	0.98	11.109	10.92	24.583854	24.17
28	5	0.98	11.340438	11.16	24.360364	23.98
29	5	0.99	11.456156	11.29	25.030833	24.67
30	5	0.99	11.340438	11.19	25.477812	25.13
31	5	0.99	11.919031	11.77	26.148281	25.81
32	5	0.99	11.919031	11.78	26.148281	25.83
33	5	0.99	12.150469	12.01	26.59526	26.30
34	5	0.99	12.497625	12.36	27.265729	26.98
35	5	0.99	12.613344	12.49	28.830156	28.54
36	5	0.99	12.9605	12.84	29.762573	29.48
37	5	0.99	13.076219	12.96	29.947604	29.68
38	5	0.99	12.9605	12.85	30.765405	30.50
39	5	0.99	13.307656	13.20	31.755636	31.50
40	5	0.99	14.001969	13.89	32.405989	32.16

PB	DbatM	FC	TVPM	TVPC	TVSM	TVSC
41	5	0.99	14.117688	14.01	32.629479	32.39
42	5	0.99	14.481605	14.38	33.299948	33.07
43	5	0.99	15.509873	15.41	34.193906	33.97
44	5	0.99	16.407139	16.30	34.417396	34.20
45	5	0.99	16.278958	16.18	35.087864	34.87
46	5	0.99	16.798662	16.70	35.884114	35.67
47	5	0.99	17.262073	17.17	36.119781	35.92
48	5	0.99	17.609632	17.51	36.79025	36.59
49	5	0.99	17.560766	17.47	37.460719	37.27
50	5	1.00	17.560766	17.47	37.684208	37.50
51	5	1.00	17.688947	17.60	37.684208	37.50
52	5	1.00	17.688947	17.61	37.993229	37.82
53	5	1.00	18.073043	17.99	38.440208	38.27
54	5	1.00	18.420602	18.34	39.110677	38.94
55	5	1.00	18.536454	18.46	39.588281	39.43
56	5	1.00	18.536454	18.46	39.588281	39.43

Le sigle per le colonne sono spiegate di seguito:

DbatM	Distanza tra punto di battuta e boccapozzo (m)
TVPM	Tempo di transito misurato delle onde P (msec)
TVPC	Tempo di transito corretto delle onde P (msec)
TVSM	Tempo di transito misurato delle onde SH (msec)
TVSC	Tempo di transito corretto delle onde SH (msec)

4.4.3 DROMOCRONE E DIAGRAMMA DELLE VELOCITA' - DH-S1

In Figura 23 sono rappresentate le dromocrone interpolanti i punti sperimentali dei tempi di arrivo corretti sia per le onde P che SH.

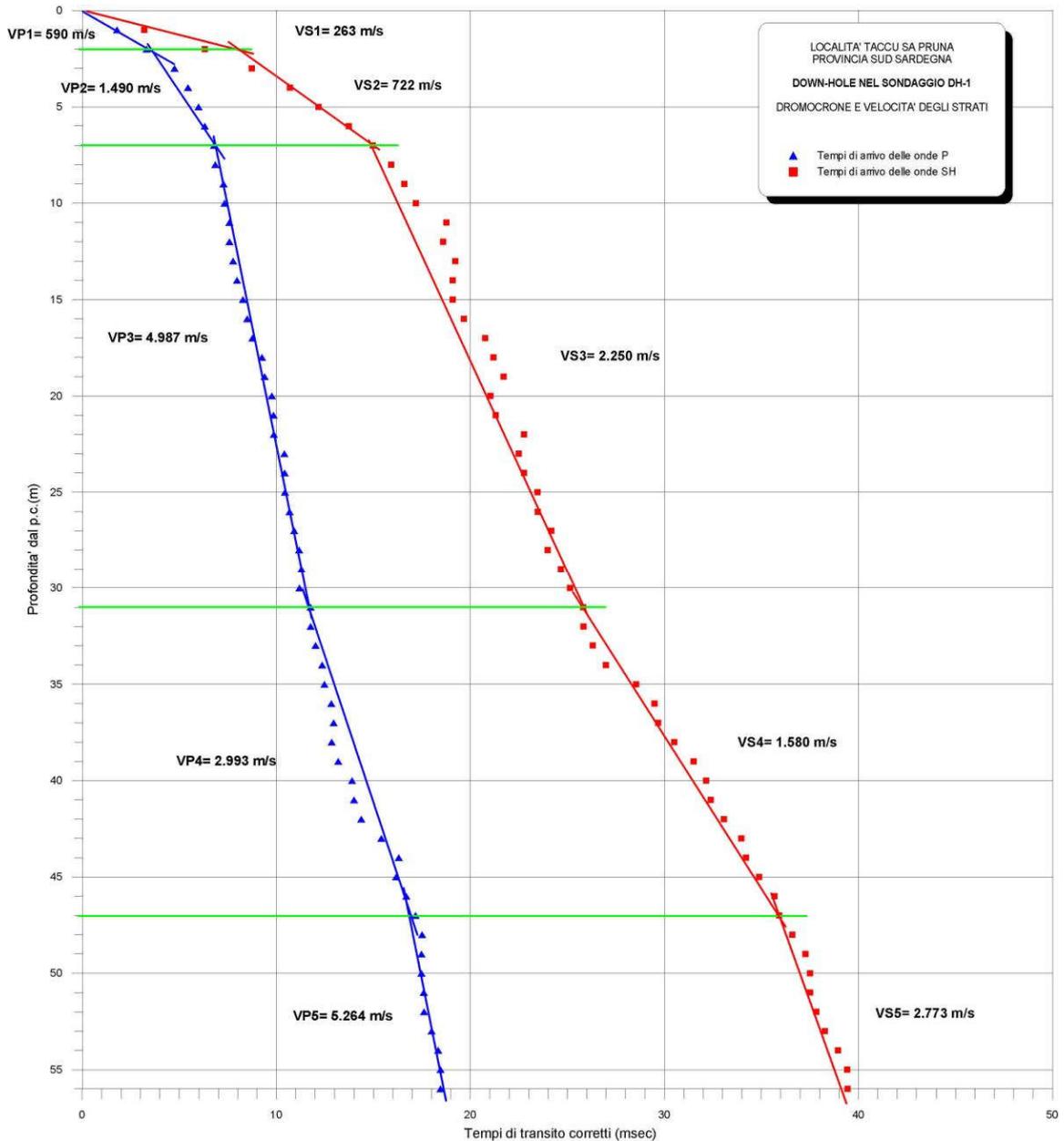


Figura 23 - Down-Hole DH-S1_Dromocrone e calcolo della velocità di strato

Con i dati della velocità delle onde SH è possibile calcolare il valore del parametro $V_{S,eq}$ per lo strato di 7 m, soprastante al *bedrock* sismico (**Figura 24**). Le NTC2018, infatti stabiliscono di calcolare questo valore per gli strati soprastanti il *bedrock* sismico (cioè lo strato con V_{SH} superiore ad 800 m/sec), con la seguente formula:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

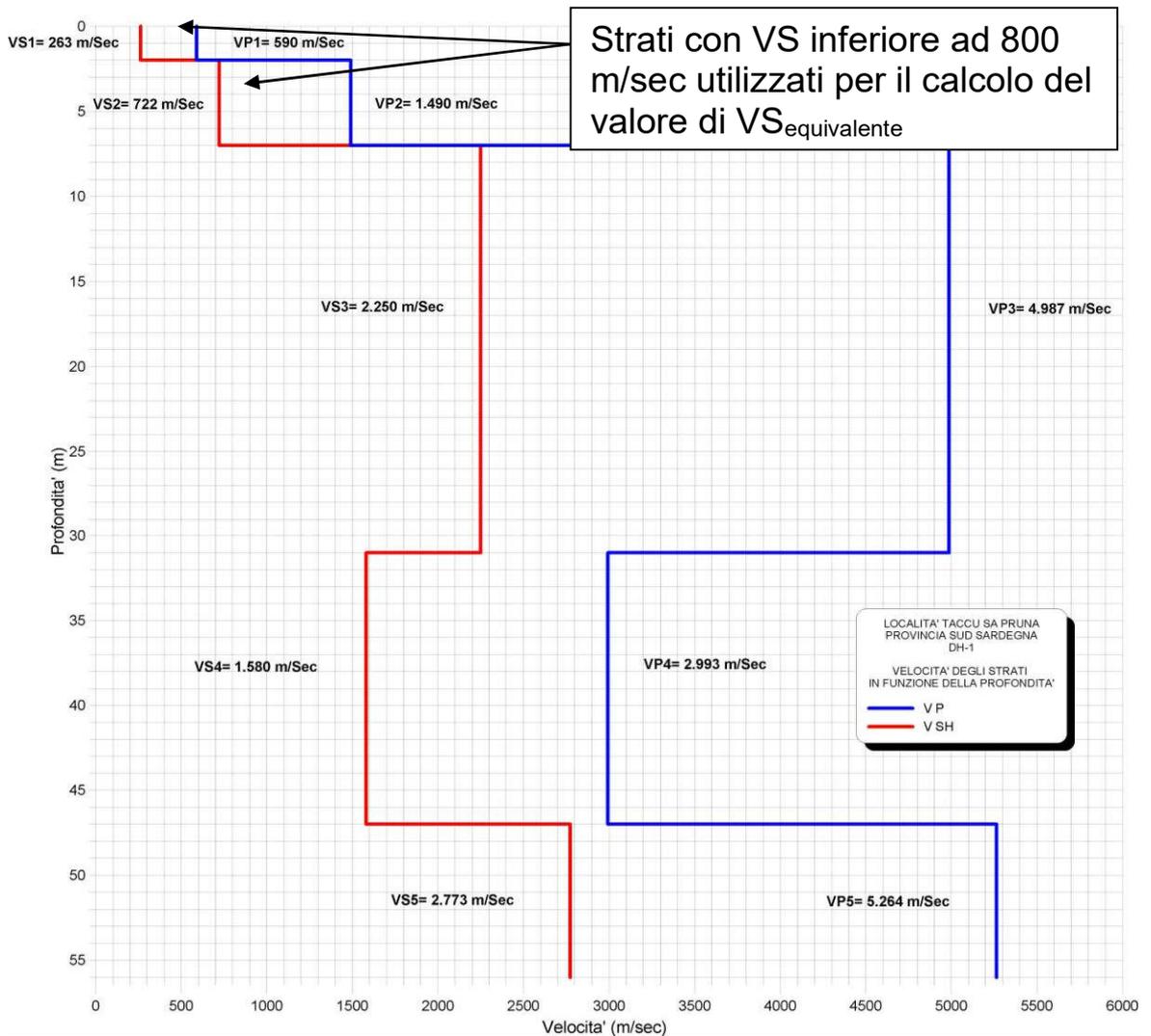


Figura 24 - Down-Hole DH-S1_Diagramma delle velocità delle onde P d SH

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario:  EDISON EDF GROUP</p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 34 / 45</p>
--	--	--

Questo valore è pari 481 m/sec per cui la categoria di terreno di fondazione, al piano campagna nel sito della prova Down-Hole è la “B”, cioè V_{Seq} compreso tra 360 ed 800 m/sec.

Con i dati della velocità delle onde P e delle onde SH è possibile arrivare alla determinazione del Coefficiente di Poisson (ν), parametro questo che permette di stabilire se un materiale, sottoposto ad una pressione uni-assiale, può deformarsi nella direzione trasversale alla suddetta direzione senza rompersi, oppure tende a rompersi senza deformarsi.

Valori massimi di ν pari a 0.5 indicano materiali deformabili in modo infinito senza dar luogo a rotture (argille molto plastiche), valori bassi sono indicativi di materiali molto rigidi che non si deformano ma si rompono. Un buon calcestruzzo presenta valori di circa 0.20.

Tuttavia, quando si tratta di indagini su volumi grandi influiscono anche le fratture esistenti oltre alle caratteristiche del materiale integro. Quindi anche una roccia dura come un calcare dolomitico può presentare un valore di ν più o meno elevato in funzione del suo grado di fratturazione.

Il risultato ottenuto nel caso della prova Down-Hole eseguita in corrispondenza del sondaggio S1 è rappresentato in **Figura 25**; si può notare che la parte alta della serie calcarea presenta valori più elevati (0,37-0.38) la sua maggiore fratturazione diffusa, mentre alle massime profondità si hanno valori più bassi (0.30-0.31).

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

Committente:

STRATEGIES FOR WATER

FROSIO
next

Beneficiario:

EDISON
EDF GROUP

TACCU SA PRUNA
PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO
IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD
ALTA FLESSIBILITÀ

GEORISORSE

Rapporto n. 2599/22
Pag. 35 / 45

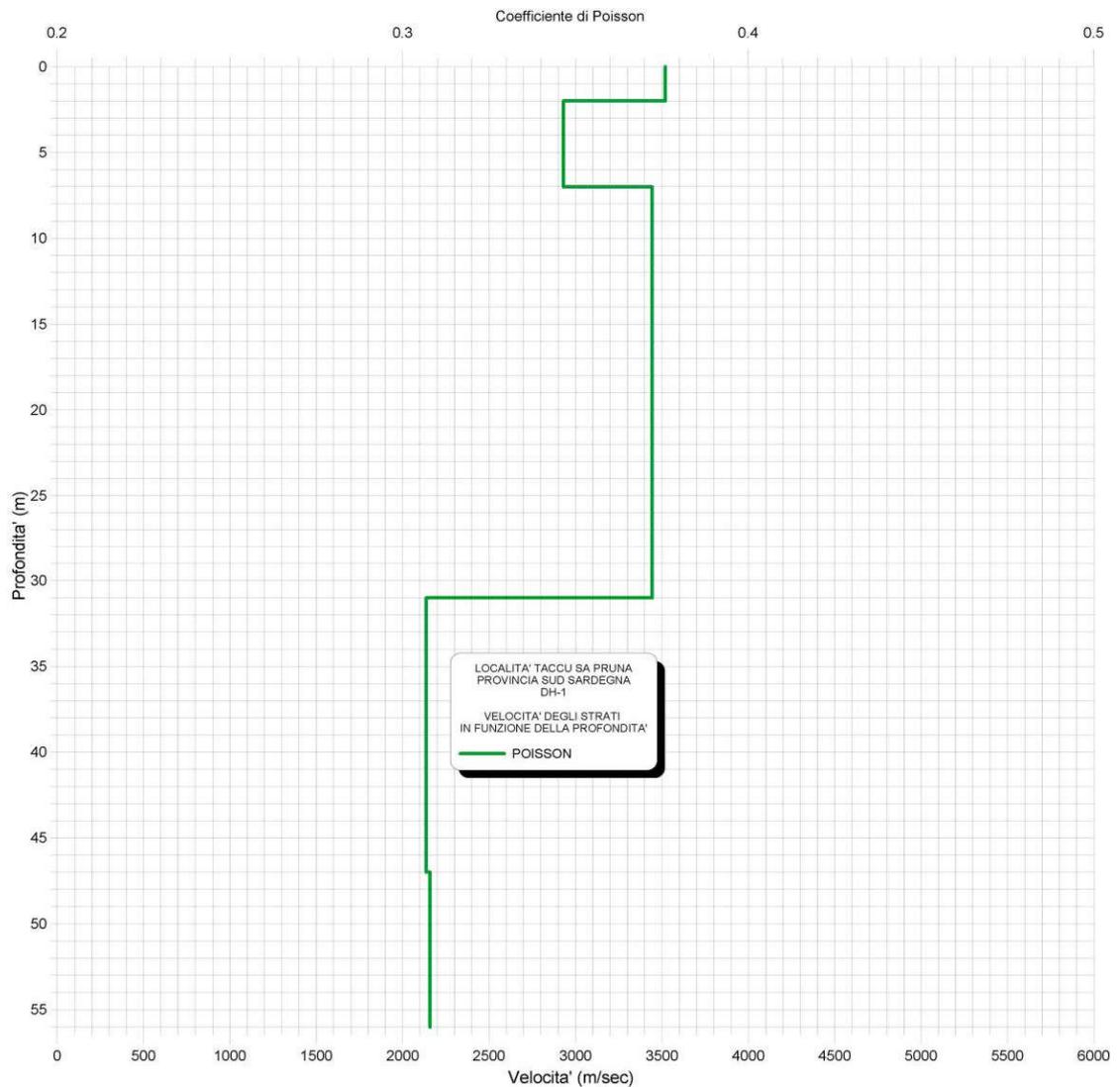


Figura 25 - Down-Hole DH-S1_Diagramma del Coefficiente di Poisson

Data
Marzo 2022

2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319

Approvato:
gfc

Rev. 00

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario:  EDISON EDF GROUP</p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 36 / 45</p>
--	--	---

5. CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI CONSEGUITI

I risultati ottenuti vengono riportati nelle tavole allegate (Tavv. 2, 3, 4 e 5) a questo rapporto tecnico, nelle quali, si riporta anche la sezione interpretativa relativa a ciascun profilo eseguito.

Relativamente alle varie metodologie applicate, è possibile affermare che le informazioni acquisite possono permettere di ottimizzare il layout di progetto, oggetto del presente studio.

Le indagini eseguite, unitamente ai sondaggi geognostici realizzati, hanno portato a caratterizzare i terreni interessati delle opere in progetto, in particolare, attraverso l'analisi integrata di tutti i dati disponibili, si sono potute evidenziare le seguenti condizioni geofisiche di possibile interesse per lo sviluppo della progettazione.

5.1 BACINO DI MONTE

I risultati ottenuti vengono presentati suddivisi in n.4 *tranches* parallele ai quattro lati del bacino stesso (il lato O-NO è stato riportato tutto in una unica sezione anche se questo presenta una modesta curvatura nella parte centrale - **Figura 3-**).

Per ognuna delle sezioni suddette (Tavola 2 e Tavola 3) si riporta la tomografia di resistività processata con l'approccio "*robust*", la tomografia sismica processata con l'algoritmo WET oltre alla sezione interpretativa che evidenzia le principali caratteristiche di possibile interesse per la progettazione del rilevato del bacino di monte.

Queste informazioni sono sintetizzate sia nella Legenda delle Tavole 2 e 3 che in **Figura 26**.

Nelle sezioni interpretative il limite inferiore del modello è stato fissato alla quota di 600 m slm (dato che le informazioni ottenute dalle tomografie sismiche, non hanno raggiunto quote inferiori). Tuttavia, per lo scopo delle indagini

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

eseguite in questa zona (studio delle zone di fondazione degli argini del bacino) tale quota è più che sufficiente.

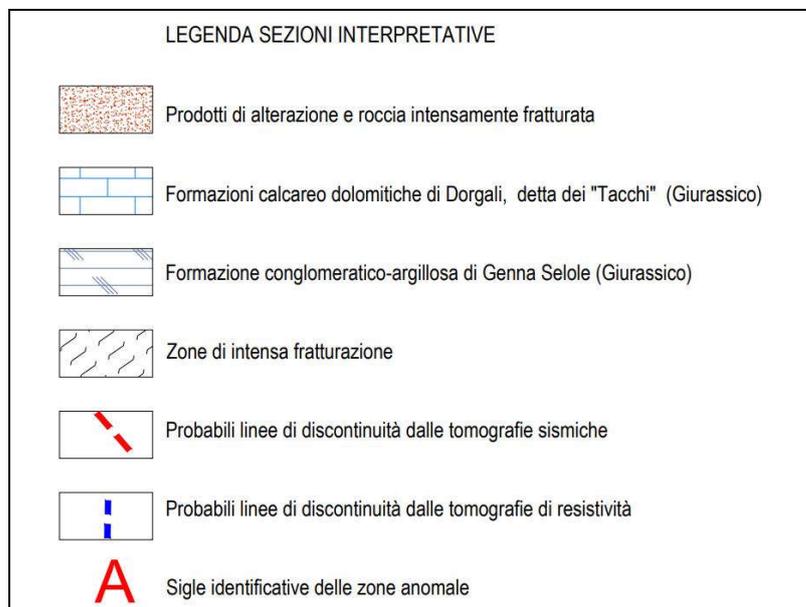


Figura 26 - Legenda interpretativa per le indagini relative alle fondazioni degli argini

Dal punto di vista stratigrafico si è evidenziata una copertura di terreni costituiti da prodotti di alterazione e dalla roccia intensamente fratturata che mediamente oscilla tra 2 e 3 metri, raramente sfiora i 5 m di spessore e presenta resistività inferiori a 200 ohm.m e velocità sismiche inferiori a 1.000-1.500 m/sec.

Al di sotto di questo strato superficiale le indagini tomografiche di resistività hanno evidenziato uno strato mediamente molto resistivo (da oltre 500 fino a 1.500-2.000 ohm.m) che presenta spessori variabili da poco più di 30 fino a circa 50 m. Questo è da interpretare come la Formazione di Dorgali.

L'elevata compattezza di questa roccia è evidenziata dalle elevate velocità sismiche che sono risultate, talora anche superiori a 5.000-6.000 m/sec. Questi valori sono stati confermati anche dalle misure in foro con la tecnica Dow-Hole eseguite sul foro NA-1 fino a 56 m dal p.c.

Al di sotto di questo strato calcareo-dolomitico le tomografie di resistività hanno evidenziato un deciso e continuo calo dei valori con minimi dell'ordine di

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario:  EDISON EDF GROUP</p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 38 / 45</p>
--	--	--

150-200 ohm.m che è stato interpretato dovuto alla Formazione conglomeratico – argillosa di Genna Selole, all’interno della quale si trovano anche orizzonti ricchi di carbone. Il passaggio alla sottostante formazione metamorfica Paleozoica si può intuire dai *trend* di risalita della resistività che compaiono in alcuni tratti. Tuttavia, i segnali non sono così chiari da poterne tracciare una ipotesi di andamento.

Le tomografie di resistività così come quelle sismiche hanno, inoltre, evidenziato anche alcune situazioni anomale nel contesto dello strato calcareo-dolomitico che possono essere associate alla presenza di strutture ad andamento sub-verticale (fratture o faglie). Lungo queste strutture i fenomeni di fratturazione possono risultare evidenti sia come diminuzioni di resistività, sia come diminuzioni di velocità oppure come diminuzione di entrambe queste proprietà fisiche.

Nel primo caso si può pensare a zone fratturate dove la presenza di terreni di riempimento delle fratture stesse è suggerita dalle diminuzioni della resistività, ma non da diminuzioni di velocità, dato che il riempimento può risultare anche molto compatto, quasi come una cementazione delle fratture stesse. Nel secondo caso, invece, le fratture possono risultare aperte e, forse, caratterizzate da permeabilità più elevata.

Nel terzo caso le zone di frattura possono essere parzialmente riempite, per cui si hanno diminuzioni sia della resistività, dovuta ai materiali di riempimento, sia della velocità sismica, dato che questi materiali non hanno portato ad una ricementazione delle zone fratturate.

Dalle tomografie sismiche sono state evidenziate, in particolare, anche alcune zone di riduzione generalizzata delle velocità sismiche che fanno pensare a contesti di intensa fratturazione piuttosto che a singole fratture che, comunque si possono indicare nei tratti in cui la diminuzione di velocità è massima.

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

In Tavola 2 è riportata la porzione di profilo che va dalla progressiva 0+000 fino alla 0+650m, e nella sezione interpretativa, che si riporta per comodità anche in **Figura 27**, si segnalano almeno due zone di marcata fratturazione (A e D) con possibili linee di frattura ed altre due zone (B e C) con ipotesi di fratture ricementate (anomalie solo della resistività).

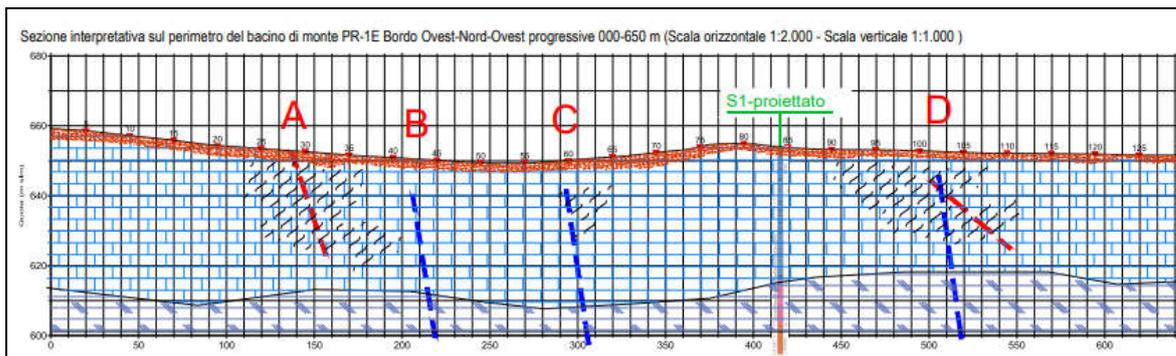


Figura 27 - Sezione interpretativa per le fondazioni sul lato Ovest-Nord-Ovest del Bacino

Nella seconda sezione è riportata la porzione di profilo che va dalla progressiva 0+650 fino alla 1+150m circa, corrispondente al lato Sud dell'argine del bacino di monte. In questo tratto sono state evidenziate tre zone di anomalia di resistività (E, F e G), che sono identificate in base alla tomografia di resistività, mentre sulla base della tomografia sismica le zone F e G rientrano in un contesto unico di fratturazione diffusa con velocità che scendono sotto i 3'000 m/sec (**Figura 28**).

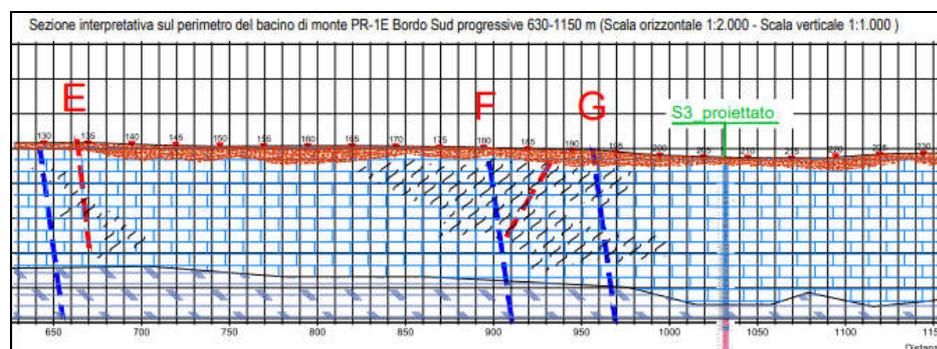


Figura 28 - Sezione interpretativa per le fondazioni sul lato Sud-Sud-Ovest del Bacino

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

Nella terza sezione, (Tavola 3 e **Figura 29**) è riportata la porzione di profilo compresa fra la progressiva 1+150m fino a circa 1+830m, corrispondente al lato Est dell'argine del bacino di monte. In questo tratto sono segnalate sei zone di anomalia (H, I, J, K, L ed M), delle quali soltanto le anomalie I, L ed M sono quelle con evidente fratturazione della formazione e giaciture oblique che possono essere il risultato di fratture inclinate o soltanto della presenza di anomalie strutturali e/o stratigrafiche della formazione.

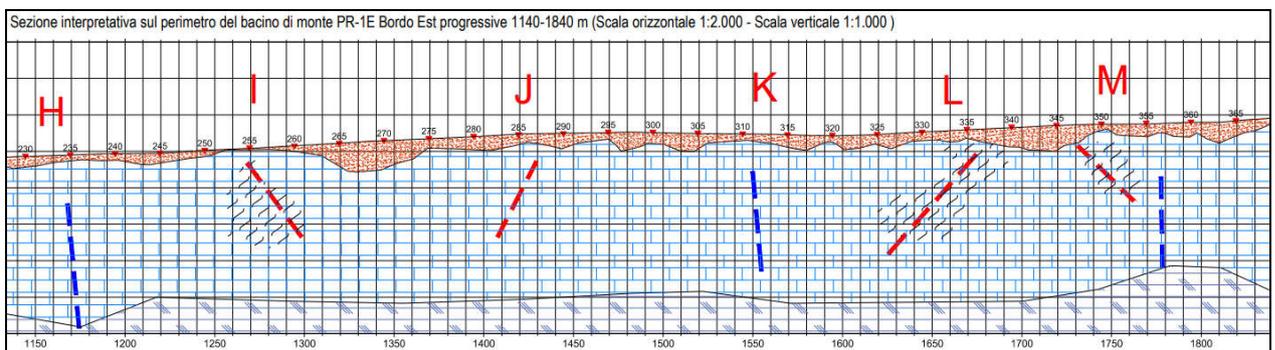


Figura 29 - Sezione interpretativa per le fondazioni sul lato Est-Sud-Est del Bacino

Nella quarta sezione (Tavola 3 e **Figura 30**) è riportato il lato Nord del bacino di monte dove non sono emerse particolari anomalie ad eccezione di una marcata discontinuità geoelettrica che segna il passaggio da zone a resistività mediamente più basse a resistività molto elevate (fino ad oltre 2'000ohm x m). Questa situazione è in accordo anche con una velocità sismica costantemente elevata in tutto il tratto (valori superiori a 5'000 m/sec). Ciò suggerisce la presenza di una formazione in condizioni di elevata compattezza.

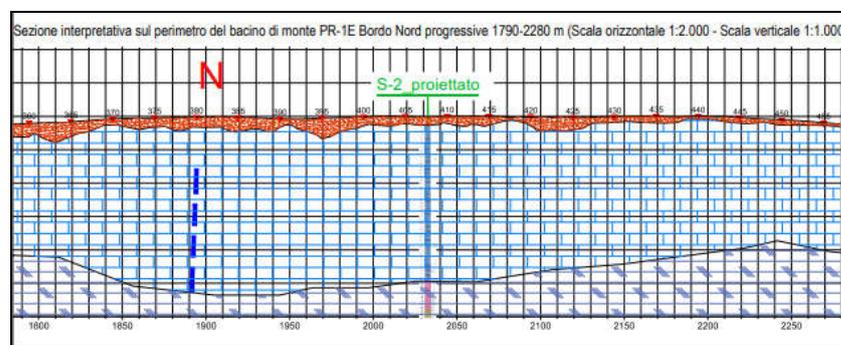


Figura 30 - Sezione interpretativa per le fondazioni sul lato Nord-Nord-Est del Bacino

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

<p>Committente: STRATEGIES FOR WATER FROSIO next</p> <p>Beneficiario:  EDISON EDF GROUP</p>	<p>TACCU SA PRUNA PROGETTO DI IMPIANTO DI ACCUMULO IDROELETTRICO MEDIANTE POMPAGGIO AD ALTA FLESSIBILITÀ</p>	 <p>Rapporto n. 2599/22 Pag. 41 / 45</p>
--	--	---

5.2 GALLERIE DI ACCESSO, DI SCARICO E POZZO PARATOIE

Le indagini condotte per studiare la porzione di ammasso roccioso che saranno interessate dallo scavo delle gallerie di accesso, di scarico e dal pozzo paratoie, sono state unicamente di tipo geoelettrico in quanto le profondità in esame sono estremamente elevate e non raggiungibili con la tecnica della sismica tomografica.

Le tomografie di resistività sono state ottenute dall'analisi ed elaborazione dei dati acquisiti sempre con lo schema del Profilo Polo-Dipolo, ma con dipoli di 25 m (cadenza elettrodica) e dispositivo di acquisizione di 875m (questa misura indica la capacità di penetrazione dei segnali nel sottosuolo in termini di distanza tra i punti di invio della corrente e di misura delle differenze di potenziale) e roll-along di 150m (cioè il passo di avanzamento del dispositivo per esplorare sezioni di lunghezza superiore al dispositivo. I dettagli della fase di acquisizione e di elaborazione sono descritti nei capitoli specifici ed i risultati sono riportati in Tavola 4, nella duplice versione di tomografia ottenuta dall'elaborazione con algoritmo "standard" e con l'algoritmo "robust".

I due modelli interpretativi evidenziano, sostanzialmente gli stessi andamenti di zone conduttive e resistive ma è marcata la differenza in termini di forma: sinuose e con variazioni graduali con algoritmo *standard*; spigolose e molto contrastanti in termini di resistività adottando il *robust*.

Per il passaggio tra le formazioni calcareo dolomitiche e quelle conglomeratico argillose giurassiche appare evidente che la tomografia *robust* è quella meglio definisce l'andamento delle discontinuità. Infatti, le anomalie tendono a suggerire discontinuità prevalentemente orizzontali e verticali ed il passaggio tra il contesto resistivo e quello conduttivo sottostante è estremamente rapido: la fascia colorazioni che va da circa 250 fino a 1.000 ohm.m, infatti è pressoché assente (**Figura 31**).

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

Questo algoritmo (*robust*), infatti, è stato utilizzato anche per la elaborazione delle tomografie eseguite lungo il perimetro del bacino di monte dove era di particolare importanza evidenziare l'andamento dello stesso contatto e le eventuali anomalie nel contesto della Formazione Calcareao Dolomitica di Dorgali.

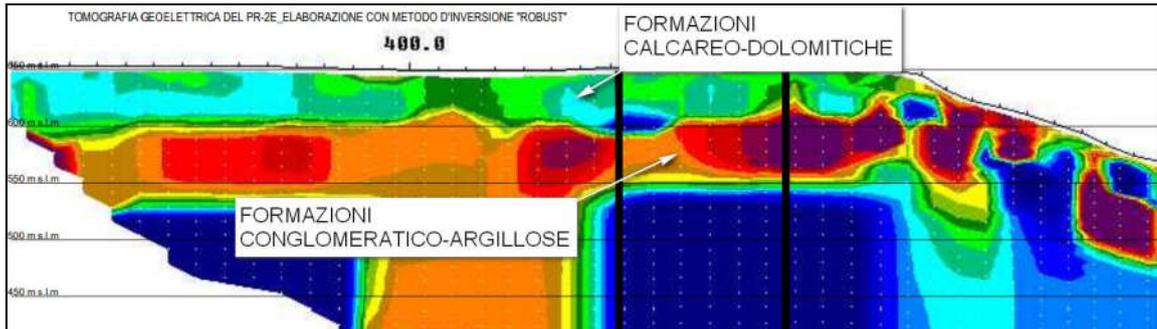


Figura 31 - Discontinuità sub-orizzontale tra la Formazione di Dorgali ed i terreni sottostanti

Per le anomalie che rappresentano l'andamento del substrato e delle strutture presenti al suo interno, invece, l'approccio *standard* sembra più affidabile. Infatti, si hanno anomalie con direzione anche obliqua e variazioni generalmente più progressive (Figura 32).

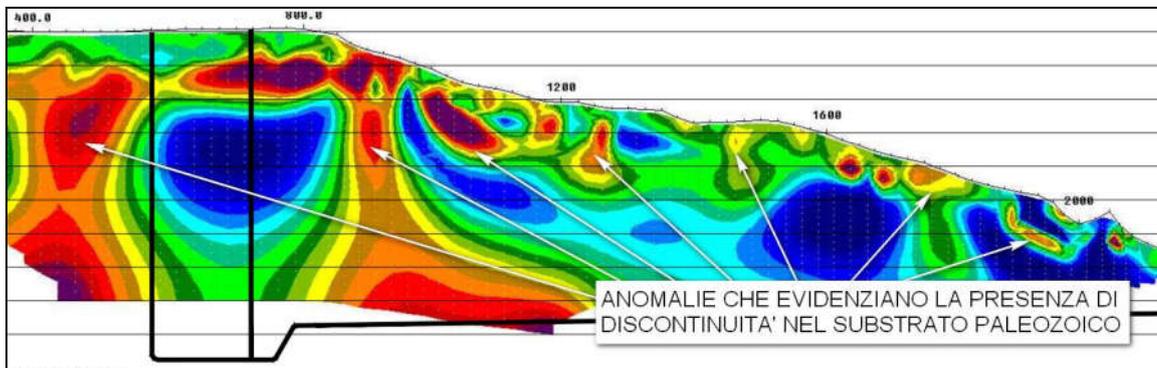


Figura 32 - Discontinuità ad inclinazione variabile nel substrato paleozoico

La zona di imbocco delle gallerie di accesso e di carico/scarico e la zona del pozzo paratoie sono state studiate con maggior dettaglio anche con l'integrazione di tomografie sismiche (geofoni a cadenza di 5 m). Le tomografie di resistività con cadenza degli elettrodi pari a 5 m e quella con elettrodi a 25 m, inoltre, per un breve tratto sono sovrapposte. I risultati di queste indagini

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

vengono riportati in Tavola 5 e per ogni sezione esplorata si riportano i dati geofisici e le relative sezioni interpretative. Il risultato finale delle indagini condotte lungo le gallerie è rappresentato dalla sezione interpretativa che viene riportata in Tavola 6.

Oltre alle discontinuità strutturali inclinate verso la fossa del Flumendosa, in questa sezione ne sono state indicate anche alcune stratigrafiche che sembrano in accordo con le strutture geologiche osservate in superficie e riconducibili a fasce di alterazione o alla presenza di variazioni nella fratturazione e permeabilità delle formazioni metamorfiche (Fm. Santa Maria Vittoria e Fm. di San Vito).

Tra le strutture messe in evidenza appare di particolare interesse la zona di anomalia di resistività con probabile intensa fratturazione che si colloca in corrispondenza della fine del plateau carbonatico, alla progressiva chilometrica di circa 1+420km dall'imbocco della galleria di scarico. Questa struttura sembra avere uno sviluppo verso il basso molto marcato e potrebbe raggiungere tutte le opere in sotterraneo previste nel layout del progetto di massima (**Figura 33**).

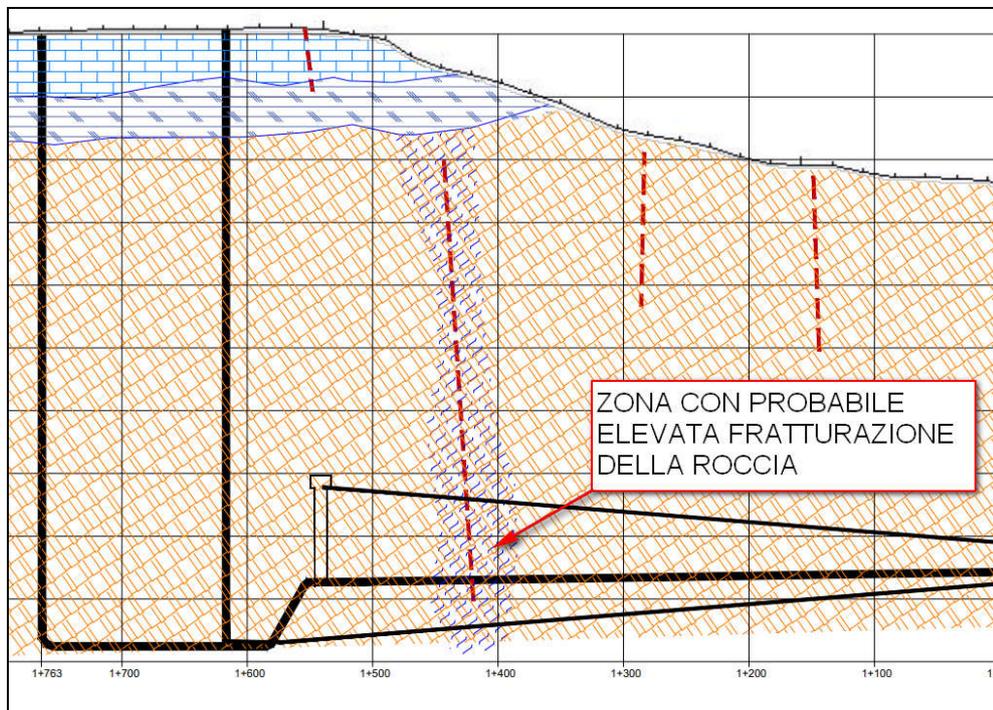


Figura 33 - Zona di intensa fratturazione tra la P.k. 1+390 ed 1+450 della galleria di scarico

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

Anche nel tratto iniziale della Galleria di scarico e zone di imbocco della galleria di accesso e del pozzo paratoie sono risultate evidenze di decompressioni dell'ammasso roccioso (zone a bassa velocità sismica, anche inferiori a 2'500 m/sec) e di potenziale alterazione (variazioni di resistività con valori inferiori a 300-400 ohm x m).

Questa situazione è in buon accordo con il fatto ci si trova in un contesto con coperture inferiori al centinaio di metri, quindi in zone con rocce potenzialmente soggette ad una maggiore alterazione da infiltrazioni di acqua (**Figura 34**).

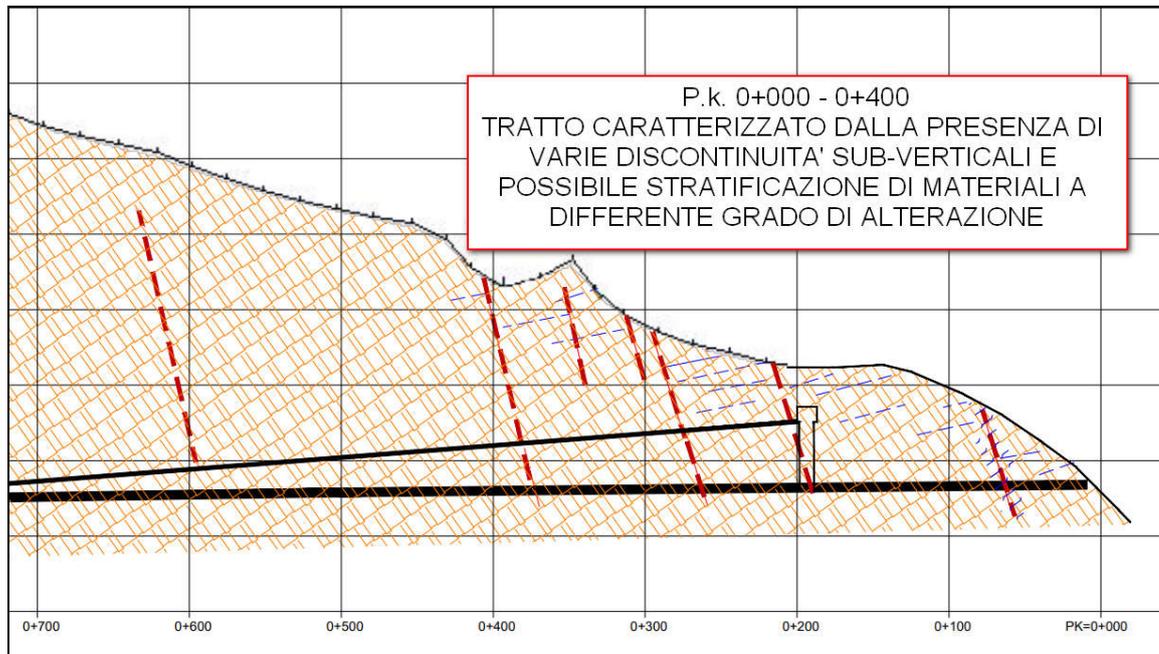


Figura 34 - Zona potenzialmente intensamente fratturate alla P.k. 0+000 - 0+400

Nella porzione centrale della galleria di scarico e delle varie gallerie di accesso (P.k.0+400 – P.k. 1+400) non si segnalano particolari condizioni di criticità, tuttavia ciò può essere dovuto alla mancanza di informazioni da tomografie sismiche e dalla minore risoluzione del rilievo geoelettrico con dipoli da 25 m anziché da 5 m (i dipoli più corti, infatti, permettono una maggiore risoluzione, ma una minore profondità di indagine).

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------

5.3 SINTESI DEI RISULTATI

Dall'insieme delle indagini eseguite, descritte e commentate nei paragrafi precedenti si è potuto disegnare una carta di sintesi in cui sono state evidenziate le principali situazioni anomale riconducibili a linee di discontinuità verticali o inclinate e le relative fasce di maggior fratturazione e/o alterazione con la indicazione delle seguenti informazioni sintetizzate nella Tavola 7 e nella seguente **Figura 35** in scala adattata alla pagina.

- C** Sigle delle zona di anomalia identificate lungo il perimetro del Bacino di monte
-  Principali linee di frattura individuate dalle indagini geofisiche
-  Zone di intensa fratturazione dalle indagini geofisiche
-  Linee di frattura riportate nel rilievo geologico di superficie (Vedi Rapporto specifico)
-  Zone di attenzione nello scavo delle gallerie ed altre opere sotterranee

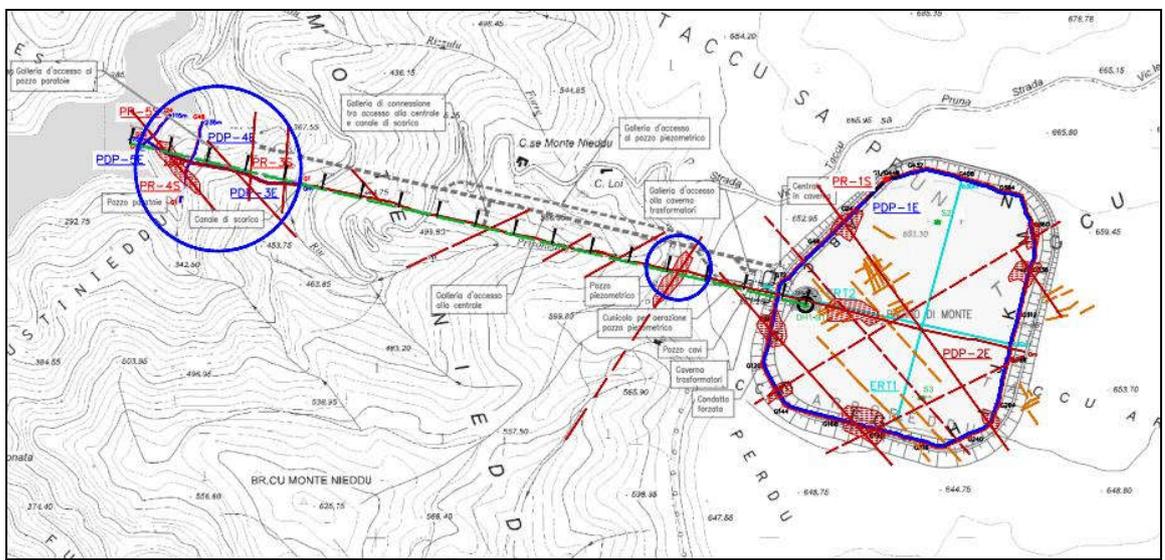


Figura 35 - Mappa di sintesi delle strutture individuate dalla campagna di indagini geofisiche

Dott. Geol. Gianfranco Censini – Dott. Geol. Stefano Conti
 Sinalunga, 19/03/2022 - Porto Torres 19/03/2022

Data Marzo 2022	2599-Taccu sa Pruna_PDP-SIS-DH_20220319	Approvato: gfc	Rev. 00
--------------------	---	-------------------	---------