



Committente

tecnic

## Progetto definitivo

RUOTI ENERGIA S.r.l.  
Piazza del Grano 3  
I-39100 Bolzano (BZ)

committente

Impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio denominato "Mandra Moretta" e relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili nei Comuni di Ruoti, Avigliano, Potenza, Pietragalla, Cancellara e Vaglio Basilicata (PZ)

progetto

contenuto RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

redatto	modificato			scala	elaborato n.
adc	12/12/2022	a			PD-R.6
controllato		b			
		c			
pagine	n. progetto				



Studio di Geologia e Geolngegneria  
Dott. Geol. Antonio De Carlo

Dott. Geol. Antonio De Carlo  
Via del Seminario 35 – 85100 Potenza (PZ)  
tel. +39 0971 180 0373  
[studiogeopotenza@libero.it](mailto:studiogeopotenza@libero.it)



**BETTIOL ING. LINO SRL**  
Società di Ingegneria

S.L.: Via G. Marconi 7 - 31027 Spresiano (TV)  
S.O.: Via Panà 56ter - 35027 Noventa Padovana (PD)  
Tel. 049 7332277 - Fax. 049 7332273  
E-mail: [bettiolinglinosrl@legalmail.it](mailto:bettiolinglinosrl@legalmail.it)

## patscheiderpartner

E N G I N E E R S

Ingegneri Patscheider & Partner S.r.l.  
i-39024 mals/malles (bz) - glurnserstraße 5/k via glorenza  
i-39100 bozen/bolzano - negrellistraße 13/c via negrelli  
a-6130 schwaz - mindelheimerstraße 6  
tel. +39 0473 83 05 05 – fax +39 0473 83 53 01  
[info@ipp.bz.it](mailto:info@ipp.bz.it) – [www.patscheiderpartner.it](http://www.patscheiderpartner.it)

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>6</b>
<b>3. DESCRIZIONE ED UBICAZIONE DELL'OPERA .....</b>	<b>7</b>
<b>4. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE .....</b>	<b>11</b>
4.1 Sondaggi meccanici.....	12
4.2 Descrizione delle metodologie utilizzate.....	13
4.3 Prove Penetrometriche Dinamiche (S.P.T.).....	14
4.4 Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc .....	15
4.5 Prove di permeabilità in foro tipo Lugeon .....	16
4.6 Installazione di tubi piezometrici.....	18
4.7 Prelievo di campioni .....	18
4.8 Analisi e prove geotecniche di laboratorio .....	19
4.9 Pozzetti esplorativi.....	20
4.10 Prospezioni Sismiche MASW.....	20
4.11 Tomografie Elettriche Verticali .....	21
<b>5. VALUTAZIONE DEL RISCHIO FRANE E ALLUVIONAMENTO .....</b>	<b>22</b>
<b>6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE LOCALE.....</b>	<b>25</b>
6.1 Inquadramento litologico delle opere in progetto .....	32
<b>7. MODELLO GEOTECNICO .....</b>	<b>38</b>
7.1 Indagini in situ: Prove Penetrometriche Dinamiche S.P.T.....	39
7.2 Analisi e prove di laboratorio.....	41
7.3 Parametrizzazione geotecnica.....	41
<b>8. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA .....</b>	<b>47</b>
8.1 Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc .....	47
8.2 Diga di monte .....	48
8.3 Diga di valle.....	49
8.4 Prove di permeabilità in foro tipo Lugeon .....	50
8.5 Diga di monte .....	51
8.6 Diga di valle.....	52
8.7 Interpretazione dei dati delle prove di permeabilità in foro .....	54
8.8 Tomografie Elettriche Verticali .....	55
8.9 Diga di valle.....	56
8.10 Considerazioni sulla circolazione idrica sotterranea .....	58
8.11 Interpretazione dei dati idrogeologici.....	58
<b>9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....</b>	<b>62</b>
9.1 Interpretazione dei dati acquisiti.....	70



<b>10. CARATTERIZZAZIONE MORFOLOGICA E FATTIBILITA' DEL PROGETTO .....</b>	<b>71</b>
10.1 Diga di monte .....	71
10.2 Diga di valle.....	72
10.3 Condotta forzata.....	74
10.4 Cavidotto.....	74
10.5 Elettrodotto.....	85

## 1. PREMESSA

Il presente Studio Geologico è relativo alla redazione del progetto per la realizzazione di un nuovo impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio denominato “Mandra Moretta” e relative opere connesse ed infrastrutture indispensabili ricadenti nei Comuni di Ruoti, Avigliano, Potenza, Pietragalla, Cancellara e Vaglio Basilicata (PZ), proposto dalla società **RUOTI ENERGIA S.r.l.** con sede legale a Bolzano (BZ). Le opere di impianto si localizzano tutte nel territorio amministrativo del Comune di Ruoti, mentre la realizzazione delle opere di utenza è invece prevista nei comuni di Ruoti, Avigliano, Potenza, Pietragalla, Cancellara e Vaglio Basilicata (PZ).

La presente relazione è illustrativa della geologia, della geotecnica, dell'idrogeologia, della morfologia e di tutti i risultati interpretativi a cui si è giunti relativamente agli areali interessati dal suddetto progetto: *diga di monte, diga di valle, condotta forzata, cavidotto ed elettrodotto.*

Partendo dallo studio geologico-morfologico di superficie, attraverso i dati desunti dalle indagini geognostiche dirette ed indirette, eseguite in occasione dello studio di fattibilità dello stesso progetto, redatto nell'autunno del 2012, e la conseguente interpretazione delle prove in situ e delle analisi e prove di laboratorio, attraverso la caratterizzazione indiretta mediante indagini sismiche e geoelettriche, ne sono derivate le informazioni geologiche l.s., geomorfologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche relative alle aree d'imposta delle dighe di monte e di valle.

Per gli areali su cui si svilupperà la condotta, il cavidotto e l'elettrodotto, invece è stato condotto un rilievo di campo di dettaglio al fine di escludere o individuare la presenza di elementi di criticità morfologica, per cui il rilevamento geo-morfologico di superficie si è dimostrato utile al raggiungimento dell'obiettivo. Le informazioni che qui si presentano, tuttavia, devono ritenersi valide nei limiti che questa prima fase cognitiva pone, ovvero acquisizione di dati e notizie preliminari. Si rimanda al successivo grado di approfondimento della progettazione la verifica puntuale, da effettuare tramite indagini geognostiche dirette ed indirette ed analisi e prove geotecniche di laboratorio, al fine di meglio dettagliare le caratteristiche litologiche, geomorfologiche, geotecniche, idrogeologiche e sismiche dei terreni in affioramento, con la finalità di ricostruzione del modello litotecnico e sismico dell'areale di sedime delle suddette opere.

Per la definizione del modello geotecnico ed idrogeologico delle aree di imposta della diga di valle e di quella di monte, sono stati utilizzati metodi di indagine convenzionali e propri dei terreni su cui si è operato:

- Sondaggi meccanici;
- Prove penetrometriche dinamiche (S.P.T.);
- Prove di permeabilità in foro (Lefranc, Lugeon);
- Installazione di piezometri;
- Pozzetti esplorativi;
- Analisi e prove geotecniche di laboratorio (determinazione di proprietà indice e di stato; determinazione del coefficiente di permeabilità K, Prove Triassiali CD, Prove di Taglio Diretto CD, Prove CBR e PROCTOR);
- Indagini geofisiche in situ (MASW, Tomografia Elettrica Verticale).

Tutte le indagini sono state posizionate lungo la direttrice dei rispettivi coronamenti delle dighe, ad esclusione delle indagini geoelettriche che, invece, sono state realizzate, compatibilmente con l'accessibilità ai luoghi, in un settore della vallata immediatamente a monte di quello della diga di valle. La scelta dei siti di misura e d'indagine, nonché le modalità operative d'intervento, sono state preventivamente concordate con i Progettisti, privilegiando la necessità di avere dati *preliminari conoscitivi* ampiamente estesi sui due settori di territorio esaminato, utili a definirne a larga scala i caratteri geologico-tecnici.

La presenza per alcuni metri di spessore di *materiali alluvionali attuali e recenti* in tutto il settore di fondovalle interessato dalla diga di valle e dal relativo bacino sotteso, ha fatto ritenere opportuno verificare mediante pozzetti esplorativi la possibilità di riutilizzo di tali terreni, come materiali aridi per la costituzione del corpo diga stesso, con prelievo di materiale su cui poi sono state eseguite attinenti prove geotecniche di laboratorio (Prova Proctor e CBR). I dati ed i risultati ottenuti dall'attività diretta di indagine (sondaggi geognostici, prove in situ e di laboratorio) sono stati integrati con quelli ottenuti dall'attività di acquisizione indiretta (indagini geofisiche), da cui scaturisce la relativa attività interpretativa.

Per quanto attiene alle indagini, nel dettaglio sono stati eseguiti:

- n° 06 sondaggi meccanici a carotaggio continuo;
- n° 05 prove penetrometriche dinamiche (S.P.T.);
- n° 15 prove di permeabilità in foro tipo Lefranc a carico variabile;
- n° 01 prova di permeabilità in foro tipo Lefranc a carico costante;
- n° 18 prove di permeabilità in foro tipo Lugeon in avanzamento;
- installazione di n° 03 piezometri finestrati;
- analisi e prove geotecniche di laboratorio su n° 06 campioni tipo Shelby;

- analisi e prove geotecniche di laboratorio su n° 01 campione semidisturbato;
- n° 03 pozzetti esplorativi;
- prove CBR e Proctor su n° 02 campioni;
- n° 02 indagini MASW;
- n° 06 indagini geoelettriche con restituzione tomografica (T.E.V.).

Si precisa che l'attuazione e la tipologia delle prove in foro, nonché il prelievo di campioni, sono stati subordinati alla eseguibilità e/o alla compatibilità delle singole operazioni con le tipologie dei terreni via, via carotati.

Le indagini geognostiche fin qui eseguite sono da intendersi sufficienti per questo primo grado conoscitivo dei tematismi geologico-tecnici. Nell'allegato **PD-EP.12: Planimetria delle indagini geognostiche eseguite** sono state ubicate ed indicate tutte le indagini geognostiche eseguite.

Le elaborazioni cartografiche ed i risultati delle singole sperimentazioni sono riportati negli allegati di seguito elencati:

- **PD-R.20: Relazione indagini e monitoraggi**
- **PD-EP.11.1: Carta geologica - opere di impianto**
- **PD-EP.11.2: Carta geologica - OUC**
- **PD-EP.12: Planimetria delle indagini geognostiche eseguite**
- **PD-EP.13: Carta geomorfologica - opera di impianto**
- **PD-EP.14: Carta geomorfologica - OUC**
- **PD-EP.15.1: Inquadramento su Piani per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - opera di impianto**
- **PD-EP.15.2: Inquadramento su Piani per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - OUC**
- **PD-EP.20.1: Invaso di monte: Sezione geologica schematica**
- **PD-EP.21.1: Condotte forzate: sezioni geologiche trasversali**
- **PD-EP.21.2: Condotte forzate: profilo geologico**
- **PD-EP.22.1: Invaso di valle: sezione geologica schematica**
- **PD-EP.22.1.1: Invaso di valle: sezione idrogeologica schematica**
- **PD-EP.23.1: Centrale di produzione e SSE: sezioni geologiche**
- **PD-VI.17.1: Carta idrogeologica - opere di impianto**
- **PD-VI.17.2: Carta idrogeologica - OUC**

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Nella redazione del presente documento si è fatto riferimento alla normativa vigente ed alla documentazione bibliografica esistente:

- **Normativa di riferimento (nazionale):**

- L.N. 64/74 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D.M. 11.03.1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- O.P.C.M. 3274/2003 – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- D.M. 14.09.2005 - Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Norme di Attuazione - Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) - Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale Sede Basilicata e sede Campania;
- O.P.C.M. 3519/2006 - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;
- D.M. LL.PP. del 17.01.2018 - Testo Unitario - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare del C.S.LL.PP. n° 617 del 02.02.2009 - Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

- **Normativa di riferimento regionale:**

- L.R. n° 38 del 06.08.1997 - Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico;
- L.R. n° 9 del 16.04.1984;
- Delibera del Consiglio Regionale di Basilicata n° 575 del 04.08.2009;
- L.R. 9/2011 – Disposizioni urgenti in materia di microzonazione sismica.

### 3. DESCRIZIONE ED UBICAZIONE DELL'OPERA

Il previsto impianto a pompaggio sarà essenzialmente costituito da due bacini collegati da una condotta forzata, al termine della quale saranno installate le turbine e le pompe in grado di generare la potenza prevista, quando richiesto, e di immagazzinare l'energia (sotto forma di energia potenziale) nei periodi di maggiore disponibilità. Per il bacino di valle si prevede di sfruttare la porzione più valliva dell'asta torrentizia della Fiumara di Ruoti, subito prima della confluenza con la Fiumara di Avigliano. In quest'area sarà realizzato uno sbarramento trasversale in terra alla Fiumara di Ruoti al fine di invasare il volume d'acqua necessario, pari a circa 850.000 m<sup>3</sup>, per produrre la potenza prevista. In posizione immediatamente adiacente al bacino di valle sarà realizzato l'edificio della centrale, che sfrutterà la differenza di quota fra il bacino di monte e quello di valle per la produzione di energia. L'edificio che ospiterà le macchine sarà realizzato completamente interrato.

Il bacino di monte sarà costruito nella zona detta "Mandra Moretta", ad una quota di circa 1080 m slm. La zona presenta le caratteristiche morfologiche ideali per la realizzazione del bacino: è infatti già presente un piccolo specchio d'acqua (il Lago della Moretta) realizzato grazie ad un semplice sbarramento di confinamento ad una piccola sorgente subsuperficiale, che di fatto si configura come un laghetto di natura prettamente artificiale nonostante il contesto naturale in cui è inserito.

La realizzazione delle opere impianto è prevista all'interno del Comune di Ruoti in provincia di Potenza e si estendono a S-SW dell'abitato, mentre delle opere di utenza è invece prevista nei comuni di Ruoti, Avigliano, Potenza, Pietragalla, Cancellara e Vaglio Basilicata (PZ).

Nella cartografia ufficiale le aree ricadono nel F°187 "*Melfi*" della Carta Geologica d'Italia (carta 1:100.000 dell'I.G.M.), nel F°188 in parte nel F°470 "*Potenza*" ed in parte nel F°469 "*Muro Lucano*" della Carta Geologica d'Italia (carta 1:50.000 dell'I.G.M.), nella Tavoletta n°187 III SE "*Ruoti*" (scala 1:25.000), n°187 II SO "*Avigliano*" e n°187 II SO "*Pietragalla*" della Carta Topografica d'Italia dell'I.G.M., nella sezione 470090 "*Cerreta Sicilia*" (scala 1:10.000) e nell'elemento n°470053 "*Ruoti*" (scala 1:5.000) della Carta Tecnica Regionale.

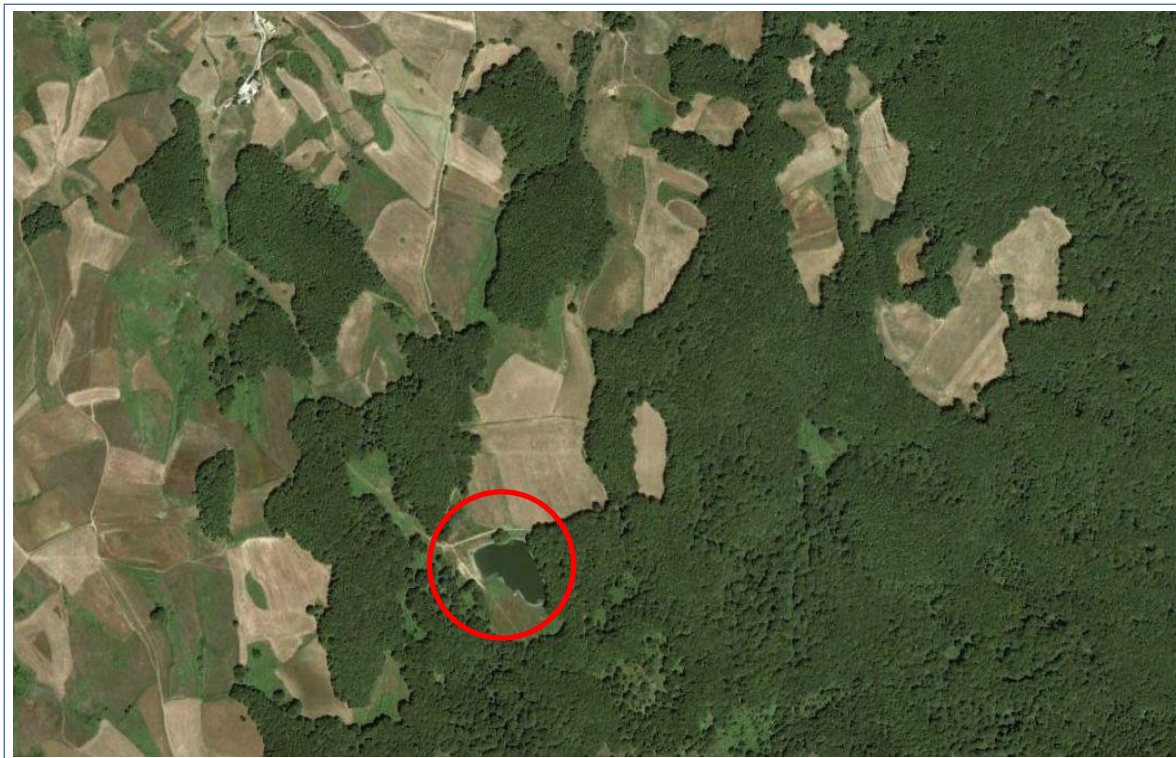
Come già accennato, nell'area dove è prevista l'ubicazione del bacino di monte è presente un laghetto probabilmente alimentato da una piccola sorgente sotterranea, che



occupa una superficie di circa 4.700 m<sup>2</sup>. Il lago della Moretta (anche detto Lago Scuro) è inserito in una conca naturale chiusa sul lato Nord da un argine realizzato in anni recenti. Non risultano allo stato interventi di impermeabilizzazione o di gestione delle acque superficiali nella zona del laghetto. A valle dell'argine si estende una zona pianeggiante ad oggi incolta.

L'area risulta essere particolarmente favorevole per l'ubicazione di un invaso della capacità richiesta data la conformazione naturale "a conca" e degli spazi limitrofi pianeggianti disponibili, incolti e liberi da alberature.

La presenza di strade esistenti garantisce un accesso rapido alle aree, evitando di realizzare ulteriori corridoi carrabili all'interno di proprietà private. La presenza di bosco intorno all'area di progetto favorisce inoltre il mascheramento dell'opera minimizzandone l'impatto visivo. Da un esame accurato delle aree limitrofe il sito scelto risulta il più idoneo per la realizzazione delle opere in progetto.

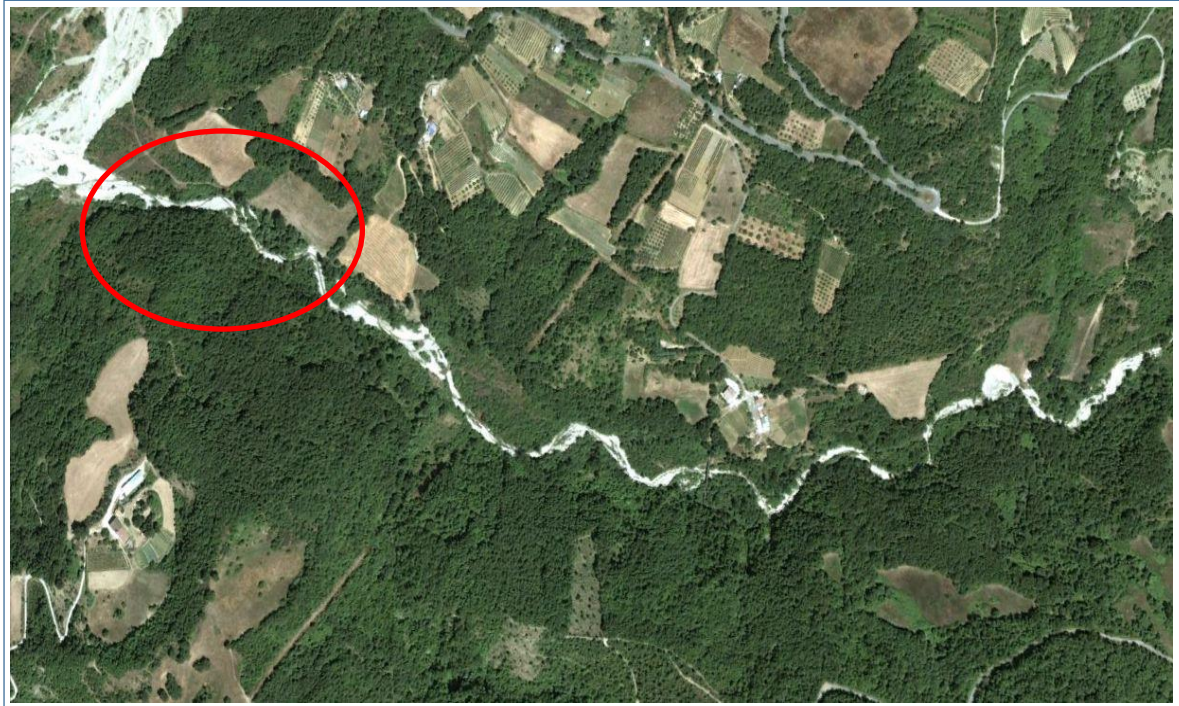


**Figura 01: Ortofoto della zona del bacino di monte: evidenziato il lago della Moretta**



**Figura 02: Foto panoramica della zona del bacino di monte: evidenziato il lago della Moretta**

L'area individuata per la realizzazione del bacino di valle è ubicata in corrispondenza della confluenza tra la Fiumara di Ruoti e quella di Avigliano. Il versante in sinistra idrografica è coperto da una vasta macchia arborea mentre sul versante di destra, meno acclive, sono presenti prati colti e incolti ed arbusti sparsi. Il corso d'acqua in questo tratto presenta un andamento sinuoso con pendenze medie comprese tra il 2.7% ed il 4.8%. L'orografia è caratterizzata da una valle larga, che ben si presta ad ospitare un invaso. La sezione di imposta della diga è stata individuata in un tratto in cui la valle si restringe offrendo le caratteristiche ideali per l'inserimento del manufatto, sufficientemente a monte della confluenza con la Fiumara di Avigliano tale che il deflusso della stessa in ogni condizione non interferisca con il corpo della nuova diga.



**Figura 03: Ortofoto della zona del bacino di valle**



**Figura 04: Foto panoramica della zona del bacino di valle**

#### 4. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE

Nell'autunno del 2012, in occasione dello studio di fattibilità redatto per il presente progetto, sono state eseguite delle indagini geognostiche dirette ed indirette di cui se ne descrive di seguito la tipologia, la strumentazione utilizzata e le modalità operative. Le indagini sono conformi a quanto disposto dal D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le Costruzioni”, oltre che secondo le regole tecnologiche dell’ANISIG. Le stesse sono state finalizzate ad una *preliminare* ricostruzione del modello geologico ed a costituire l'elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici già in questa fase preliminare/definitiva della progettazione, limitatamente all'invaso di valle e di monte. Infatti, sulla base degli esiti delle stesse indagini, è stato possibile identificare e/o confermare le formazioni ed i litotipi già individuati nel rilievo di superficie, la struttura del sottosuolo, i caratteri fisico-meccanici dei terreni e caratterizzare gli aspetti idrogeologici e geomorfologici, quindi i livelli conseguenti delle pericolosità geologiche del territorio. La loro ubicazione è riportata nell'allegato **PD-EP.12**.

Tutte le indagini effettuate sono elencate nella tabella 1, dove si sintetizzano le relative informazioni, con le numerazioni-sigle corrispondenti a quelle restituite sulla cartografia tematica allegata.

Sigla	Coordinate		Quota (m s.l.m.)	Profondità/Lunghezza (ml)	C.I./C.D. (prof. di prelievo in m)	SPT	Prova di permeabilità tipo Lefranc a carico variabile (CV)/costante (CC) (profondità di esecuzione in m)	Prova di permeabilità tipo Lugeon in avanzamento (profondità di esecuzione in m)	Installazione piezometri (ml)
	Latitudine (UTM)	Longitudine (UTM)				Profondità di esecuzione (m)			
S1	4507011	0555409	495	40,00	8,00/8,80/11,00/15,40	8,50	7,50/18,50/21,00	23,40/32,00/38,00	40,00
S2	4506958	0555381	484	40,00	-	14,50	13,50	20,50/31,00/37,00	40,00
S3	4506984	0555406	486	40,00	7,00	7,50	7,00/8,00	13,50/20,30/28,50/35,50	-
S4	4506922	0555362	481	40,00		-	3,60	5,50/11,50/19,00/28,50/35,50	-
S5	4502883	0556920	1062	40,00	5,60/14,00	6,00/14,40	7,20/11,70/19,20/26,80/36,00	31,00	40,00
S6	4502913	0557043	1073	37,00	-	-	19,00/24,00/32,70/35,60	6,00/13,00	-
P1				5,00	1,50/3,50				
P2				4,00					
P3				5,00					
MASW1				48,00					
MASW2				48,00					
TEV1				80,00					
TEV2				62,00					
TEV3				124,00					
TEV4				80,60					
TEV5				124,00					
TEV6				62,00					

**Tabella 1 - Indagini eseguite**

#### 4.1 Sondaggi meccanici

Allo scopo di acquisire preliminari informazioni litostratigrafiche, geotecniche ed idrogeologiche sul volume significativo di sottosuolo interagente con le opere in progetto, furono programmati ed eseguiti n°3 sondaggi geognostici (rispettivamente indicati come S1, S2, S3) in destra idraulica e n° 1 (indicato come S4) in sinistra idraulica della Fiumara di Ruoti, della profondità di 40,00 ml cadauno, posizionati in coincidenza con l'area di sedime della diga di valle, e n° 2 sondaggi in coincidenza con il futuro corpo diga di monte, indicati come S5 e S6 della profondità rispettiva di 40,00 ml e 37,00 ml.

Le coordinate relative all'ubicazione dei sondaggi riportate nella tabella 2 sono riferite al datum WGS84 – proiezione UTM 33 N.

Sondaggio	Coordinate (WGS84)		Profondità dal p.c. (m)	Quota (m s.l.m.)
	Latitudine N	Longitudine E		
<b>S1</b>	40°42'43.75"	15°39'21.55"	41,00	495
<b>S2</b>	40°42'42.04"	15°39'20.34"	40,00	484
<b>S3</b>	40°42'42.88"	15°39'21.42"	40,00	486
<b>S4</b>	40°42'40.88"	15°39'19.52"	40,00	481
<b>S5</b>	40°40'29.51"	15°40'24.60"	40,00	1062
<b>S6</b>	40°40'30.45"	15°40'29.85"	37,00	1073

**Tabella 2 – Coordinate, profondità e quota dei sondaggi**

Per la finalità del presente lavoro, particolare attenzione è stata rivolta ad una prima definizione del regime idraulico nei terreni di sedime, infatti, il sondaggio S1 è stato ubicato sul versante di sponda, in destra idraulica, nella porzione altimetrica più elevata dell'area di imposta della diga di valle, con lo scopo di caratterizzare e verificarne anche le condizioni di "tenuta"; i sondaggi S2 e S3, invece, sono stati ubicati all'incirca in asse con il "nucleo" della diga per determinare preliminarmente le caratteristiche di permeabilità verticali dei terreni di appoggio. In virtù della configurazione orografica dei luoghi (versante di sponda subverticale) e, quindi, delle conseguenti difficoltà operative, il sondaggio S4 è stato posizionato in sinistra idraulica della Fiumara di Ruoti, con orientamento NW-SE e con inclinazione di 30° rispetto alla verticale. La scelta di eseguire il foro inclinato è stata dettata dalla necessità di valutare preliminarmente da un punto di vista litotecnico ed idrogeologico l'area di "ammorsamento" del corpo diga nel versante di sponda.

Nell'area di sedime della diga di monte le due verticali d'indagine sono state posizionate rispettivamente in corrispondenza dei maggiori scavi e maggiori rinterri (rilevato).

Le n°6 perforazioni sono state eseguite dal giorno 06/11/2012 al giorno 23/11/2012.

Si è proceduto sempre con lavorazioni contestuali su coppie di sondaggi utilizzando le sonde a rotazione FRANZA MAF 600 e CMV MK 420F.

#### 4.2 Descrizione delle metodologie utilizzate

La perforazione adottata è stata a rotazione ed a carotaggio continuo, con metodo di avanzamento idraulico. A seconda dei terreni incontrati sono stati utilizzati i seguenti utensili di perforazione:

- carotiere semplice (per le terre), diametro nominale  $\varnothing_{est} = 101$  mm, lunghezza utile  $L = 300$  cm;
- carotiere doppio T6 (per le formazioni rocciose da tenere a dure) con corona diamantata, diametro nominale  $\varnothing_{est} = 101$  mm, lunghezza utile  $L = 300$  cm.

E' altresì stata utilizzata la tubazione di rivestimento provvisorio (tubo-forma in acciaio,  $\varnothing_{est} = 127$  mm) per evitare franamenti e/o chiusure del foro, oltre che per l'esecuzione delle prove di permeabilità. Dove necessario, per stabilizzare le pareti è stata utilizzata acqua additivata con polimeri. Il carotaggio è stato eseguito a secco, utilizzando l'acqua come fluido di perforazione solo per agevolare l'avanzamento del carotiere, in quanto i terreni in affioramento presentano discreta consistenza e/o addensamento. La percentuale di carotaggio è risultata quasi sempre elevata, compresa tra 90÷100% e contemporaneamente all'approfondimento della trivellazione sono stati calati tubi di rivestimento  $\varnothing 127$  mm a protezione del bocca foro ed in prossimità dei litotipi particolarmente instabili o rigonfianti. Le carote estratte nel corso delle terebrazioni sono state stipate in apposite cassette catalogatrici in plastica munite di scomparti divisori e coperchio. Esse, siglate e fotografate immediatamente dopo il loro riempimento, sono state accatastate in prossimità del foro di sondaggio, restando a disposizione per la visione.

Per ogni sondaggio è stato redatto un **log stratigrafico** ed **una stratigrafia litotecnica** contenente i dati identificativi del sito, il tipo di macchina utilizzato e le informazioni sulla natura e sulle caratteristiche dei terreni attraversati, con riferimento allo stato di consistenza/addensamento dei terreni a carattere coesivo e al TCR (percentuale di carotaggio totale, dato dal rapporto percentuale tra la lunghezza delle carote estratte e la lunghezza della manovra di carotaggio o battuta), nonché allo stato di fratturazione delle rocce, completo dei valori dell'indice RQD (Rock Quality Designation, rapporto percentuale tra la sommatoria degli spezzoni di carota aventi lunghezza maggiore o uguale a 10 cm e la lunghezza manovra di carotaggio o battuta). Per la definizione del colore delle

terre si è fatto riferimento alle MUNSELL SOIL COLOR CHARTS, mentre per la definizione del colore delle rocce si è fatto riferimento alle MUNSELL ROCK COLOR CHARTS.

Le stratigrafie ricostruite a partire dall'analisi delle carote estratte durante la terebrazione ed i report fotografici delle postazioni di sondaggio e delle cassette catalogatrici sono riportati nell'allegato: **PD-R.20**

#### 4.3 Prove Penetrometriche Dinamiche (S.P.T.)

Allo scopo di pervenire ad una definizione del grado di consistenza/addensamento dei terreni interessati dalle opere in progetto, sono state eseguite prove penetrometriche dinamiche S.P.T. nei fori di sondaggio secondo le prescrizioni A.G.I. -Associazione Geotecnica Italiana (Giugno 1977) e A.S.T.M. - D1586-67(74); D1586-84. Per la loro esecuzione è stato utilizzato un penetrometro dinamico pesante italiano (superpesante secondo la classifica ISSMFE) dotato di massa battente  $M = 73 \text{ Kg}$ , altezza di caduta  $H = 0,75 \text{ m}$ , punta conica. In totale, nei fori di sondaggio sono state effettuate n°5 prove penetrometriche utilizzando la punta chiusa ovvero, compatibilmente con la natura dei litotipi riscontrati, la punta aperta (campionatore del tipo Raymond) (Tab. 3).

La distribuzione delle prove nei singoli sondaggi è riportata in tabella 3, mentre i relativi certificati nell'allegato: **PD-R.20**.

Sondaggio	SPT	Tipo di Punta	
	Profondità di esecuzione (m)	Chiusa	Aperta
<b>S1</b>	8,50	X	
<b>S2</b>	14,50	X	
<b>S3</b>	7,50		X
<b>S4</b>	-		-
<b>S5</b>	6,00/14,40	X	
<b>S6</b>	-		

**Tabella 3 – Prove penetrometriche dinamiche S.P.T. e relative profondità di esecuzione**

Nel sondaggio S3 il materiale contenuto nel campionatore è stato accuratamente descritto e sigillato in un sacchetto di plastica, ma non inviato al laboratorio geotecnico poiché ricadente in un intervallo stratigrafico in cui era già stato prelevato un campione da sottoporre ad analisi e prove.

#### 4.4 Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc

Per la definizione quantitativa del coefficiente di permeabilità delle terre interessate dalle indagini in oggetto, sono state eseguite nei sei fori di sondaggio n°16 prove di permeabilità tipo Lefranc, di cui n°15 prove a carico variabile, n°1 prova a carico costante.

Le quote e le modalità di esecuzione della prova (carico variabile o costante) sono state stabilite di volta in volta, in modo da interessare le diverse litologie incontrate. In particolare, si è optato per le prove a carico variabile o per quelle a carico costante a seconda delle caratteristiche granulometriche e tessiturali del terreno: la prova a carico variabile è stata eseguita dove l'assorbimento dei terreni, in virtù della litologia (frazione granulometrica prevalente fine e/o finissima), è apparso modesto o scarso; viceversa, è stata eseguita la prova a carico costante negli intervalli litologici dove non è stato possibile stabilizzare il livello iniziale dell'acqua d'immissione, ovvero l'abbassamento è stato troppo rapido per poter essere misurato.

Il rivestimento è stato posizionato in profondità, fino ad isolare il tratto finale del foro per una lunghezza L variabile, ma compresa fra 1,00-4,00 m.

Nelle prove a carico variabile è stata misurata la velocità di riequilibrio del livello idrico dopo averlo alterato mediante immissione (fino a piano campagna) di acqua in foro. Quindi sono state eseguite alcune letture di livello dell'acqua in foro ad intervalli di tempo di 1 minuto fino al trascorrere di 10 minuti primi, quindi ogni 2 minuti per il restante tempo di esecuzione della prova.

La prova a carico costante è stata preceduta da una fase di immissione d'acqua in foro finalizzata alla creazione di un flusso idrico con direzione radiale e l'instaurarsi di condizioni di filtrazione in regime laminare, in mezzo saturo, controllando la costanza dell'altezza e la misura della portata ogni minuto.

Le profondità di esecuzione delle prove sono riportate in tabella 4:



Sondaggio	Prova di permeabilità tipo Lefranc (profondità tasca di prova in m)	
	Carico costante	Carico variabile
<b>S1</b>		7,50-8,50/18,50-19,50/21,00-22,00
<b>S2</b>		13,50-14,50
<b>S3</b>		7,00-8,00/7,00-12,00
<b>S4</b>		3,60-5,00
<b>S5</b>		7,20-9,00/11,70-14,50/19,20-22,50/26,80-30,00/36,00-40,00
<b>S6</b>	35,60-37,00	19,00-20,50/24,00-26,00/32,70-35,40

**Tabella 4 – Profondità di esecuzione delle prove di permeabilità tipo Lefranc**

Nell'allegato: **PD-R.20** si riportano i certificati delle n°16 prove eseguite.

#### 4.5 Prove di permeabilità in foro tipo Lugeon

Per la definizione del coefficiente di permeabilità delle porzioni lapidee interessate dalle indagini in oggetto, sono state eseguite nei sei fori di sondaggio n°18 prove di permeabilità tipo Lugeon in avanzamento, ovvero con un unico otturatore (o *packer*).

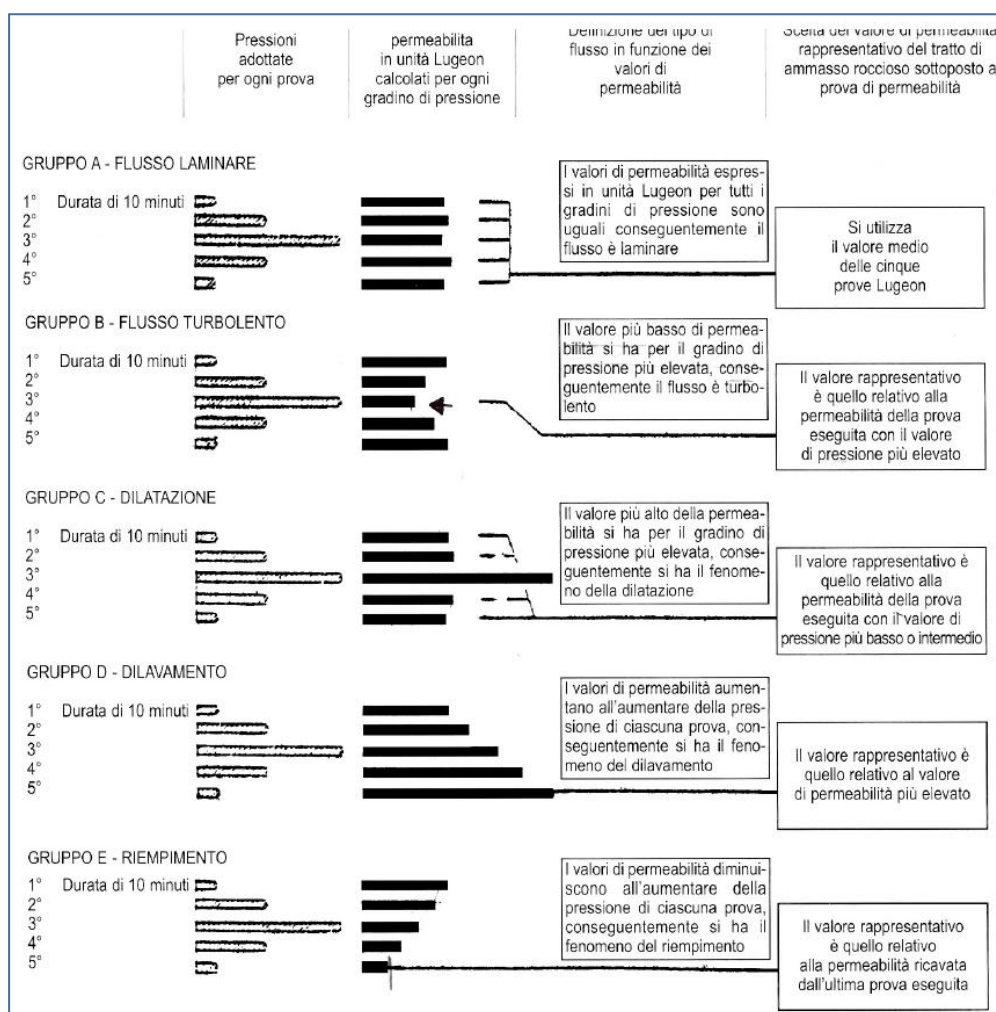
Le quote di prova sono state stabilite di volta in volta, in modo da interessare i diversi gradi di fratturazione della formazione incontrata. L'otturatore è stato calato in foro dopo aver misurato il livello del fluido nel sondaggio con sonda piezometrica. Il foro, nella parte interessata dalla prova (tasca di prova), è stato lasciato privo di rivestimento ed il fluido di perforazione è stata sola acqua priva di additivi. Il packer è stato espanso fino ad isolare il tratto finale del foro per una lunghezza L variabile, ma compresa fra 1,00-4,50 m.

Una volta posizionato il packer in quota, si è proceduto ad iniettare acqua in pressione nel tratto di prova, eseguendo tre diversi gradini di pressione in salita e ripetendo gli stessi due in discesa, misurando per ciascun gradino le portate assorbite a stabilizzazione dell'assorbimento raggiunta. I gradini di pressione utilizzati sono stati 1 bar, 3 bar, 5 bar, quindi 3 bar, 1 bar. Ciascun gradino di portata (a regime) è stato mantenuto per almeno 10 minuti primi, in salita ed in discesa. La scelta dei gradini di pressione è stata fatta in funzione dei litotipi presenti e della pressione indotta sugli stessi dall'acqua invasa nei futuri invasi. Non sono mai stati superati i valori di 5 bar.

Per l'interpretazione dei risultati ottenuti si è fatto riferimento alla metodologia proposta da Houlby (*Routine Interpretation of the Lugeon water-test*, Q. JI Engng Geol. Vol.9,

1976): per la scelta del valore di permeabilità (espresso in Unità Lugeon) rappresentativo del tratto sottoposto a prova si tiene conto dell'andamento degli assorbimenti per ogni gradino di pressione e si determina, quindi, il tipo di flusso (laminare, turbolento, dilatazione, dilavamento, riempimento) in funzione dei valori di permeabilità calcolati.

Di seguito si riporta lo schema interpretativo delle prove Lugeon (Tab.5):



**Tabella 5 – Schema interpretativo delle prove Lugeon (Houlsby, 1976)**

Le profondità di esecuzione delle prove sono riportate in tabella 6:

Sondaggio	Prova di permeabilità tipo Lugeon in avanzamento (profondità tasca di prova in m)
<b>S1</b>	23,40-24,40/32,00-35,00/38,00-41,00
<b>S2</b>	20,50-21,50/31,00-32,80/37,00-40,00
<b>S3</b>	13,50-15,00/20,30-24,00/28,50-33,00/35,50-40,00
<b>S4</b>	5,50-8,10/11,50-14,20/19,00-23,20/28,50-32,00/35,50-40,00
<b>S5</b>	31,00-34,10
<b>S6</b>	6,00-10,20/13,00-17,00

**Tabella 6 – Profondità di esecuzione delle prove di permeabilità tipo Lugeon**

Nell'allegato: **PD-R.20** si riportano i certificati delle n°18 prove eseguite.

#### 4.6 Installazione di tubi piezometrici

Per il rilevamento delle oscillazioni del pelo libero della falda idrica, tre fori di sondaggio sono stati attrezzati con tubi piezometrici in PVC rigido, del diametro  $\varnothing = 60$  mm, in parte ciechi, in parte micro-fessurati. Nel sondaggio S1 sono stati utilizzati tubi ciechi fino alla profondità di 17,00 m, quindi tubi finestrati fino a 40,00 m; la scelta è stata condizionata dall'esigenza di verificare il solo contributo del substrato. Nei sondaggi S2, S5 i tubi utilizzati sono del tipo cieco fino a 4,00 m, profondità dove si ipotizza che sia ancora elevato il contributo delle acque d'infiltrazione meteorica, quindi finestrati fino a 40,00 m. L'intercapedine fra il piezometro e la parete del foro è stata riempita con materiale filtrante (ghiaietto siliceo calibrato). La sigillatura del pozzetto è stata realizzata con una miscela di bentonite, cemento e acqua per uno spessore di 1,50 m (a partire dal p.c.). Le profondità e le tipologie di tubi piezometrici installati sono riportate in tabella 7:

Sondaggio	Piezometro	
	Cieco (da m a m)	Finestrato (da m a m)
<b>S1</b>	0,00-17,00	17,00-40,00
<b>S2</b>	0,00-4,00	4,00-40,00
<b>S3</b>	-	-
<b>S4</b>	-	-
<b>S5</b>	0,00-4,00	4,00-40,00
<b>S6</b>	-	-

**Tabella 7 – Tubi piezometrici installati nei fori di sondaggio**

#### 4.7 Prelievo di campioni

Compatibilmente con la natura litologica dei terreni attraversati, sono stati prelevati campioni da sottoporre ad analisi e prove di laboratorio.

Nel sondaggio S1 sono stati prelevati n°3 campioni con campionatore a pareti sottili tipo Shelby, indicati con le sigle CI1-S1, CI2-S1, CI3-S1, e n°1 campione semidisturbato, indicato con la sigla CD1-S1.

Nel sondaggio S3 è stato prelevato n°1 campione con campionatore a pareti sottili tipo Shelby, indicato con la sigla CI1-S3.

Nel sondaggio S5 sono stati prelevati n°2 campioni con campionatore a pareti sottili tipo Shelby, indicati con le sigle CI1-S5, CI2-S5.

Le rispettive profondità di campionamento sono riportate in tabella 8:

Sondaggio	Sigla campione	Profondità di prelievo (m)
<b>S1</b>	CI1-S1	8,00-8,40
	CI2-S1	11,00-11,40
	CI3-S1	15,40-15,90
	CD1-S1	8,80-9,00
<b>S2</b>	-	-
<b>S3</b>	CI1-S3	7,00-7,50
<b>S4</b>	-	-
<b>S5</b>	CI1-S5	5,60-6,00
	CI2-S5	14,00-14,40
<b>S6</b>	-	-

**Tabella 8 – Campioni e relative profondità di prelievo nei fori di sondaggio**

#### 4.8 Analisi e prove geotecniche di laboratorio

Le analisi e prove geotecniche di laboratorio sui campioni di terra prelevati durante le perforazioni sono state eseguite e certificate da un laboratorio di cui all'art. 59 del DPR n.380/2001, facente parte dell'elenco depositato presso il Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici: Ambiente e Territorio con sede a Manocalzati (AV). In accordo al programma di indagini previsto e compatibilmente con le effettive proprietà litotecniche dei materiali, sono stati determinati i parametri fisico-meccanici di identificazione, di resistenza meccanica e di permeabilità (rif. Tabella 9). I relativi risultati saranno discussi in apposito capitolo, mentre per il dettaglio dei risultati si rimanda ai certificati contenuti nell'allegato: **PD-R.20**.

Sigla	Prof. metri	Apertura e descrizione	Caratt. fisiche generali	Analisi granul.	Limiti di Atterberg	Taglio diretto CD	Permeab Edometrica	Comp. Triassiale C.I.D.	Proctor su 5 punti	CBR
S1 CI 1	8.00-8.40	•	•	•	•		•	•		
S1 CD 1	8.80-9.00	•	•	•	•		•			
S1 CI 2	11.00-11.40	•	•	•	•		•	•		
S1 CI 3	15.40-15.90	•	•	•	•	•	•			
C 1		•	•	•	•				•	•
C 2		•	•	•	•				•	•
S3 CI 1	7.00-7.50	•	•	•	•		•	•		
S5 CI 1	5.60-6.00	•	•	•	•	•	•			
S5 CI 2	14.00-14.60	•	•	•	•	•	•			

**Tabella 9 – Tabella riassuntiva delle analisi e prove geotecniche effettuate**

#### 4.9 Pozzetti esplorativi

Come già accennato in premessa, al fine di verificare la possibilità di riutilizzare i terreni di scavo come materiale arido per la costituzione del corpo diga di valle, sono stati investigati i terreni in affioramento in destra idraulica della Fiumara di Ruoti mediante n°3 pozzetti esplorativi, rispettivamente indicati come P1, P2, P3.

I campioni ritenuti idonei al fine sono stati prelevati e riposti in appositi contenitori, per poi essere sottoposti a prove CBR e PROCTOR in laboratorio. Gli scavi sono stati eseguiti il giorno 13/11/2012. Le profondità di scavo e di campionamento sono riportate in Tabella 10. Per tutto quanto attiene ai risultati delle analisi e prove eseguite si rimanda all'allegato: **PD-R.20**, nel quale si riportano i relativi certificati.

Pozzetto esplorativo	Profondità di scavo (m)	Profondità di prelievo (m)
P1	5,00	1,50-1,80
		3,50-4,00
P2	4,00	-
P3	5,00	-

**Tabella 10 –Profondità di scavo e di prelievo di campioni nei pozzetti esplorativi**

#### 4.10 Prospezioni Sismiche MASW

Per la caratterizzazione sismo-stratigrafica del sottosuolo d'imposta della diga di monte e di quella di valle, e per poter accertare la categoria del "suolo di fondazione" (allora D.M. 14 gennaio 2008, oggi D.M. 17 gennaio 2018) ricavata dai valori della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo ( $V_{s30}/V_{s_{eq}}$ ), sono state condotte n°2 prospezioni di sismica attiva di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) su stendimenti della lunghezza totale di 48 ml ciascuno.

Questa tecnica (MASW) è definita attiva in quanto è necessaria una sorgente per energizzare il sistema (gli scoppi sono stati ottenuti mediante percussione con mazza su piastra metallica). Allo scopo è stato utilizzato un sismografo PASI 16 SG-12 24 canali.

I profili sismici sono stati condotti con allineamenti di 24 geofoni con frequenza 4.5 Hz, distanti reciprocamente 2.00 m.

Dei due modelli ricavati dall'elaborazione (modello "migliore", modello "medio") è stato preso in considerazione il modello "medio", calcolato secondo l'operazione statistica MPPD (Marginal Posterior Probability Density).

Per tutto quanto attiene ai risultati delle indagini eseguite si rimanda all'allegato **PD-R.20**, nel quale si riportano i relativi certificati e le modalità operative e strumentali.

#### 4.11 Tomografie Elettriche Verticali

Nell'area d'imposta della diga di valle, in destra idraulica della Fiumara di Ruoti, sono state condotte n° 6 T.E.V. (Tomografie Elettriche Verticali), utili per rilevare eventuali variazioni laterali e verticali della resistività elettrica e per ricavarne, di conseguenza, informazioni circa la natura litologica ed idrologica del terreno, di cui la conducibilità elettrica è funzione. Allo scopo è stato utilizzato un georesistivimetro PASI 16 G-N.

I profili tomografici sono stati condotti con allineamenti elettrodi con configurazione Wenner Schlumberger. Il numero di elettrodi utilizzati è variabile da 32 a 63; la distanza elettrodi è variabile da 2,00 m a 2,60 m).

Per tutto quanto attiene ai risultati delle indagini eseguite si rimanda all'allegato **PD-R.20**, nel quale si riportano i relativi certificati e le modalità operative e strumentali.

## 5. VALUTAZIONE DEL RISCHIO FRANE E ALLUVIONAMENTO

La stesura di questa relazione geologica è stata suffragata dalla consultazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, redatto dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale sede Basilicata e sede Campania. Infatti l'importante estensione del progetto, coinvolge le due AdB, ovvero le opere di impianto (dighe e condotta forzata e parte del cavidotto ed elettrodotta) ricadono nell'AdB sede Campania, mentre la restante parte dell'elettrodotta e la SSE sono comprese nell'AdB sede Basilicata. Questo rappresenta uno strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono programmate e pianificate le azioni e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idraulico ed idrogeologico nel territorio di competenza.

Dall'analisi della cartografia tematica **PD-EP.15.1** e **PD-EP.15.2** appositamente redatta per il presente lavoro si evince quanto segue:

- 1) **Diga di valle**: ricade per tutto l'areale di interesse in un'area a "rischio potenziale  $R_{utr5}$ ", regolamentato dall'**ARTICOLO 37 - Disciplina delle aree da approfondire  $R_{utr5}/P_{utr5}$**  delle *Norme di Attuazione del PAI dell'AdB sede Campania* che recita: "1. Nelle aree classificate  $R_{utr5}$  e  $P_{utr5}$ , è consentito qualunque intervento previsto dallo strumento urbanistico comunale o da altra pianificazione sovraordinata..."
- 2) **Diga di monte**: ricade per tutto l'areale di interesse in un'area a "rischio potenziale  $R_{utr5}$ ", regolamentato dall'**ARTICOLO 37** delle *Norme di Attuazione del PAI dell'AdB sede Campania*, mentre solo limitatamente per una minima porzione in un'area a "rischio potenziale  $R_{utr1}$ " regolamentato dall' **ARTICOLO 21 - Disciplina delle aree a rischio potenziale da frana moderato  $R_{utr1}$**  che recita: "1. Nelle aree a rischio potenziale da frana moderato  $R_{utr1}$ , oltre agli interventi e le attività consentite nelle aree a rischio potenziale di cui agli artt. 19 e 20, è consentito qualunque intervento previsto dallo strumento urbanistico comunale o da altra pianificazione sovraordinata".
- 3) **Condotta forzata**: si sviluppa per tutta la sua lunghezza in areali a "rischio potenziale  $R_{utr5}$ ", regolamentato dall'**ARTICOLO 37** *Norme di Attuazione del PAI dell'AdB sede Campania*, mentre solo limitatamente per una minima porzione in un'area a "rischio potenziale  $R_{utr1}$ " regolamentato dall' **ARTICOLO 21 - Disciplina delle aree a rischio potenziale da frana moderato  $R_{utr1}$**  che recita: "1. Nelle aree a rischio potenziale da frana moderato  $R_{utr1}$ , oltre agli interventi e le attività consentite nelle aree a rischio potenziale

di cui agli artt. 19 e 20, è consentito qualunque intervento previsto dallo strumento urbanistico comunale o da altra pianificazione sovraordinata".

4) **CAVIDOTTO**: si sviluppa per tutta la sua lunghezza in areali a "rischio potenziale  $R_{utr5}$ ", regolamentato dall'**ARTICOLO 37 Norme di Attuazione del PAI dell'AdB sede Campania**, mentre solo limitatamente per una minima porzione in un'area a "rischio potenziale  $R_{utr2}$ " regolamentato dall'**ARTICOLO 20 ARTICOLO 20 - Disciplina delle aree a rischio potenziale da frana elevato  $R_{utr3}$  e delle aree a rischio potenziale da frana medio  $R_{utr2}$**  che recita: "1. Nelle aree a rischio potenziale da frana elevato  $R_{utr3}$ , e delle aree a rischio potenziale medio da frana  $R_{utr2}$  oltre agli interventi e le attività consentite nelle aree a rischio potenziale  $R_{utr4}$  di cui all'art. 19, in relazione al patrimonio edilizio esistente, è consentito qualunque intervento previsto dallo strumento urbanistico comunale o altra pianificazione sovraordinata".

5) **ELETTRODOTTO**: dal traliccio n°55 al n°45 si sviluppa all'interno del territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale sede Campania, mentre dal traliccio n°44 fino al n°1 in quella della Basilicata. Dunque tutti i tralicci compresi tra il n°55 ed il n°45, ricadono all'interno di areali a "rischio potenziale  $R_{utr5}$ ", regolamentato dall'**ARTICOLO 37 - Disciplina delle aree da approfondire  $R_{utr5}/P_{utr5}$**  delle Norme di Attuazione del PAI dell'AdB sede Campania che recita: "1. Nelle aree classificate  $R_{utr5}$  e  $P_{utr5}$ , è consentito qualunque intervento previsto dallo strumento urbanistico comunale o da altra pianificazione sovraordinata...".

I tralicci n°44 e 43 lambiscono, pur essendo ubicati al difuori, degli Areali a rischio idrogeologico elevato ed a pericolosità elevata ( $R3$ ), mentre il traliccio n°36 ricade proprio all'interno. I tralicci n°9 e 15 ricadono in un'Area a rischio idrogeologico moderato ed a pericolosità moderata ( $R1$ ). Il traliccio n° 4 è ubicato un un' un'Area a rischio idrogeologico medio ed a pericolosità media ( $R2$ ), mentre il n°3 ricade in un'area ASV (**Area assoggettata a verifica idrogeologica**). Trattandosi di un'opera di interesse pubblico, secondo le Norme di Attuazione del PAI del AdB Basilicata, è normata dall'Art. 22 **Realizzazione di opere di interesse pubblico interessanti le aree di versante** che recita: "1. E' consentita, previo parere dell'AdB, la realizzazione di opere di interesse pubblico interessanti le aree di versante di cui agli articoli 16, 17, 18, 20 e 21, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non concorrano ad incrementare il carico inse-



*diativo, non aggravino le condizioni di sicurezza e non costituiscano elemento pregiudizievole all'attenuazione della pericolosità esistente.*

*2. La realizzazione di infrastrutture o impianti lineari o a rete quali ad esempio quelli idrici, fognari, del gas, elettrici, tecnologici, nel caso in cui sia prevista all'interno dell'area di sedime di strade pubbliche o private, è consentita previa trasmissione all'Autorità di Bacino e agli Uffici Regionali chiamati a rilasciare pareri/autorizzazioni di competenza, di uno studio di compatibilità idrogeologica, asseverato dal progettista, che attesti che 'intervento sia nella fase di cantiere sia nella fase di esercizio non determina in alcun modo incrementi delle condizioni di pericolosità idrogeologica né può determinare alcun pregiudizio alla realizzazione di interventi di rimozione e/o riduzione delle condizioni di pericolosità preesistenti".*

**Alla luce di quanto fin qui relazionato risulta chiaro che quelle aree morfologicamente critiche individuate dalle AdB sede Basilicata e sede Campania, interessate dalle opere in progetto, non sono assolutamente da intendersi aprioristicamente limitanti circa la destinazione d'uso, in quanto è sufficiente ottemperare a quanto indicato nelle Norme di Attuazione del PAI.**

## 6. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE LOCALE

Le aree in esame ricadono nella zona più interna della catena appenninica, ovvero in zona assiale. La serie affiorante è caratterizzata da successioni plioceniche di transizione e mare sottile che ricoprono in discordanza le successioni meso-cenozoiche a seguito di una fase tetto-genetica deformativa tardo-miocenica della catena appenninica.

Le successioni plioceniche, attribuite regionalmente all'Unità di Ariano, sono caratterizzate da sedimenti prevalentemente sabbioso-conglomeratici; si rinvencono per lo più sub-orizzontali o debolmente inclinate. Nelle zone più esterne ed orientali della catena appenninica risultano ripiegate e coinvolte nella tetto-genesi tardiva (Pliocene medio-superiore) dell'Appennino meridionale, mentre nella zona assiale della catena si presentano poco o per niente deformate; è da ritenere, pertanto, che queste ultime si siano deposte in bacini ubicati in aree più interne della catena che non sono stati più coinvolti dalla tetto-genesi ma, piuttosto, che sono stati condizionati da strutture controllate da faglie trascorrenti, di significato regionale, e da strutture trasversali alla catena. Infatti, i sedimenti di questi bacini interni non vengono più colpiti direttamente dalle fasi tettoniche successive, ma probabilmente vengono traslati in maniera solidale con il loro basamento sedimentario lungo piani di scorrimento profondo.

Per quanto caratterizzati da una certa uniformità verticale, i terreni del bacino pliocenico intrappenninico presentano significative variazioni laterali: l'unità strutturale fondamentale è costituita da successioni conglomeratico-sabbioso-argillose, distinte in sub-unità, di ambiente alluvionale, costiero e marino, delimitate alla base da un'evidente discordanza angolare sul substrato pre-pliocenico. Su questi ultimi si sviluppa in parte il cavidotto, l'elettrodotto e la SSE.

In tutte le aree investigate per lo scopo del progetto in oggetto, che contemplano il settore d'imposta della diga di monte, della diga di valle e della condotta, si rilevano la litofacies sabbiosa e la litofacies conglomeratica con rapporti parzialmente eteropici. Per quanto attiene l'areale lungo cui si svilupperà la condotta, si specifica che la presenza di una estesa copertura arbustiva non sempre permette di rilevare direttamente ed in maniera areale gli affioramenti; tuttavia, è da ritenere che i litotipi del substrato, lì dove non direttamente visibili, risultino sub-affioranti sotto una sottile coltre eluviale.

Le litofacies plioceniche rilevate hanno le seguenti caratteristiche: le **Sabbie** (*Pliocene inferiore-medio*) riportata in seguito litotecnica-mente anche come **Litofacies Sabbiosa**, è spesso circa 500 m ed è composta da sabbie a grana media e fine e sabbie siltose, di

colore grigio-azzurro o giallastro, ben stratificate, a luoghi cementate, con sporadici livelli lenticolari di microconglomerati ed intercalazioni di siltiti argillose e sabbiose e calcareniti bioclastiche; ambiente da circolitorale a infralitorale.



**Figura 05: Litofacies Sabbiosa**

I **Conglomerati poligenici** (*Pliocene medio- sup.*) riportati da un punto di vista litotecnico anche come **Litofacies Conglomeratica**, hanno uno spessore in media di 80-100 m, presenta conglomerati poligenici (prevalentemente di natura calcarea ed arenacea) a ciottoli arrotondati, caratterizzati da una matrice sabbioso-limosa scarsa, di colore variabile dal grigio al rossastro, generalmente ben cementati, mal stratificati o in grossi banchi, con intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie; ambiente litorale e fluvio-deltizio.



**Figura 06: Litofacies Conglomeratica**

Il tetto dei depositi pliocenici è spesso costituito da **Detrito di versante** rappresentato da coltri recenti/attuali eluviali e colluviali di spessore sostanzialmente modesto ma variabile e compreso entro 5-7 m. Queste coltri rappresentano il risultato del disfacimento fisico e chimico del substrato e sono costituite da ciottoli e frammenti detritici di dimen-

sioni varie in matrice sabbioso-limosa di colore marrone-rossastro, profondamente alterate dall'azione chimica degli agenti atmosferici, dall'azione biologica della vegetazione e, non in ultimo dalla morfoevoluzione dei versanti.



**Figura 07: Coltri eluviali e colluviali a tetto della litofacies conglomeratica**

Lungo le sponde della Fiumara di Ruoti risultano ben esposti i **Depositi Alluvionali recenti ed attuali** costituiti da successioni eteropiche di limi ed argille, originatesi per fenomeni di decantazione nella allora piana alluvionale, conseguentemente ad episodi di alluvionamento, e di depositi ghiaiosi in matrice argilloso-limosa e/o sabbiosa, con ciottoli calcarei calcareo-marnosi e silicei provenienti dall'erosione delle formazioni affioranti in gran parte dell'area di alimentazione del bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti. I materiali di che trattasi, molto spesso si presentano sotto forme lentiformi con la prevalenza o della frazione limo-argillosa o di quella ghiaiosa. Anche granulometricamente la frazione prevalente è alquanto variabile da punto a punto con la prevalenza o subordinazione della ghiaia, del limo, della sabbia e dell'argilla.



**Figura 08: Embriciatura dei ciottoli verso la rete idrografica**



**Figura 09: Conglomerati cementati lungo le sponde della Fiumara di Ruoti**



**Figura 10: Intercalazioni di lenti limoso-sabbiose rossastre**

Sono presenti ristrette zone di espansione fluviale in corrispondenza della coda della futura diga di valle, dove gli apporti terrigeni, costituiti da sedimenti prevalentemente ghiaiosi, occupano l'area golenale del corso d'acqua.



**Figura 11: Depositi Alluvionali attuali prevalentemente ghiaiosi**

In destra idraulica nel settore di valle si rileva un terrazzo alluvionale recente che, presumibilmente, ha coperto un'antica zona di espansione fluviale.

La distribuzione areale dei litotipi descritti è riportata nell'allegato **PD-EP.11.1** e **PD-EP.11.2**.

Queste litofacies poggiano con un contatto di discordanza angolare sulle formazioni delle unità tettoniche pre-plioceniche, riferibili all'*Unità lagonegrese di Groppa d'Anzi* qui costituita dalla *Successione Sicilide* (Cretacico superiore-Miocene inferiore).

Come accennato sui terreni pre-pliocenici si si sviluppa in parte il cavidotto, l'elettrodotta e sono sedime di fondazione della SSE.

In definitiva le Unità Formazionali interessate dal progetto (di cui nel successivo paragrafo si descriverà opera per opera l'interazione con le varie formazioni geologiche) sono di seguito riassunte a partire da quelle più recenti:

#### 1) **Depositi Alluvioni recenti ed attuali**

Costituiti da successioni eteropiche di limi ed argille, originatesi per fenomeni di decantazione nella allora piana alluvionale, conseguentemente ad episodi di alluvionamento, e di depositi ghiaiosi in matrice argilloso-limosa e/o sabbiosa, con ciottoli calcarei calcareo-marnosi e silicei provenienti dall'erosione delle formazioni affioranti in gran parte dell'area di alimentazione del bacino imbrifero della Fiumara di Ruoti. I materiali di che trattasi, molto spesso si presentano sotto forme lentiformi con la prevalenza o della frazione limo-argillosa o di quella ghiaiosa. Anche granulometricamente la frazione prevalente è alquanto variabile da punto a punto con la prevalenza o subordinazione della ghiaia, del limo, della sabbia e dell'argilla. Lo spessore è variabile da luogo a luogo ma comunque inferiore ai 10 m. (*Recente - attuale*)

#### 2) **Detrito di versante**

Sono costituiti da materiale argilloso-limoso brunastro-marroncino, ricco di frustoli vegetali nella porzione superficiale, in assetto caotico, destrutturato, inglobanti clasti di natura prevalentemente calcarea di dimensioni variabili dal centimetro al decimetro, messo in posto in seguito a fenomeni di erosione da parte della corrivazione delle acque di dilavamento superficiale e di quelle incanalate, nonché da fenomeni franosi. Circa il loro spessore è di circa 5 - 6 m. (*Olocene*)

#### 3) **Conglomerati poligenici**

Hanno uno spessore in media di 80-100 m, e affiorano come conglomerati poligenici (prevalentemente di natura calcarea ed arenacea) a ciottoli arrotondati, caratterizzati da una matrice sabbioso-limosa scarsa, di colore varabile dal grigio al rossastro, generalmente ben cementati, mal stratificati o in grossi banchi, con intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie; ambiente litorale e fluvio-deltizio. (*Pliocene medio- sup.*)

#### 4) **Sabbie**

Questa unità formazionale è spessa circa 500 m ed è composta da sabbie a grana media e fine e sabbie siltose, di colore grigio-azzurro o giallastro, ben stratificate, a luo-

ghi cementate, con sporadici livelli lenticolari di microconglomerati ed intercalazioni di siltiti argillose e sabbiose e calcareniti bioclastiche; ambiente da circalitorale a infralitorale (*Pliocene inferiore-medio*).

#### 5) **Formazione di Paoladoce**

Costituiti da alternanze di strati e livelli calcareo-clastici e arenacei a grana fine, ben cementate con argille siltose e marnose grigie, calcilutiti marnose e marne biancastre in strati da centimetrici a decimetrici. A varie altezze sono presenti livelli caotici di arenarie vulcanoclastiche a grana fine e media di colore bruno giallastro in strati sottili. Spessore di 500 m circa (*Oligocene sup. - Miocene inf.*)

#### 6) **Formazione di Corleto Peticara**

Rappresentata da un'alternanza in strati e banchi di marne calcaree, calcari marnosi, calcilutiti-grigio-giallognole, calcareniti biancastre a grana fine marne ed argilliti marnoso-siltose bruno grigiastre con livelli siltoso-arenacei. Intercalati si rinvengono livelli di argille scagliose policrome di colore grigio-verde. Spessore di 250 m circa (*Eocene - Miocene inf.*)

#### 7) **Flysch Rosso - membro calcareo-marnoso**

Complesso formato da calcareniti biancastre a grana media e grossa in strati e grossi banchi intercalati a varie altezze da corpi lenticolari di calciruditi, livelli centimetrici di calcilutiti bianche e di marne varicolori, generalmente rossastre, argille marnose fogliettate di colorazione grigiastra, verdastra o rossastra. Si presenta intensamente fratturato e le fratture sono quasi sempre riempite dalla frazione pelitica. Questo complesso è spesso intercalato nella serie marnoso-argillosa o ad essa sovrapposto ed è rinvenibile in numerosi piccoli affioramenti. Dove è presente la componente litoide, si delinea un marcato stato di fratturazione. (*Cretacico inf. - Miocene inf.*)

#### 8) **Flysch Rosso - membro argilloso-marnoso**

Costituite da fitta alternanza di marne grigiastre, argilliti grigie e rossastre fogliettate, a cui s'intercalano strati di calcilutiti grigiastre e calcari marnosi rosati. La porzione marnoso-argillosa del Flysch Rosso mostra alternanze di argille, argille marnose, marne argillose finemente scagliettate prevalentemente rossastre, con screziature biancastre e grigiastre, marne biancastre e rosate in strati centimetrici, con intercalazioni di strati di calcareniti e calcilutiti biancastri. Spesso prevalgono i livelli marnosi su quelli argillosi. Alto è il



grado di tettonizzazione. In linea generale, trattasi di terreni compatti, consistenti, poco plastici. Spessore tra 100 e 150 m. (*Cretacico inf. - Miocene inf.*)

### 9) Argille Varicolori

Costituite da argille e argille marnose marroncine con screziature grigiastre, parzialmente destrutturate ed alterate, inglobanti clasti centimetrici di calcari marnosi grigiastri. I livelli prevalentemente argillosi presentano alta plasticità, che diminuisce dove prevale la componente marnosa. In linea generale, trattasi di terreni dotati di plasticità e compressibilità medio-bassa e media consistenza. Gli strati presentano un'intensa tettonizzazione esplicitata in una fitta rete di fratture. Queste ultime a luoghi sono beanti, a luoghi, invece, sono riempite dalla parte pelitica o da materiale di alterazione. Le marne hanno una tonalità biancastra, cinerea e talora rossastra, sono disposte in banchi anche di qualche metro di spessore e hanno una frequente struttura laminata. Le argille, invece, presentano una tipica struttura scagliettata, fra le scaglie spesso è presente una patina biancastra di dichite. (*Cretacico inf. - Miocene inf.*)

La distribuzione areale dei litotipi descritti è riportata nell'allegato **PD-EP.11.1** e **PD-EP.11.2**.

## 6.1 Inquadramento litologico delle opere in progetto

Dal rilevamento geologico di campagna e dalla interpretazione dei log stratigrafici derivati dalle indagini dirette effettuate in situ (sondaggi geognostici), è stato possibile procedere ad una ricostruzione geolitologico-stratigrafica schematica puntuale dei siti investigati, differenziando in litofacies i litotipi riconosciuti.

Di seguito si riporterà una descrizione delle unità litologiche che rappresentano il sedime di appoggio delle varie opere previste in progetto, ovvero della Diga di monte, della Diga di Valle, della Condotta forzata, del Cavidotto e dell'Elettrodotta:

- **Diga di monte**

I terreni in affioramento in tutto il settore di versante d'interesse sono riferibili essenzialmente alla **Litofacies Conglomeratica** ed alla **Litofacies Sabbiosa**, rispettivamente afferenti alla Formazione dei Conglomerati poligenici e a quella delle Sabbie. Infatti, nel sondaggio S5 realizzato subito a valle del Lago della Moretta, in un'area di impluvio, dopo uno spessore di circa m 2.00 di terreno vegetale humificato, sono stati carotati fino

alla profondità di m 13.60 terreni relativi alla **Litofacies Sabbiosa alterata**, qui costituita da sabbia micacea limosa, debolmente argillosa, molto addensata, poco compressibile, asciutta di colore variabile dal marrone giallognolo all'avana verdastro. Si ha un aumento della plasticità in corrispondenza dei livelli prevalentemente argillosi. Solo a luoghi si intercalano livelletti decimetrici di limo sabbioso-ghiaioso, debolmente argilloso, con elementi litici alterati, di colore nerastro, fini e medi, a spigoli vivi, poligenici. Segue la parte non alterata della facies fino alla profondità di m 27.40 con sabbia limosa, di colore grigio, localmente laminata, con rari elementi litici fini e medi, subangolari e a spigoli vivi, poligenici. Si presenta molto addensata ed asciutta. In continuità stratigrafica segue la **Litofacies Conglomeratica** fino a fondo foro (40.00 m) con conglomerati eterometrici e poligenici (prevalentemente calcarei) in matrice sabbiosa di colore grigio, grigio avana, localmente rossastro, cementati, con grado di cementazione variabile, ma sempre prevalentemente alto. Subordinatamente si intercalano sia livelletti di sabbia debolmente limosa, di colore grigio, con incluse lenti millimetriche di materiale cristallino nero, sia livelli ghiaiosi e conglomeratici medi. Questi livelletti sabbiosi si presentano molto addensati (semilitoidi), non plastici, asciutti ed incompressibili. Solo nei livelletti in cui è maggiore la percentuale di argilla (sabbia argillosa) si ha un aumento della plasticità del materiale, anche se la sabbia, comunque, si presenta sempre molto addensata.

Nel sondaggio S6, invece, dopo circa un metro di materiale humificato, la **Litofacies Sabbiosa** è stata carotata fino alla profondità di m. 4.00. Qui è rappresentata da sabbia limosa, debolmente argillosa, con elementi litici eterometrici subangolari, poligenici, talora concentrati in livelli centimetrici nei quali sono alterati e di colore nerastro. Il tutto si presenta mediamente addensato, compressibile, umido e dotato di plasticità dove aumenta la frazione argillosa. La colorazione è marrone-giallognolo. Si ha un aumento della plasticità in corrispondenza dei livelli prevalentemente argillosi. Da m 4.00 fino a 37.00 m (fondo foro) sono stati terebrati litotipi afferenti alla **Litofacies Conglomeratica**, rappresentati da conglomerati eterometrici e poligenici (prevalentemente arenacei) in matrice sabbiosa-limosa di colore avana grigiastro, cementati, con grado di cementazione variabile, ma sempre prevalentemente alto. Da circa m 15.00 aumenta la percentuale di matrice, quindi, attraverso una transizione graduale, si passa ad una sabbia limosa, di colore marrone grigiastro, con venature giallo-rossastre, ed a microconglomerati. Il tutto si presenta molto addensato (semilitoide), asciutto, incompressibile, non plastico. Verso fondo foro si intercala uno strato di arenaria di colore giallognolo che localmente diventa

sabbia molto addensata (semilitoide), alternata a livelli di elementi litici eterometrici, poligenici (prevalentemente calcarei, calcareo-marnosi) per lo più a spigoli vivi, in matrice sabbioso-limosa (anche dilavata per effetto della lavorazione), di colore marrone giallognolo ed a luoghi rossastro.

I sondaggi terebrati nell'area sono ubicati come in figura 12.



**Figura 12: Ubicazione dei sondaggi (diga di monte)**

- **Diga di valle**

L'area di sedime della diga di valle è costituita, partendo dall'alto del versante di sponda destro e spostandosi verso quello sinistro, dalla **Litofacies Sabbiosa** che, nell'area di fondovalle, passa gradualmente, con eteropia di facies, alla **Litofacies Conglomeratica**, che affiora su tutto il versante di sponda sinistro. In tutto il settore di fondovalle sono rilevabili depositi alluvionali recenti ed attuali.

In dettaglio, dalle stratigrafie dei quattro sondaggi terebrati nell'area secondo l'ubicazione riportata in figura 13, è stato possibile distinguere una **Litofacies Sabbiosa alterata**, costituita da sabbia limosa, a tratti debolmente argillosa in assetto caotico e destrutturato, contenente abbondanti elementi litici eterometrici, da subarrotondati a spigoli vivi, poligenici (prevalentemente arenacei e calcarei). Il colore è avana ocraceo. Il tutto si presenta rimaneggiato, poco plastico ed asciutto. A luoghi si rileva un'alternanza centimetrica (transizione graduale) di sabbie limose con argilla di colore grigio avana, sottilmente laminate, con venature millimetriche carbonatiche biancastre, che si presentano da addensate a molto addensate, nonché asciutte; argille limose, di colore grigio avana, con sabbia di colore ocraceo, talora debolmente marnose, che evidenziano una bassa

plasticità e risultano molto consistenti ed asciutte. A copertura del tutto è rilevabile terreno agrario humificato brunastro avente uno spessore medio di circa 0.80 m. Circa gli spessori dei terreni appena descritti, nel sondaggio S1 sono stati carotati da m 0.80 a m 9.30 ed in S3 da m 0.80 a m 3.00.

Stratigraficamente segue la **Litofacies Sabbiosa** costituita da argilla limoso-sabbiosa, di colore marrone grigiastro, a tratti marnosa. La frazione sabbiosa, presente in chiazze, è di colore variabile dall'ocraceo al marrone rossastro. Non plastica, molto consistente, asciutta. Subordinatamente si presenta plastica e poco consistente in corrispondenza dei livelli prevalentemente argillosi. In alternanza sono rilevabili a varie profondità, con spessori variabili da qualche decimetro a circa m 2.00, sabbie limose debolmente argillose, di colore screziato, ruggine frammisto a grigio verde, sottilmente laminate, con venature millimetriche carbonatiche biancastre. Generalmente si presentano molto addensate ed asciutte. Solo a luoghi si intercalano abbondanti elementi litici eterometrici da subarrotondati a subangolari poligenici (prevalentemente arenacei). Subordinatamente si intercalano livelli di qualche decimetro di conglomerati eterometrici e poligenici (prevalentemente calcarei) in matrice sabbioso-limosa di colore rossastro. Questi terreni sono stati carotati in S1 dalla profondità di m 9.30 a m 22.00, in S3 da m 3.00 a m 10.60, in S2 è stata carotata in eteropia di facies con la **Litofacies Conglomeratica** dalla profondità di m 8.50 a m 17.00

La **Litofacies Conglomeratica** invece è stata intercettata in S1 dalla profondità di 20.00 fino a fondo foro (41.00 m), in S2 da m 17.00 a fondo foro (40.00 m), in S3 da 10.60 m a fondo foro (40.00 m) ed in S4 da m 3.00 a fondo foro (40.00 m). Si tratta di conglomerati eterometrici e poligenici (prevalentemente calcarei) cementati in scarsa matrice limoso-argillosa o limoso-sabbiosa di colore variabile dal rossastro ruggine al grigiastro. Il grado di cementazione è variabile ma sempre prevalentemente alto e crescente verso il bottom. A varie altezze si intercalano livelli di sabbia-limosa, debolmente argillosa, di colore grigio con elementi litici conglomeratici grossolani, poligenici, e sabbia argillosa, di colore grigio, molto addensata (semilitoide), incompressibile ed asciutta. Anche se a luoghi si intercalano livelli più scadenti, complessivamente è possibile attribuire a tale litofacies buoni caratteri fisico-meccanici.

Come anticipato, strettamente all'area di fondovalle i terreni di substrato appena descritti sono ricoperti dai **Depositi Alluvionali attuali e recenti** della Fiumara di Ruoti per uno spessore di 8.50 m, come riportato in S2. Questi materiali sono costituiti da sabbia

limosa, a luoghi debolmente argillosa, di colore avana scuro con abbondanti elementi litici eterometrici da subarrotondati a subangolari, poligenici (prevalentemente arenacei e calcarei,) e venature millimetriche carbonatiche biancastre. Nei livelli più superficiali si presenta poco addensata ed asciutta, mentre con la profondità aumenta sia il grado di addensamento che l'umidità (fino a satura).



Figura 13: Ubicazione dei sondaggi (diga di valle)

- **Condotta forzata**

Partendo dalla diga di valle, attraversa per qualche decina di metri la **Litofacies Conglomeratica** (rif. **Conglomerati poligenici**) per poi svilupparsi per circa 1.40 km nella **Litofacies Sabbiosa** (rif. **Sabbie**). Per la restante parte, fino ad arrivare alla diga di monte si attesta nuovamente nella **Litofacies Conglomeratica**.

- **Cavidotto**

In considerazione che per la realizzazione del cavidotto sarà necessario uno scavo limitato nelle dimensioni e nei volumi di terreno rimossi, ovvero con profondità che non raggiunga i 2.00 m, i terreni attraversati saranno essenzialmente del tipo vegetale o di alterazione/detritico, oppure nei tratti che si sviluppa sulla viabilità esistente sarà posato poco al disotto della fondazione stradale. Comunque, partendo dalla centrale idroelettrica (diga di valle) per pochi metri si svilupperà nella **Litofacies Conglomeratica** per poi svilupparsi fino al Vallone di Scorza nella **Litofacies Sabbiosa**. Da qui fino alla Fiumara di Ruoti si sviluppa in un **Detrito di versante**, dove l'attraversa nei suoi **Depositi Alluvionali recenti ed attuali**, per poi risalire il versante fino a a quota 723 nel **Complesso del-**

**le Argille Varicolori.** Da qui fino ad arrivare al Vallone Spinosa si sviluppa nuovamente nella **Litofacies Sabbiosa** che lo attraversa fino ad arrivare in corrispondenza dell'inizio dell'elettrodotto ricadente nel **Detrito di versante** che, nella fattispecie, è rappresentato essenzialmente da detrito di un grosso movimento franoso.

- **Elettrodotto**

I tralicci n°55, 54, 53 e 52 ricadono nel **Detrito di versante** costituito da materiale detritico di frana. Il traliccio n°51 ricade invece nella Formazione dei **Conglomerati poligenici**, dal n°50 al n°45 all'interno della Formazione del **Flysch Rosso**. Dal n° 44 al n° 42 sono posizionati all'interno delle **Argille Varicolori**, mentre il n° 41 e 40 nella Formazione di **Paola Doce**. Dal n° 39 al n° 34 sono ubicati all'interno delle **Argille Varicolori**. Il n° 33 ricade all'interno dei **Depositi Alluvionali recenti ed attuali** del Torrente Tiera. Dal n° 32 al n°26 risalendo il versante i sostegni ricadono all'interno della **Formazione di Corleto Perticara**, per poi ripassare alle **Argille Varicolori** dal n° 25 al n°20. Dal n° 19 al n°13 ricadono all'interno della **Formazione di Paola Doce**, il n° 12 e 11 nel **membro argilloso-marnoso del Flysch Rosso**, dal n° 10 fino alla SSE i terreni di sedime sono rappresentati dal **membro calcareo-marnoso del Flysch Rosso**.

## 7. MODELLO GEOTECNICO

In occasione del progetto di fattibilità della stessa centrale a pompaggio, al fine di avere delle prime indicazioni sui caratteri litotecnici del sedime di fondazione della diga di valle e di quella di monte, furono eseguite delle analisi e prove geotecniche di laboratorio su un numero limitato di campioni indisturbati prelevati durante i sondaggi geognostici, oltre a prove geotecniche in situ come riportato nella seguente tabella:

Sigla	Prof. metri	Apertura e descrizione	Caratt. fisiche generali	Analisi granul.	Limiti di Atterberg	Taglio diretto CD	Permeab Edometrica	Comp. Triassiale C.I.D.	Proctor su 5 punti	CBR
S1 CI 1	8.00-8.40	•	•	•	•		•	•		
S1 CD 1	8.80-9.00	•	•	•	•		•			
S1 CI 2	11.00-11.40	•	•	•	•		•	•		
S1 CI 3	15.40-15.90	•	•	•	•	•	•			
C 1		•	•	•	•				•	•
C 2		•	•	•	•				•	•
S3 CI 1	7.00-7.50	•	•	•	•		•	•		
S5 CI 1	5.60-6.00	•	•	•	•	•	•			
S5 CI 2	14.00-14.60	•	•	•	•	•	•			

**Tabella 9 – Tabella riassuntiva delle analisi e prove geotecniche effettuate**

Ritenendo opportuno fornire delle prime indicazioni sulle caratteristiche geotecniche dei terreni in affioramento, in questo capitolo ne saranno riportati i principali parametri fisico-meccanici che scaturiscono da considerazioni macroscopiche effettuate sugli affioramenti in campagna e dalla letteratura tecnica specializzata. Tali parametri devono essere impiegati con estrema cautela in qualsiasi calcolo geotecnico, anche se preliminare, in quanto non è possibile prescindere dalla stratimetria delle singole litofacies descritte nel precedente capitolo, dal loro rapporto stratigrafico, dal loro comportamento sismoelastico. Pertanto, le suddette indicazioni devono ritenersi valide nei limiti che questa prima fase cognitiva pone, ovvero acquisizione di dati e notizie preliminari. *Non in ultimo i terreni di sedime delle opere previste in progetto, ovvero che costituiscono il substrato/substrato alterato, i materiali detritici ed alluvionali, hanno una struttura complessa per l'eterogeneità delle litologie da cui è costituito e per il suo grado di alterazione, evidente nelle porzioni superficiali. Questa caratteristica ne condiziona il comportamento meccanico, governato dalla geometria delle litologie, dal grado di diagenesi, dalla frequenza delle discontinuità come, piani di strato, joint o fratture. Pertanto, i dati che si potrebbero estrapolare da analisi di laboratorio sulla frazione fine di tali terreni consentirebbero l'ottenimento di risultati solo parziali, essendo indicativi delle caratteristiche di resistenza meccanica della singola componente sabbiosa o limosa, non già del comportamento dell'uni-*

*tà litologica nel suo insieme. Alla luce di ciò, quindi, circa la caratterizzazione fisico-meccanica dei litotipi presenti nel sito di progetto, ci si riferirà alle caratteristiche intrinseche dei terreni presenti ed alla letteratura tecnica specializzata.*

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni di sedime, dunque, in questa fase del progetto, è risultato opportuno fare riferimento e confronti con parametri di resistenza “operativi”, stimati sulla base di indicazioni di letteratura e tarate sui risultati di “*back analysis*” (Skempton, 1977; Tavenas & Leroueil, 1981). Quindi, una volta analizzati tutti i parametri geotecnici a disposizione, tenendo conto che i parametri fisico-meccanici ricavati in laboratorio geotecnico si riferiscono a singoli campioni indisturbati, che i terreni di sedime presentano eterogeneità ed anisotropia granulometrica sia verticale che laterale, operativamente nelle verifiche geotecniche si è preferito attribuire i valori numerici non alla scala di singolo campione indisturbato (dato puntuale), ma piuttosto alla scala di “affioramento” e, cioè, tenendo conto della litologia complessiva, della giacitura degli strati, dell'idrogeologia, delle pendenze, del contesto morfoevolutivo e tettonico, e della eventuale presenza di discontinuità primarie (giunti di stratificazione) e secondarie (giunti e fessurazioni a geometria discontinua lungo i quali la coesione è praticamente nulla, sia che essi siano lisci, sia che siano scabri). In tal modo, si è pervenuti alla definizione di un modello geotecnico per il quale sono state distinte delle unità geotecniche in relazione alle intrinseche caratteristiche litologiche, di resistenza al taglio e di deformabilità.

Nei prossimi paragrafi si esporranno i risultati delle prime indagini geotecniche eseguite per il progetto di fattibilità, per poi definire litotecnica tutte le Unità Litologiche descritte nel precedente capitolo.

### **7.1 Indagini in situ: Prove Penetrometriche Dinamiche S.P.T.**

Un'informazione sul grado di consistenza/addensamento dei terreni in esame si evince dai risultati ottenuti mediante le prove penetrometriche dinamiche S.P.T. eseguite nei fori di sondaggio alle profondità riportate nella tabella 11.





**Figura 14: Fase di esecuzione della prova penetrometrica dinamica S.P.T.**

Ubicazione	Sondaggio	Profondità di esecuzione (m)	Colpi (N1/N2/N3)	N <sub>SPT</sub>
In vaso di valle	<b>S1</b>	8,50	R/8 cm	R
	<b>S2</b>	14,50	R/4 cm	R
	<b>S3</b>	7,50	R/11 cm	R
	<b>S4</b>	-		
Diga di monte	<b>S5</b>	6,00	3-6-9	15
		14,40-	40-R/11 cm	R
	<b>S6</b>	-		

**Tabella 11 – Risultati delle prove penetrometriche dinamiche S.P.T.**

I valori N<sub>SPT</sub> ottenuti sono relativi a terreni complessivamente dotati di elevata consistenza e buone caratteristiche geotecniche. Inoltre, essi indicano, alle profondità testate, una buona corrispondenza con lo stato di consistenza riportato nelle stratigrafie di dettaglio. Infatti, è possibile affermare che, nel campo delle sabbie, sono definibili come terreni “molto densi” con una *Densità relativa*  $D_r > 0.8$  ed un *Angolo di attrito di picco*  $\phi'$  di oltre 45°; nel campo delle argille, invece, si tratta di litotipi da molto duri a durissimi con Indice

di *Consistenza*  $I_c > 1.00$  e *Coesione non drenata*  $C_u > 20.00 \text{ t/m}^2$ . Solo nel sondaggio S5 alla profondità di m 6.00-6.45 la prova, eseguita in corrispondenza di un livello limoso-sabbioso alterato, ha fornito valori bassi in termini di colpi e, conseguenzialmente di caratteri fisico-meccanici.

Tuttavia, gli elevati valori degli angoli di resistenza al taglio che possono derivarsi mediante differenti approcci e attraverso l'eventuale utilizzo di correlazioni empiriche devono essere ridotti per tener conto del margine di errore, sempre presente quando si convertono dei dati sperimentali.

## 7.2 Analisi e prove di laboratorio

Dalle evidenze emerse dalle analisi e prove di laboratorio eseguite sui campioni prelevati, risulta chiara nel complesso una discreta qualità meccanica delle terre, con caratteristiche collegabili sia all'azione della componente coesiva che granulare.

## 7.3 Parametrizzazione geotecnica

Come anticipato in premessa, l'acquisizione dei parametri fisico-meccanici è stata ottenuta dall'analisi di n° 7 campioni di terreno prelevati durante i sondaggi eseguiti nelle due aree di sedime delle dighe, di cui n° 5 su quella di valle e n° 2 su quella di monte. Inoltre, al fine di dare delle prime indicazioni sulla qualità geotecnica dei materiali per la costituzione del rilevato del corpo diga di valle, nei pozzetti esplorativi sono stati prelevati n° 2 campioni di materiale inerte nei depositi alluvionali recenti che qui assumono una disposizione a terrazzo. Su questi ultimi sono state eseguite prove del tipo CBR e Proctor, oltre alla determinazione delle proprietà fisico-volumetriche. I campioni sono stati analizzati dal Laboratorio Geotecnico "Ambiente e Territorio S.r.l. di Manocalzati (AV)". Ad integrazione delle suddette prove, si farà anche riferimento a tutti i dati ed alle esperienze geotecniche maturate dallo scrivente sulla stessa tipologia di terreno e nelle aree in questione.

Le analisi geotecniche di laboratorio sono state finalizzate alla determinazione della classificazione granulometrica, delle proprietà indice, delle proprietà fisico-volumetriche e dei parametri di resistenza meccanica:

### a. Analisi granulometriche

Tali analisi, eseguite per setacciatura a secco e sedimentazione secondo le norme ASTM, hanno confermato l'eterogeneità granulometrica dei terreni in esame. Infatti, i campioni analizzati sono stati classificati come:

- S1/CI1 - Limo con argilla debolmente sabbiosa;
- S1/CD1 - Limo con sabbia argilloso;
- S1/CI2 - Limo con argilla, sabbioso;
- S1/CI3 - Sabbia con limo argillosa;
- S3/CI1 - Limo argilloso debolmente sabbioso;
- S5/CI1 - Sabbia con limo debolmente ghiaiosa;
- S5/CI2 - Limo sabbioso debolmente argilloso;
- C1 - Ghiaia sabbiosa debolmente limosa;
- C2 - Ghiaia con sabbia debolmente limosa.

Nel complesso l'aliquota di limo varia dal 16% al 69%, l'argilla varia dal 11% al 38%, la sabbia dal 11% al 53%.

#### b. Proprietà indice e fisico-volumetriche

- Contenuto d'acqua ( $W$ ) variabile tra un minimo del 6% ed il 22%;
- Peso specifico dei grani ( $\gamma_s$ ) variabile tra 2.50 e 2.70 g/cm<sup>3</sup>;
- Peso di volume ( $\gamma_v$ ) compreso tra 1.90 e 2.40 gr./cm<sup>3</sup>;
- Limite liquido (LL) compreso tra il 24% ed il 42%;
- Limite plastico (LP) compreso tra il 13% ed il 17%;
- Indice di plasticità (IP) variabile tra il 10% ed il 25%.

#### c. Proprietà di resistenza meccanica: Prova di Taglio Diretto (CD)

I valori dell'*Angolo di attrito*  $\varphi'$  determinati sono stati estremamente variabili, alla luce della eterogeneità granulometrica, con valori compresi tra 16° e 35°; così come anche il valore della *Coesione*  $C'$  che è compreso tra 0.06 e 0.45 Kg/cm<sup>2</sup>.

Le prove geotecniche eseguite su campioni rimaneggiati denominati C1 e C2 hanno evidenziato che granulometricamente si tratta rispettivamente di "Ghiaia sabbiosa debolmente limosa" e di "Ghiaia con sabbia debolmente limosa", appartenenti al gruppo A1- della classificazione CNR-UNI 10006. La frazione fine passante allo staccio 0.075 UNI 2332 (circa 200 A.S.T.M.) mm risulta in media del 7%, quindi minore del 35% (il valore massimo accettabile deve risultare inferiore o uguale a 35%), inoltre il materiale si presenta sempre non plastico.

CAMPIONE RIMANEGGIATO	GHIAIA %	SABBIA %	LIMO %	ARGILLA %	Prova di costipamento AASHO MOD. $\gamma_d$ ottima – W ottima kN/m <sup>2</sup> - %	Classificazione UNI	Indice CBR I(2.5)= % I(5.00)=%
<b>C1</b>	69.89	23.03	6.26	0.81	22.07 kN/m <sup>2</sup> 6.03 %	A 1-a	I(2.5)= 6.83 I(5.00)=13.96
<b>C2</b>	56.25	36.54	6.14	1.07	22.05 kN/m <sup>2</sup> 7.26 %	A 1-a	I(2.5)= 7.67 I(5.00)=16.01

**Tabella 12 – Schema dei risultati delle prove Proctor e CBR**

Dall'analisi dei risultati è evidente come gli Indici CBR, variabili rispettivamente da 6.83-13.96% e 7.67-16.01%, in quanto molto bassi, non sono confrontabili con i materiali classificati come A1-a, invece posso essere riferibili ai gruppi A4, A5 o A6 e, quindi, a terreni limosi o argillosi. Chiaramente tale evenienza deve essere scartata in quanto i materiali analizzati, come sopra detto, sono costituiti da "grani grossi" come ghiaia e sabbia. Inoltre ai gruppi A4, A5 o A6 corrisponde la definizione di *materiale con caratteristiche medie utilizzabile per la formazione delle fondazioni stradali*, infatti, ad esempio, il valore minimo dell'Indice CBR di riferimento accettabile, secondo i capitolati stradali dell'ANAS, deve essere maggiore di 30%. In merito chi scrive ritiene che tali valori siano da meglio verificare, in quanto sottostimati e, pertanto, non confrontabili con la restante parte dei parametri ricavati dalle analisi come ad esempio le "granulometrie", i "limiti" ed gli "indici". Difatti i dati a disposizione permettono comunque di poter affermare che i materiali geotecnicamente analizzati possono essere considerati, come riportato nella *Classificazione H.R.B.*, appartenenti a *Terreni granulari passanti al setaccio 200 A.S.T.M. < 35%* e facenti parte del gruppo A1 od al massimo dei gruppi A2 o A3, valutabili da *eccellenti a buoni* materiali per rilevati. Quanto detto è anche confortato dai risultati delle prove Proctor.

Per il dettaglio dei risultati delle prove eseguite si rimanda all'Allegato: **PD-R.20**.

Di seguito, si riportano i parametri geotecnici operativi, ma da ritenersi comunque solo indicativi e finalizzati a valutare la fattibilità del progetto in epigrafe:

### 1) UNITÀ LITOTECNICA 1: Depositi Alluvionali attuali

E' costituita da sedimenti sciolti, ghiaiosi con ciottoli eterometrici e poligenici, arrotondati, e sabbie grossolane grigiastre con limo spesso sotto forma di corpi lenticolari ed in eteropia di facies. Si presentano generalmente ben addensati e non plastici :

$\gamma_n$ k	$\gamma_{sat}$ k	$\varphi_k'$	$C_k'$	$\lambda$
--------------	------------------	--------------	--------	-----------

(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(gradi)	(kg/cm <sup>2</sup> )	
<b>1850</b>	<b>2050</b>	<b>35</b>	<b>0.00</b>	<b>0.46</b>

## 2) UNITÀ LITOTECNICA 2: Depositi Alluvionali recenti

Risultano essere costituita da successioni eteropiche di limi ed argille e di depositi ghiaiosi in matrice argilloso-limosa e/o sabbiosa, con ciottoli calcarei calcareo-marnosi e silicei. I materiali di che trattasi, molto spesso si presentano sotto forme lentiformi con la prevalenza o della frazione limo-argillosa o di quella ghiaiosa. Anche granulometricamente la frazione prevalente è alquanto variabile da punto a punto con la prevalenza o subordinazione della ghiaia, del limo, della sabbia e dell'argilla:

$\gamma_{nk}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\varphi_k'$ (gradi)	$C_k'$ (t/m <sup>2</sup> )	$\lambda$
<b>1800</b>	<b>2050</b>	<b>28</b>	<b>0.00</b>	<b>0.46</b>

## 3) UNITÀ LITOTECNICA 3: Detrito di versante

Sono costituiti da materiale argilloso-limoso in assetto caotico, destrutturato, inglobanti clasti di natura prevalentemente calcarea di dimensioni variabili dal centimetro al decimetro, poco consistenti, compressibili, plastici e con scarsa resistenza geotecnica:

$\gamma_{nk}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\varphi_k'$ (gradi)	$C_k'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$
<b>1820</b>	<b>1950</b>	<b>21</b>	<b>0.00</b>	<b>0.47</b>

## 4) UNITÀ LITOTECNICA 4: Conglomerati poligenici

Sono costituiti da ciottoli arrotondati, caratterizzati da una scarsa matrice sabbioso-limosa, e si presentano generalmente ben cementati, mal stratificati o in grossi banchi, con intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie:

$\gamma_{nk}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\varphi_k'$ (gradi)	$C_k'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$
<b>2200</b>	<b>2300</b>	<b>35</b>	<b>0.25</b>	<b>0.43</b>

## 5) UNITÀ LITOTECNICA 5: Sabbie

E' composta da sabbie a grana media e fine e sabbie siltose, ben stratificate, a luoghi cementate, con sporadici livelli lenticolari di microconglomerati ed intercalazioni di siltiti

argillose e sabbiose e calcareniti bioclastiche. Si presentano da ben addensate a litificate, non plastiche e non compressibili:

$\gamma_{nk}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\varphi_k'$ (gradi)	$C_k'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$
<b>2100</b>	<b>2150</b>	<b>30</b>	<b>0.20</b>	<b>0.43</b>

## 6) UNITÀ LITOTECNICA 6: Formazione di Paoladoce

Costituiti da alternanze di strati e livelli calcareo-clastici e arenacei a grana fine, ben cementate con argille siltose e marnose grigie, calcilutiti marnose e marne biancastre in strati da centimetrici a decimetrici. A varie altezze sono presenti livelli caotici di di arenarie vulcanoclastiche a grana fine e media. Si presentano molto consistenti, poco plastici e poco compressibili.

$\gamma_{nk}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\varphi_k'$ (gradi)	$C_k'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$
<b>2005</b>	<b>2150</b>	<b>26</b>	<b>0.27</b>	<b>0.44</b>

## 7) UNITÀ LITOTECNICA 7: Formazione di Corleto Perticara

Rappresentata da un'alternanza in strati e banchi di marne calcaree, calcari marnosi, calcilutiti-grigio-giallognole, calcareniti biancastre a grana fine marne ed argilliti marnoso-siltose bruno grigiastre con livelli siltoso-arenacei. Intercalati si rinvencono livelli di argille scagliose policrome di colore grigio-verde. Geotecnicamente tali terreni sono definibili poco plastici e poco compressibili, con una resistenza al taglio condizionata dal grado di fratturazione della componente lapidea e dalla percentuale di quella argillosa o argilloso-limosa

$\gamma_{nk}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat k}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\varphi_k'$ (gradi)	$C_k'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$
<b>1950</b>	<b>2050</b>	<b>24</b>	<b>0.20</b>	<b>0.45</b>

### 8) UNITÀ LITOTECNICA 8: Flysch Rosso - membro calcareo-marnoso

E' costituito da calcareniti biancastre a grana media e grossa in strati e grossi banchi intercalati a varie altezze da corpi lenticolari di calciruditi, livelli centimetrici di calcilutiti bianche e di marne varicolori, argille marnose fogliettate. Si presenta intensamente fratturato e le fratture sono quasi sempre riempite dalla frazione pelitica. Dove è presente la componente litoide, si delinea un marcato stato di fratturazione:

$\gamma_{n\ k}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat\ k}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\varphi_k'$ (gradi)	$C_k'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$
<b>2200</b>	<b>2300</b>	<b>28</b>	<b>0.40</b>	<b>0.42</b>

### 9) UNITÀ LITOTECNICA 9: Flysch Rosso - membro argilloso-marnoso

E' costituito da fitta alternanza di marne grigiastre, argilliti grigie e rossastre fogliettate, a cui s'intercalano strati di calcilutiti grigiastre e calcari marnosi rosati. In linea generale, trattasi di terreni compatti, consistenti, poco plastici:

$\gamma_{n\ k}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat\ k}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\varphi_k'$ (gradi)	$C_k'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$
<b>2000</b>	<b>2100</b>	<b>26</b>	<b>0.25</b>	<b>0.45</b>

### 10) UNITÀ LITOTECNICA 10: Argille Varicolori

Alternanza di argille e argille marnose compatte, consistenti e poco plastiche, marne argillose a luoghi scagliettate e con struttura caotica, con prevalenza ora dei livelli più marnosi, ora di quelli più argillosi. Sono inclusi clasti centimetrici di natura calcarea con vene di calcite. A più altezze si intercalano clasti o livelli centimetrici di marne calcaree, calcilutiti o calcari marnosi con venature di calcite. In linea generale, trattasi di terreni con caratteristiche geotecniche scadenti e noti per la loro propensione alla franosità:

$\gamma_{n\ k}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat\ k}$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\varphi_k'$ (gradi)	$C_k'$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\lambda$
<b>1950</b>	<b>2100</b>	<b>22</b>	<b>0.20</b>	<b>0.45</b>

Legenda:  $\gamma_{n\ k}$  (gr/cm<sup>3</sup>): Peso dell'unità di volume;  $\gamma_{sat\ k}$  (gr/cm<sup>3</sup>): Peso dell'unità di volume saturo;  $\varphi_k'$  (gradi): Angolo di attrito interno;  $C_k'$  (kg/cm<sup>2</sup>): Coesione consolidata-drenata;  $\lambda$ : Coefficiente di Poisson

## 8. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

In questo capitolo, prima di riportare i principali caratteri idrogeologici di tutti i terreni interessati dalle opere in progetto, con particolare attenzione al tipo ed al loro grado di permeabilità, si descrivono di seguito i risultati delle prove di permeabilità eseguite in situ nei fori di sondaggio (in occasione del progetto di fattibilità), nonché i risultati delle indagini geoelettriche con restituzione tomografica (T.E.V.) eseguite nelle aree di sedime della diga di monte e di quella di valle, senza dubbio, le opere più importanti, da un punto di vista ingegneristico, del presente progetto.

### 8.1 Prove di permeabilità in foro tipo Lefranc

Le prove di permeabilità in foro tipo Lefranc hanno consentito di caratterizzare dal punto di vista idrogeologico le litologie riscontrate e, di conseguenza, ricavarne una permeabilità media per ogni verticale indagata. Sono state eseguite nei n° 2 sondaggi (S5, S6) ubicati in coincidenza con lo sbarramento della futura diga di monte e nei n°3 sondaggi ubicati in destra idraulica (S1, S2, S3) e nel n° 1 sondaggio ubicato in sinistra idraulica (S4) della Fiumara di Ruoti, in coincidenza con il sedime di fondazione della diga valle.



**Figura 15: Fase di esecuzione della prova in foro tipo Lefranc**

I certificati delle prove eseguite sono riportati nell'allegato **PD-R.20**.



## 8.2 Diga di monte

In totale sono state effettuate n° 8 prove del tipo a Carico Variabile e n° 1 prova a Carico Costante distribuite secondo lo schema riportato in tabella 13, nella quale vengono anche restituiti i valori di permeabilità K (cm/sec) ottenuti per ciascuna prova.

SONDAGGIO	Prova Lefranc (Carico Variabile/Carico Costante)		
	N. prova	Tasca di prova (intervallo in m)	Permeabilità (cm/sec)
S5	1	7,20-9,00 (CV)	3,80E <sup>-04</sup>
	2	11,70-14,50	8,14E <sup>-04</sup>
	3	19,20-22,50	5,34E <sup>-05</sup>
	4	26,80-30,00	6,46E <sup>-05</sup>
	5	36,00-40,00	6,75E <sup>-06</sup>
S6	1	19,00-20,50	6,50E <sup>-04</sup>
	2	24,00-26,00 (CV)	Tutta l'acqua immessa viene assorbita tanto da non riuscire a riempire il foro; il livello dell'acqua
	3	32,70-35,40 (CV)	Tutta l'acqua immessa viene assorbita tanto da non riuscire a riempire il foro; il livello dell'acqua
	4	35,60-37,00 (CC)	Il livello dell'acqua si stabilizza a 18.50 m dal

**Tabella 13 – Valori di permeabilità ottenuti dalle prove Lefranc a Carico Variabile e Costante**

I risultati relativi al sondaggio S5, mostrano una progressiva diminuzione della permeabilità nell'intervallo investigato (7,20-40,00 m) (Tab.13), che è riferibile a terre con granulometrie differenziate dal top verso il bottom (da sabbia limoso-argillosa con scheletro ghiaioso a conglomerato) e con grado di addensamento e/o cementazione crescente. I valori del coefficiente di permeabilità consentono di attribuire alle terre investigate (dal top verso il bottom) una classe di permeabilità da bassa a molto bassa.

I risultati ottenuti nel sondaggio S6, ubicato in asse con la diga, fatta eccezione per il valore relativo all'intervallo stratigrafico compreso tra 19,00-20,50 m (Tab.13) che è riferibile ad una classe di permeabilità bassa, indicano la presenza di livelli ad elevata permeabilità. Infatti, l'acqua immessa nel foro di sondaggio durante la prova viene assorbita fino a stabilizzarsi alla profondità di circa 18.50 m. Pertanto, in considerazione delle litologie principali descritte alle profondità comprese tra 20,50-37,00 m (conglomerati e are-

narie), si ritiene che tale circostanza sia da attribuire esclusivamente a fenomeni di dilavamento (meccanismo di tipo washout) entro livelli nei primi di 18,00 m della verticale.

### 8.3 Diga di valle

In totale sono state effettuate n° 7 prove del tipo a Carico Variabile distribuite secondo lo schema riportato in tabella 14, nella quale vengono anche restituiti i valori di permeabilità K (cm/sec) ottenuti per ciascuna prova.

SONDAGGIO	Prova Lefranc (Carico Variabile)		
	N. prova	Tasca di prova (intervallo in m)	Permeabilità (cm/sec)
S1	1	7,50-8,50	7,66E <sup>-05</sup>
	2	18,50-19,50	1,08E <sup>-05</sup>
	3	21,00-22,00	2,76E <sup>-03</sup>
S2	1	13,50-14,50	1,07E <sup>-03</sup>
S3	1	7,00-8,00	impermeabile
	2	7,00-12,00	impermeabile
S4	1	3,60-5,00	9,28E <sup>-06</sup>

**Tabella 14 – Valori di permeabilità ottenuti dalle prove Lefranc a Carico Variabile**

I risultati relativi al sondaggio S1, ubicato nella porzione altimetrica più elevata della futura diga (spalla destra della diga), mostrano un progressivo aumento della permeabilità nell'intervallo investigato (7,50-22,00 m) (Tab.14), che coincide con l'aumento delle frazioni granulometriche più grossolane dal top verso il bottom (da argilla limoso-sabbiosa a sabbia limoso-argillosa, a sabbia limoso-argillosa con scheletro ghiaioso). I valori del coefficiente di permeabilità consentono di attribuire alle terre investigate (dal top verso il bottom) una classe di permeabilità al limite fra molto bassa-bassa e bassa-discreta.

I risultati ottenuti nel sondaggio S2, ubicato nella zona mediana tra sponda destra e sinistra, sempre in asse con la diga stessa, sono relativi ad alternanze granulometriche grossolane e fini (ghiaia in matrice sabbioso-limosa e sabbia limoso-argillosa), infatti mostrano un valore del coefficiente di permeabilità (Tab.14) che fa attribuire alle terre investigate una classe di permeabilità al limite fra bassa-discreta.

I risultati ottenuti nel sondaggio S3, ubicato nel nucleo della diga, mostrano che le terre alle profondità investigate (7,00-12,00 m) (Tab.14) ricadono in una classe di permeabilità del tipo impermeabile; questa circostanza trova riscontro nella descrizione litologica

macroscopica, che fa riferimento a terre con granulometrie differenziate (argilla limoso-sabbiosa, sabbia limoso-argillosa, conglomerato) molto addensate o semilitoidi e cementate. I risultati ottenuti nel sondaggio S4, realizzato inclinato nel versante di sponda sinistra, in corrispondenza del settore di ammorsamento della diga nel versante di sponda, sono relativi a terre con granulometrie differenziate (ghiaia in matrice sabbioso-limosa, sabbia limoso-argillosa) e mostrano un valore del coefficiente di permeabilità (Tab.14) che fa ad esse attribuire una classe di permeabilità molto-bassa.

#### 8.4 Prove di permeabilità in foro tipo Lugeon

Le prove di permeabilità in foro tipo Lugeon sono state eseguite nelle porzioni lapidee e/o semilapidee riscontrate lungo le verticali di sondaggio.

Tali prove hanno consentito di determinare, in funzione dei valori di permeabilità calcolati, il tipo di flusso (laminare, turbolento, dilatazione, dilavamento, riempimento) instaurato all'interno del corpo litologico e, di conseguenza, di ricavare il gruppo idrologico di appartenenza. Sono state eseguite nei n° 2 sondaggi (S5, S6) ubicati in coincidenza con lo sbarramento dell'invaso di monte, nei n° 3 sondaggi ubicati in destra idraulica (S1, S2, S3) e nel n° 1 sondaggio ubicato in sinistra idraulica (S4) della Fiumara di Ruoti, in coincidenza con quello di valle.



**Figura 16 – Fase di esecuzione della prova in foro tipo Lugeon**

I certificati delle prove eseguite sono riportati nell'allegato **PD-R.20**.

## 8.5 Diga di monte

In totale sono state effettuate n° 3 prove distribuite secondo lo schema riportato in tabella 15, nella quale vengono anche restituiti valori di permeabilità K (m/sec) ottenuti per ogni gradino di pressione applicato e l'Unità Lugeon corrispondente.

SONDAGGIO	Prova Lugeon (in avanzamento)				
	N. prova	Tasca di prova (intervallo in m)	Permeabilità (m/sec)	Gradino di pressione (bar)	Unità Lugeon
S5	1	31,00-34,10	5,3E <sup>-6</sup>	1	48
			3,5E <sup>-6</sup>	3	32
			3,2E <sup>-6</sup>	5	29
			3,4E <sup>-6</sup>	3	31
			4,8E <sup>-6</sup>	1	44
S6	1	6,00-10,20	0,0E <sup>0</sup>	1	0
			1,4E <sup>-7</sup>	3	1
			1,4E <sup>-7</sup>	5	1
			1,4E <sup>-7</sup>	3	1
			0,0E <sup>0</sup>	1	0
	2	13,00-17,00	0,0E <sup>0</sup>	1	0
			3,6E <sup>-7</sup>	3	3
			4,5E <sup>-6</sup>	5	38
			2,5E <sup>-6</sup>	3	22
			2,5E <sup>-6</sup>	1	21

**Tabella 15 – Valori di permeabilità e Unità Lugeon ottenuti dalle prove Lugeon**

I risultati relativi al sondaggio S5, sono da riferirsi ad una classe di permeabilità bassa nell'intervallo investigato (31,00-34,10 m) (Tab.15), costituito da litotipi con grado di cementazione variabile e/o addensati (conglomerato, sabbia limosa). Dall'andamento dell'Unità Lugeon si ricava il **Gruppo idrologico B**, a cui corrisponde un **flusso turbolento**.

I risultati ottenuti nel sondaggio S6, ubicato nel nucleo della diga, sono da riferirsi a litotipi impermeabili (conglomerati cementati, sabbie semilitoidi o molto addensate) fra 6,00-17,00 m (Tab.15); dall'andamento dell'Unità Lugeon si ricava il **Gruppo idrologico A**, con **flusso laminare**, fino a 10,20 m, quindi il **Gruppo C** verso il bottom, a cui corrisponde **dilatazione**.

## 8.6 Diga di valle

In totale sono state effettuate n°15 prove distribuite secondo lo schema riportato in tabella 16, nella quale vengono anche restituiti i valori di permeabilità K (m/sec) ottenuti per ogni gradino di pressione applicato e l'Unità Lugeon corrispondente.

SONDAGGIO	Prova Lugeon (in avanzamento)				
	N. prova	Tasca di prova (intervallo in m)	Permeabilità (m/sec)	Gradino di pressione (bar)	Unità Lugeon
S1	1	23,40-24,40	1,2E-6	1	15
			7,2E-7	3	9
			5,2E-7	5	7
			6,2E-7	3	8
			1,1E-6	1	14
	2	32,00-35,00	2,9E-7	1	3
			3,2E-7	3	3
			2,3E-7	5	2
			2,5E-7	3	2
			3,5E-7	1	3
	3	38,00-41,00	6,6E-7	1	6
			4,8E-7	3	4
			3,9E-7	5	4
			4,4E-7	3	4
			6,2E-7	1	6
S2	1	20,50-21,50	0,0E0	1	0
			4,7E-8	3	1
			2,9E-8	5	0
			0,0E0	3	0
			0,0E0	1	0
	2	31,00-32,80	0,0E0	1	0
			0,0E0	3	0
			0,0E0	5	0
			0,0E0	3	0
			0,0E0	1	0
	3	37,00-40,00	4,0E-7	1	4
			3,6E-7	3	3
			3,5E-7	5	3
			4,0E-7	3	4
			3,8E-7	1	3
S3	1	13,50-15,00	3,1E-7	1	3
			4,3E-7	3	5
			3,6E-7	5	4
			4,3E-7	3	5
			3,9E-7	1	4
	2	20,30-24,00	5,5E-7	1	5
			2,8E-7	3	2

			7,8E-7	5	7
			2,3E-7	3	2
			1,0E-7	1	1
	3	28,50-33,00	0,0E0	1	0
			0,0E0	3	0
			0,0E0	5	0
			0,0E0	3	0
			0,0E0	1	0
	4	35,50-40,00	2,8E-8	1	0
			5,4E-8	3	0
4,9E-8			5	0	
2,0E-8			3	0	
4,2E-8			1	0	
<b>S4</b>	1	5,50-8,10	2,1E-6	1	20
			1,5E-6	3	14
			3,0E-6	5	29
			4,7E-6	3	45
			4,3E-6	1	41
	2	11,50-14,20	2,3E-6	1	22
			1,5E-6	3	15
			1,2E-6	5	12
			1,5E-6	3	14
			1,6E-6	1	15
	3	19,00-23,20	8,9E-8	1	1
			1,4E-7	3	1
			1,3E-7	5	1
			1,1E-7	3	1
			1,1E-7	1	1
	4	28,50-32,00	1,8E-6	1	16
			9,1E-7	3	8
			7,3E-7	5	7
			1,0E-6	3	9
			1,7E-6	1	15
5	35,50-40,00	1,6E-6	1	13	
		8,2E-7	3	7	
		6,8E-7	5	6	
		7,6E-7	3	6	
		1,2E-6	1	10	

**Tabella 16 – Valori di permeabilità e Unità Lugeon ottenuti dalle prove Lugeon**

I risultati relativi al sondaggio S1, sono da riferirsi a litotipi la cui classe di permeabilità è al limite fra bassa-molto bassa (conglomerati cementati, sabbie semilitoidi, argilla mar-rosa molto consistente) nell'intervallo investigato (23,40-41,00 m) (Tab.16), con passaggio, dal top verso il bottom, dal **Gruppo idrologico B**, a cui corrisponde un **flusso turbolento**, al **Gruppo A**, il cui **flusso è laminare**.

I risultati ottenuti nell'intervallo investigato del sondaggio S2 (Tab.16), sono relativi a litotipi da impermeabili a classe di permeabilità al limite fra bassa-molto bassa (conglomerati a vario grado di cementazione), appartenenti al **Gruppo idrologico A**, il cui **flusso è laminare**.

I risultati ottenuti nell'intervallo investigato del sondaggio S3 (Tab.16) sono relativi a litotipi da impermeabili a classe di permeabilità al limite fra bassa-molto bassa (conglomerati a vario grado di cementazione, sabbie limoso-argillose semilitoidi, argille limoso-sabbiose molto consistenti). Fatta eccezione per l'intervallo 20,30-24,00 m che appartiene al **Gruppo idrologico C**, a cui corrisponde **dilatazione**, il **Gruppo prevalente è A**, quindi il **flusso è prevalentemente di tipo laminare**.

I risultati ottenuti nel sondaggio S4 (Tab.16) sono riferibili a terre la cui classe di permeabilità va da bassa a molto-bassa. Questa circostanza trova riscontro nella descrizione litologica macroscopica, che fa riferimento a terre con granulometrie differenziate a vario grado di cementazione, ovvero semilitoidi e/o molto consistenti (conglomerato, sabbia argillosa/limosa/argilloso-limosa, limo argilloso, argilla limosa). Il **Gruppo idrologico di appartenenza varia alternativamente da A a B**, con conseguente **alternanza di flusso da tipo laminare a turbolento**.

### 8.7 Interpretazione dei dati delle prove di permeabilità in foro

L'analisi dei dati derivanti dalle prove di permeabilità in foro di tipo Lefranc e Lugeon, eseguite in ogni singola verticale di sondaggio nell'area di imposta dell'diga di monte e di valle, fa rilevare che i valori dei coefficienti di permeabilità possono ritenersi, con buona approssimazione, dello stesso ordine di grandezza; infatti, data la sostanziale omogeneità delle formazioni che caratterizzano le due aree, sembra possibile generalizzare detta concordanza per tutti i sondaggi.

I litotipi investigati appartengono principalmente a classi di permeabilità da bassa ad impermeabile dal top verso il bottom.

Questa appartenenza è congruente con le descrizioni stratigrafiche macroscopiche, che riferiscono di materiali caratterizzati da vario grado di consistenza/addensamento (granulometrie fini/finissime) e/o cementazione (conglomerati) che fanno scaturire le puntuali e poco apprezzabili (nell'economia dell'insieme) differenze nell'attribuzione delle classi di permeabilità (bassa/discreta, bassa/molto bassa)

Una significativa soluzione di continuità nei valori dei coefficienti di permeabilità è stata registrata entro gli spessori più superficiali (18.50 m circa) del sondaggio S6 (diga di monte), per i quali si ipotizzano fenomeni di dilavamento (meccanismo di tipo washout) in livelli ad alta permeabilità, costituiti da granulometrie grossolane con più basso grado di addensamento.

### 8.8 Tomografie Elettriche Verticali

Sono state condotte n° 6 T.E.V. (Tomografie Elettriche Verticali) (cfr. All. **PD-R.20**), ubicate come in Fig.17, la cui profondità d'investigazione è compresa tra i 12,00-18.00 m circa.



Figura 16 – Ubicazione delle T.E.V.

Il numero di elettrodi utilizzati (variabile da 32 a 63), la distanza elettrodica (variabile da 2,00 m a 2,60 m), nonché l'orientamento dei profili, sono riportati nella tabella 17.

Sigla	Lunghezza (ml)	N° elettrodi	Distanze elettrodiche	Orientamento
TEV1	80,00	32	2,50	SE-NW
TEV2	62,00	32	2,00	SW-NE
TEV3	124,00	63	2,00	SE-NW
TEV4	80,60	32	2,60	SW-NE
TEV5	124,00	63	2,00	SE-NW
TEV6	62,00	32	2,00	SW-NE

Tabella 17 – Caratteristiche dei profili T.E.V.



### 8.9 Diga di valle

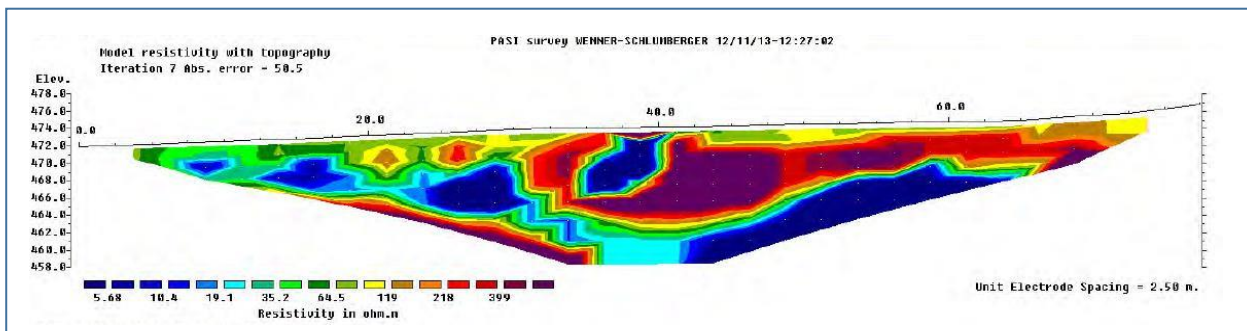
La lettura dei profili di resistività mostra l'esistenza nel sottosuolo, e fino alle profondità investigate (sempre inferiori a 18,00 m), di strutture geologiche alquanto complesse. La sovrapposizione delle classi di resistività, infatti, rende difficoltosa l'interpretazione e la distinzione netta fra i litotipi.

Le classi di resistività, sono le seguenti (Tab.18):

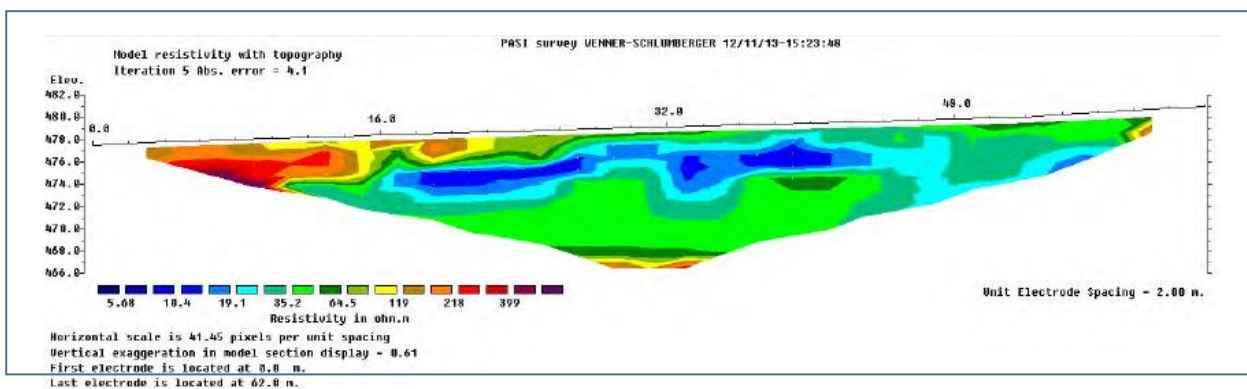
Resistività (Ohm/m)	Acque e rocce
2-20	Argille
10-30	Acqua di falda in alluvioni
50-500	Sabbie e ghiaie imbibite di acqua dolce

**Tabella 18 – Classi di resistività (da Prospezioni idrogeologiche, P. Celico – Liguori Editore, 1986)**

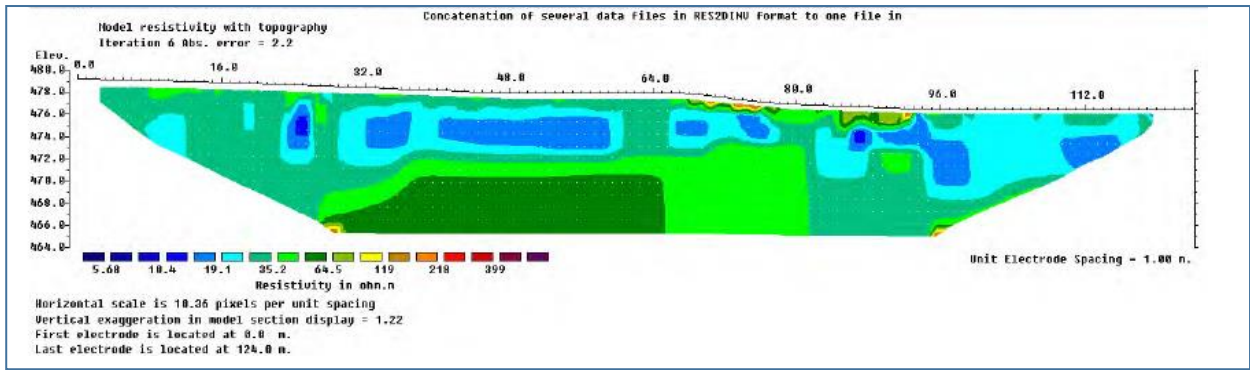
Non sono presenti corpi idrici continui e di significativa importanza ma, piuttosto, esistono livelli di non facile e precisa individuazione, dotati di una certa permeabilità e con circolazione idrica che defluisce verso la Fiumara di Ruoti.



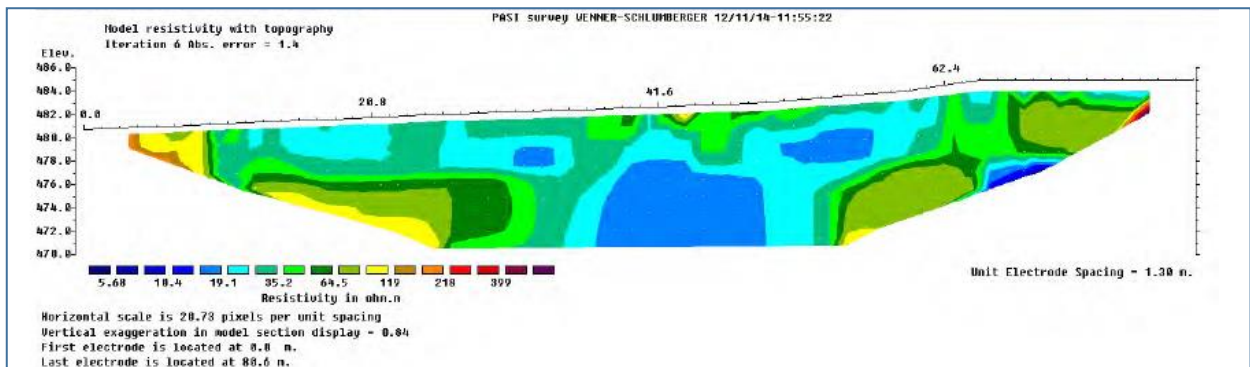
**T.E.V.1**



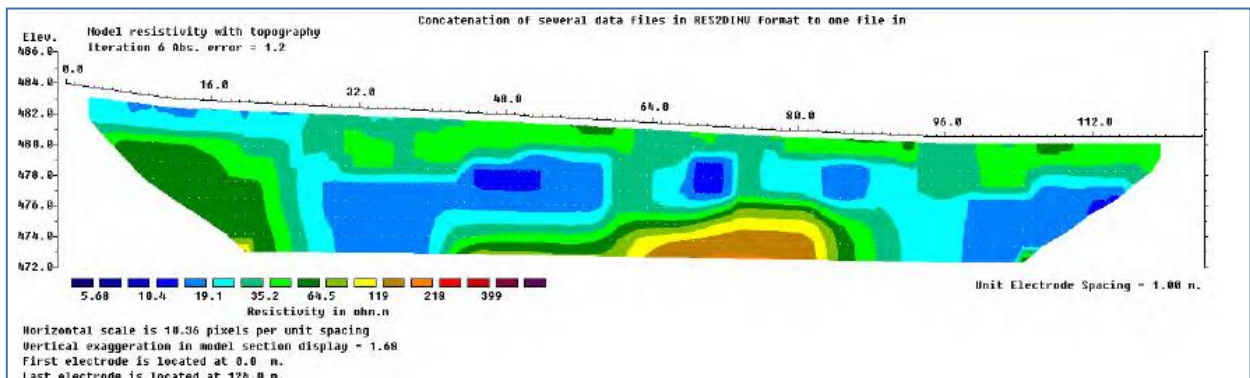
**T.E.V.2**



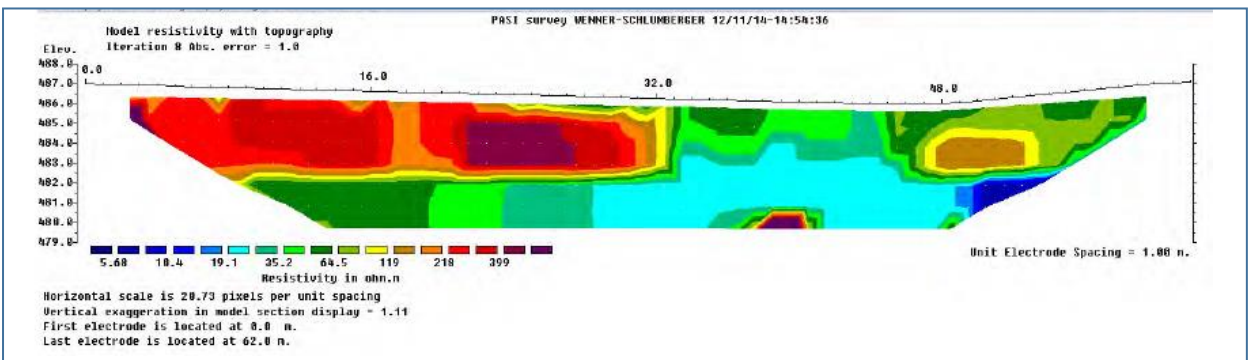
T.E.V.3



T.E.V.4



T.E.V.5



T.E.V.6

## 8.10 Considerazioni sulla circolazione idrica sotterranea

Durante la campagna di indagini geognostiche è stato verificato che il livello piezometrico dell'acqua nei fori di sondaggio del settore della diga di valle era confrontabile con la quota del pelo libero dell'acqua nella Fiumara di Ruoti. Va, pertanto, sottolineato il rapporto diretto tra il corso d'acqua e la falda che, per quanto possa essere discontinua, ha prevedibilmente delle oscillazioni del livello idrico strettamente dipendenti dalle variazioni di portata nel fiume. Dato il limitato areale di investigazione e la prossimità dello stesso rispetto all'alveo, la falda può essere senz'altro assimilata ad un flusso in sub-alveo.

## 8.11 Interpretazione dei dati idrogeologici

I risultati conseguiti con le prove di permeabilità in foro (Lefranc, Lugeon), le T.E.V. (Tomografie Elettriche Verticali) e le prove di laboratorio su campioni (prove edometriche) possono ritenersi sufficientemente concordanti fra loro, benché i campioni di laboratorio non possano considerarsi rappresentativi delle caratteristiche di permeabilità in grande.

La collazione di tutti i dati consente di classificare i litotipi investigati come appartenenti ad una classe di permeabilità sostanzialmente bassa.

Le descrizioni stratigrafiche macroscopiche, che riferiscono di materiali caratterizzati da vario grado di consistenza/addensamento (granulometrie fini/finissime) e/o cementazione (conglomerati), giustificano le puntuali e poco apprezzabili (nell'economia dell'insieme) differenze nell'attribuzione delle classi di permeabilità.

Ai fini di una indagine volta a definire le caratteristiche generali di permeabilità delle formazioni geolitologiche nel loro insieme, le prove e le indagini eseguite, in questo grado di progettazione, si sono dimostrate utili al raggiungimento dell'obiettivo.

Come accennato al fine di avere un quadro d'insieme delle caratteristiche idrogeologiche dei terreni in affioramento ed interessati dal progetto in epigrafe, di seguito si riporteranno i principali caratteri idrogeologici dei terreni presenti nell'area, con particolare attenzione al tipo ed al loro grado di permeabilità. Si tratta ovviamente di valori indicativi derivanti dai dati di letteratura pregressa e che descrivono il comportamento medio dei litotipi di che trattasi. Infatti, tali terreni sono dotati di caratteristiche idrogeologiche piuttosto differenziate, in rapporto alla composizione granulometrica, alla porosità ed al grado di addensamento.

Dal punto di vista idrogeologico, in base alla litologia e stratigrafia dei siti di sedime sono stati individuati essenzialmente tre Complessi idrogeologici: 1) **Complesso Idrogeologico impermeabile**; 2) **Complesso idrogeologico da poco a mediamente permeabile**; 3) **Complesso idrogeologico da permeabile a molto permeabile**:

1) **Complesso Idrogeologico impermeabile**: a questo complesso idrogeologico possono essere associati il **membro argilloso marnoso del Flysch Rosso** e le **Argille Vari-colori**, infatti, essendo costituiti da un'alternanza di piccoli strati di argille, di argille marnose, di argillocisti di colore grigio e di marne grigio-verdastre-rossastre, con intercalazioni di livelli di calcari, calcari marnosi, anche se dotati di alta porosità primaria, sono praticamente impermeabili a causa delle ridottissime dimensioni dei pori nei quali l'acqua viene fissata come acqua di ritenzione. Ne deriva una circolazione nulla o trascurabile. Inoltre, trattandosi di argilla, anche se coesiva, è comunque soggetta a fessurarsi e a richiudere rapidamente le discontinuità con un comportamento di tipo plastico. Nell'insieme, il complesso litologico è da considerarsi scarsamente permeabile, in quanto la permeabilità dei livelli lapidei è in parte o del tutto controllata dalla frazione argillosa che, non di rado, va a riempire le discontinuità (fratture) degli strati lapidei rendendoli poco permeabili. Ad essi si può attribuire un valore del *coefficiente di permeabilità dell'ordine di  $K = 10^{-7} - 10^{-9} m/s$* .

2) **Complesso idrogeologico da poco a mediamente permeabile**: possono essere accorpati a tale complesso la **Formazione dei Conglomerati poligenici**, la **Formazione Sabbie**, la **Formazione di Paoladoce**, la **Formazione di Corleto Perticara**, e il **Flysch Rosso -membro calcareo-marnoso**. I **Conglomerati poligenici** sono costituiti da ciottoli arrotondati in una matrice sabbioso-limosa più o meno subordinata allo scheletro ghiaioso. Affiorando sempre ben addensati fino a ben cementati, la presenza di intercalazioni di limi sabbiosi e sabbie creano un contesto di bassa permeabilità tanto che in questi spesso si rinvencono grotte antropiche utilizzate nei tempi addietro come ricovero di attrezzature o cantine. Le stesse considerazioni vanno fatte le **Sabbie** che essendo composte da sabbie a grana media e fine e sabbie siltose ben stratificate, a luoghi cementate, con sporadici livelli lenticolari di microconglomerati ed intercalazioni di siltiti argillose e sabbiose e calcareniti bioclastiche, anch'esse presentano una permeabilità medio bassa. D'altronde alle stesse conclusioni convergono le prove di permeabilità avanti riportate condotte, anche se in aree limitate al sedime di fondazione dei due corpi diga,

sulle stesse due unità litologiche. Ad essi si può attribuire un valore del *coefficiente di permeabilità dell'ordine di*  $K = 10^{-4} - 10^{-5} \text{ m/s}$ .

La **Formazione di Paoladoce** e la **Formazione di Corleto Perticara** e il **Flysch Rosso -membro calcareo-marnoso**, anche se costituiti da un'alta componente lapidea che si presenta molto fratturata e, dunque, molto permeabile, permeabilità però condizionata dalla presenza di intercalazioni argillose, argillose marnose che, chiaramente assume valori dell'ordine di  $K = 10^{-5} - 10^{-6} \text{ m/s}$ .

3) **Complesso idrogeologico da permeabile a molto permeabile:** *permeabili per porosità e fessurazione* sono da considerarsi i **Depositi Alluvionali recenti/attuali** ed il **Detrito di versante**. Il *coefficiente di permeabilità* stimato è di circa  $K = 10^{-2} - 10^{-3} \text{ m/s}$ . Pertanto, al loro interno esiste una circolazione idrica endogena rappresentata dalla subalvea dei corsi d'acqua. In altri studi idrogeologici specifici è stato riscontrato che, grosso modo, la portata della falda è costante come anche il livello della superficie piezometrica. Quest'ultima è soggetta a variazioni di quota quasi esclusivamente con l'innalzamento del pelo libero delle acque fluviali, durante eventi meteorologici eccezionali.

Discretamente permeabile per porosità e fessurazione è da considerarsi il **Detrito di versante**. Infatti, la disgregazione ed il crepacciamento superficiale, l'aratura del versante, il disfacimento fisico-meccanico dovuto agli agenti atmosferici ed i cicli di imbibizione e di essiccamento legati alla variazione stagionale del contenuto naturale in acqua, che produce una tipica fessurazione poligonale (mud-cracks), lo scarso grado di consistenza, i fattori morfoevolutivi (movimento franoso in atto) e la caoticità, fanno sì che ci sia infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo. Pertanto, la circolazione idrica sotterranea avviene essenzialmente nei livelli detritici e di alterazione che, per la loro limitata estensione e per i loro spessori contenuti, non possono essere considerati sede di una falda acquifera stabile, ma chiaramente possono essere sede di accumuli di acqua dipendenti quasi esclusivamente dagli eventi meteorici locali. Questa circostanza determina che tali terreni siano facile "preda" per le acque di precipitazione e non, in quanto, lasciandosi permeare con maggiore facilità, sono portati a saturazione con ovvie conseguenze per la stabilità globale dei versanti su cui insistono. Infatti, da un punto di vista geotecnico il grado di saturazione e, quindi, gli effetti prodotti dalle acque filtranti in questi terreni, sono molteplici e riconducibili soprattutto al loro comportamento, sia in presenza di sovraccarichi che in termini di stabilità: man mano che l'acqua permea nel sottosuolo

si ha una diminuzione della permeabilità che favorisce lo scorrimento ipodermico, con creazione di un regime idraulico di filtrazione parallela al pendio (tra l'interfaccia terreno detrito di frana-substrato), producendo così i fenomeni di "allentamento", "ammorbidente" e "rigonfiamento" (weakening e softening), la perdita dei legami intermolecolari, a scapito della "coesione" e della "resistenza al taglio". E' questo il fenomeno che assume primaria importanza nelle cause che hanno innescato, e che continuano ad innescare, alcuni movimenti franosi rilevati. Dunque, l'esistenza di un substrato praticamente impermeabile e di terreni di alterazione o detritici di frana più permeabili che permettono l'accumulo di acqua al loro interno, soprattutto in concomitanza di eventi meteorici eccezionali, ha come conseguenza l'aumento delle sovrappressioni interstiziali. A tali terreni è possibile attribuire un carattere di medio-alta permeabilità con un valore del *coefficiente di permeabilità dell'ordine di*  $K = 10^{-3} - 10^{-4} \text{ m/s}$ .

## 9. CARATTERIZZAZIONE SISMICA

L'intervento di progetto prevede la realizzazione di un impianto di accumulo idroelettrico mediante pompaggio e di tutte le opere ad esso connesse come la condotta forzata ed il cavidotto. Trattandosi di opere di interesse pubblico e definite strategiche, la *classe d'uso* è *IV* (secondo la definizione del cap.2.4.2 del D.M. 17.01.2018), da cui deriva il *coefficiente d'uso*  $C_u = 2,0$ ; la vita nominale  $V_N$  (numero di anni nei quali le opere devono poter essere utilizzate per lo scopo al quale sono destinate) è  $\geq 50$  anni; il periodo di riferimento  $V_r$  in base al quale vengono valutate le azioni sismiche sulle opere è di 100 anni:

<b>Vita nominale</b>	<b><math>\geq 50</math> anni</b>
<b>Classe d'uso</b>	<b>IV</b>
<b>Coefficiente d'uso</b>	<b>2,00</b>
<b>Periodo di riferimento</b>	<b><math>\geq 100</math> anni</b>

**Tabella 19: Parametri di riferimento per la definizione dell'azione sismica**

Al fine di dare solo le prime indicazioni di carattere sismico emerse dalle indagini geofisiche effettuate per il progetto di fattibilità del 2012, in corrispondenza delle aree di sedime della diga di monte e di quella di valle, qui di seguito si riporteranno i relativi risultati rivisitati secondo la vigente normativa tecnica (NTC 2018).

Il Comune di Ruoti è stato interessato da un'attività sismica dovuta per lo più a fenomeni di 'risentimento', ovvero ad effetti di terremoti avvenuti altrove ed ivi risentiti.

Dal database macrosismico italiano "DBMI11" (2011) redatto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), relativo alle osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, emerge quanto esposto nella tabella 19, in cui viene visualizzata la storia sismica di Ruoti:

Effects		Earthquake occurred:			
I(MCS)	Anno Me Gi Or	Area epicentrale	nMDP	Io	Mw
8	1561 08 19 15:50	Vallo di Diano	32	10	6.83 ±0.28
9	1694 09 08 11:40	Irpinia-Basilicata	251	10	6.79 ±0.10
6	1851 08 14 13:20	Basilicata	103	10	6.38 ±0.17
7-8	1857 12 16 21:15	Basilicata	340	11	7.03 ±0.08
NF	1905 06 29 19:49	BRIENZA	22	5-6	4.41 ±0.55
4	1971 11 29 18:49:35	MARSICO	11	5	4.60 ±0.22
7	1980 11 23 18:34:52	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.89 ±0.09
2	1989 05 29 11:19:11	VAL D'AGRI	77	5	4.50 ±0.14
6-7	1990 05 05 07:21:22	Potentino	1374		5.80 ±0.09
6	1991 05 26 12:26:01	Potentino	597	7	5.11 ±0.09
4-5	1996 04 03 13:04:36	Irpinia	557	6	4.93 ±0.09
3	1998 04 26 05:38:05	Potentino	67	4-5	4.26 ±0.24
4	2002 04 18 20:56:49	Vallo di Diano	165	5	4.38 ±0.09
NF	2002 04 21 23:39:39	Valle del Melandro	32	4-5	3.62 ±0.20
2-3	2004 02 23 19:48:45	Irpinia	118	4-5	4.22 ±0.15
5	2004 09 03 00:04:12	Appennino lucano	156	6	4.49 ±0.09
2	2006 05 29 02:20:06	Promontorio del Garga-	384	5-6	4.63 ±0.09

**Tabella 20 – Storia sismica di Ruoti (PZ) (40.717, 15.680)**

dove:

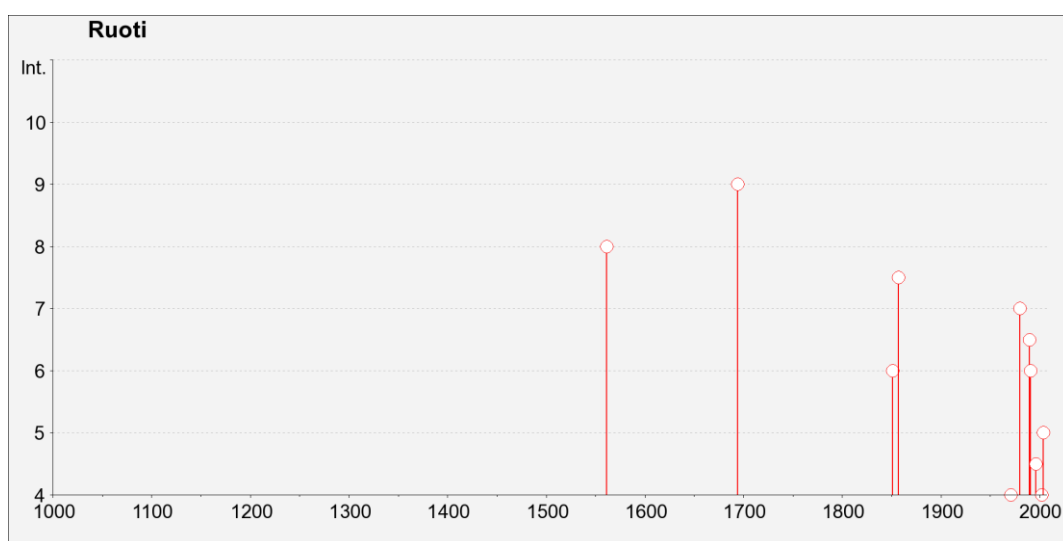
I(MCS)= intensità al sito

Np= numero di osservazioni macrosismiche del terremoto

Io= intensità epicentrale (MCS)

Mw= magnitudo momento

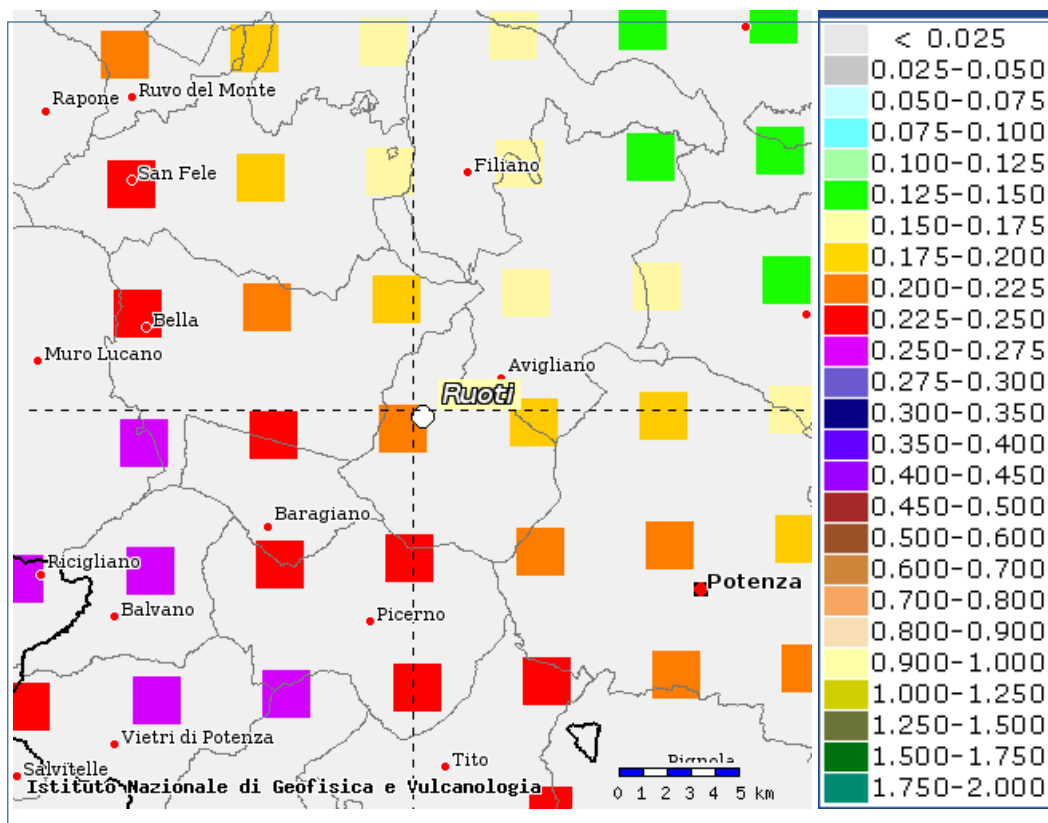
La sintesi della storia sismica di Ruoti è visualizzata nel diagramma di figura 18.



**Figura 18 – Diagramma della storia sismica di Ruoti**



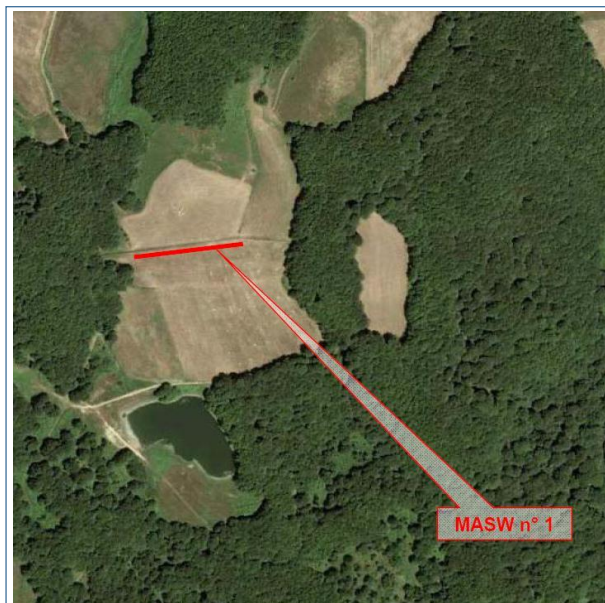
Il Comune di Ruoti ricade in **Zona sismica 1**, secondo il D.M. 14/09/2005 ai sensi dell'all.1 dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 in materia di classificazione sismica del territorio nazionale. Secondo la nuova zonazione sismica della L.R. 9/2011 e s.m.i., è classificato come zona **2a**, a cui è attribuito il valore di PGA di **0.250 g**.



**Figura 19 – Mappa interattiva della Pericolosità Sismica (INGV)**

Per la caratterizzazione sismo-stratigrafica del sottosuolo sono state condotte indagini geofisiche del tipo MASW, ubicate come in Figg.20-21, rispettivamente in corrispondenza del corpo di diga di monte e di valle.

Per la diga di monte le misure sismiche effettuate con tecnica MASW sono state eseguite su n°1 stendimento (MASW 1) orientato NE-SW (Fig.20) della lunghezza di 48 ml, circa in coincidenza con lo sbarramento del futuro invaso.



**Figura 20 – Ubicazione della prospezione sismica MASW 1**

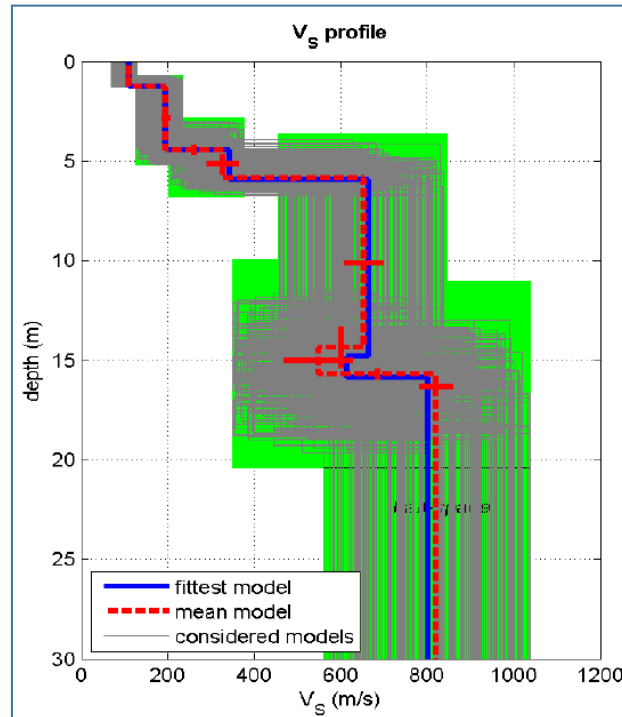
L'analisi della sismosezione derivata ha messo in evidenza l'esistenza di sismostrati le cui caratteristiche dinamico-elastiche migliorano dall'alto verso il basso stratigrafico secondo il modello "medio" così descritto:

1. il sismostrato più superficiale, il cui spessore è circa 1.20 m, ha un valore di velocità delle onde di taglio S pari a 110 m/s ed è da considerarsi scarsamente rigido;
2. il secondo sismostrato, il cui spessore è circa 3.20 m, ha un valore di velocità delle onde di taglio S pari a 196 m/s ed è da considerarsi scarsamente rigido;
3. il terzo sismostrato, il cui spessore è circa 1.40 m, ha un valore di velocità delle onde di taglio S pari a 327 m/s ed è da considerarsi mediamente rigido;
4. il quarto sismostrato, il cui spessore è circa 8.50 m, ha un valore di velocità delle onde di taglio S pari a 654 m/s ed è da considerarsi rigido;
5. il quinto sismostrato, il cui spessore è circa 1.30 m, ha un valore di velocità delle onde di taglio S pari a 548 m/s ed è da considerarsi discretamente rigido; questo sismostrato mette in evidenza una inversione delle velocità;
6. oltre la profondità media di circa 15.60 m i terreni sono caratterizzati da valori di  $V_s > 548$  m/s ( $V_s = 821$  m/s, terreni rigidi).

Il bedrock sismico si attesta ad una profondità maggiore di 15.00 m circa.

**MODELLO MEDIO**

VS (m/sec):	110	196	327	654	548	821
Deviazione standard (m/sec):	3	11	36	46	80	38
Spessore (m):	1.2	3.2	1.4	8.5	1.3	
Deviazione standard (m):	0.1	0.2	0.1	1.0	0.3	



L'analisi dei parametri elastici medi ricavati (Modulo di Poisson, Modulo di taglio) mette in evidenza un miglioramento degli stessi dal top verso il bottom ma con soluzione di continuità, infatti:

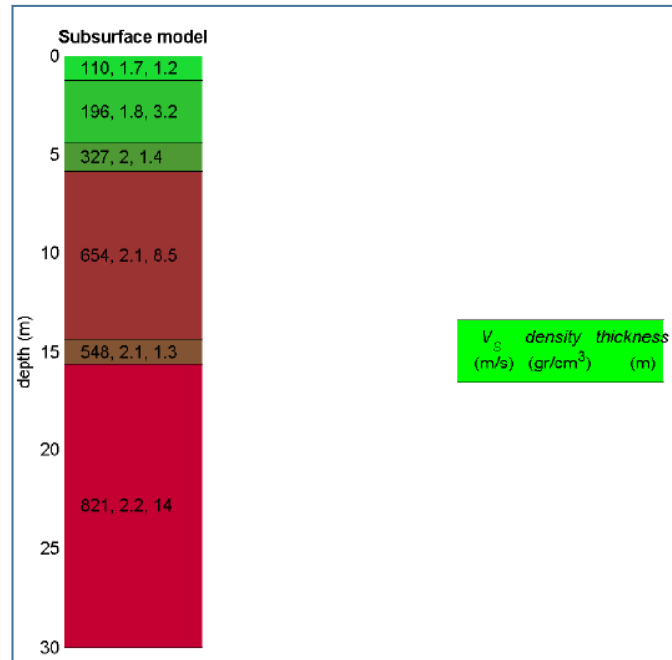
- pur essendo le terre da debolmente compressibili a solide (valori del Modulo di Poisson compresi tra 0.30-0.29), tuttavia c'è una variazione del grado in cui i materiali rispondono (si restringono/dilatano trasversalmente) in presenza di sollecitazioni monodirezionali longitudinali: c'è un debolissimo decadimento fra circa 4.40 m e 15.60 m di profondità;

- pur aumentando la rigidità sismica, quindi il comportamento delle terre è via, via più elastico (valori del modulo di taglio compresi tra 21-1451 Mpa), tuttavia c'è una lieve diminuzione della rigidità alla profondità compresa tra 14.30-15.60 m.

**Stima approssimativa di Vp, densità e moduli elastici**

Stima della Vp (m/sec):	231	395	714	1413	1313	1503
Stima della densità (gr/cm3):	1.70	1.83	1.97	2.14	2.12	2.15
Rapporto VP/VS:	2.10	2.02	2.18	2.16	2.40	1.83
Modulo di Poisson:	0.35	0.34	0.37	0.36	0.39	0.29
Modulo di Taglio (MPa):	21	70	211	914	637	1451

Il modello sismico rappresentativo del sottosuolo può essere schematizzato come segue:



Il valore delle  $V_{s30}/V_{seq}$  ricavato con tecnica MASW è 463 m/s. Partendo dai dati ottenuti, in riferimento al D.M. 17 gennaio 2018, la categoria del suolo di fondazione ricavata dai valori della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo (è la **B**: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

In corrispondenza della diga di valle le misure sismiche, effettuate con tecnica MASW, sono state eseguite su n° 1 stendimento (MASW 2) orientato NE-SW della lunghezza di 48 ml, ubicato in destra idraulica della Fiumara di Ruoti, circa in coincidenza con lo sbarramento della futura diga (Fig.21).



**Figura 21 – Ubicazione della prospezione sismica MASW 2**

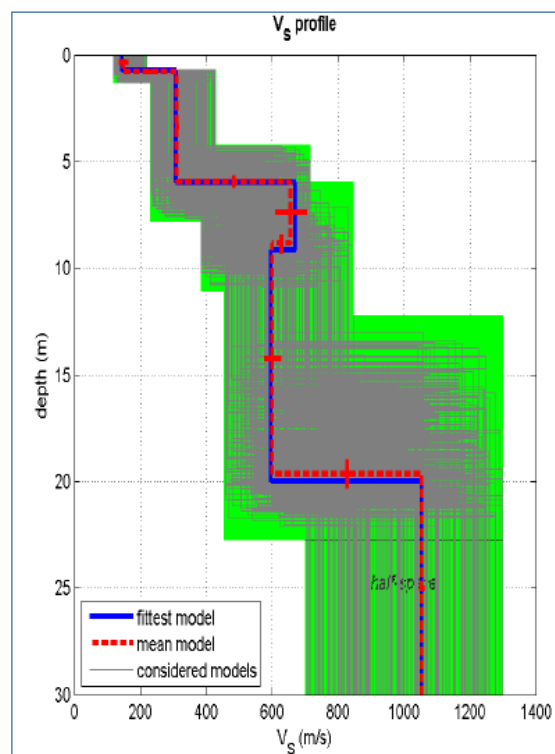
L'analisi della sismosezione derivata ha messo in evidenza l'esistenza di sismostrati le cui caratteristiche dinamico-elastiche migliorano dall'alto verso il basso stratigrafico secondo il modello "medio" così descritto:

1. il sismostrato più superficiale, il cui spessore è circa 0.80 m, ha un valore di velocità delle onde di taglio S pari a 149 m/s ed è da considerarsi scarsamente rigido;
2. il secondo sismostrato, il cui spessore è circa 5.20 m, ha un valore di velocità delle onde di taglio S pari a 311 m/s ed è da considerarsi mediamente rigido;
3. il terzo sismostrato, il cui spessore è circa 2.90 m, ha un valore di velocità delle onde di taglio S pari a 657 m/s ed è da considerarsi rigido;
4. il quarto sismostrato, il cui spessore è circa 10.80 m, ha un valore di velocità delle onde di taglio S pari a 601 m/s ed è da considerarsi rigido; questo sismostrato mette in evidenza una inversione delle velocità;
5. oltre la profondità media di circa 19.70 m i terreni sono caratterizzati da valori di  $V_s > 601$  m/s ( $V_s = 1053$  m/s, terreni rigidi).

Il bedrock sismico si attesta ad una profondità maggiore di circa 20.00 m.

**MODELLO MEDIO**

VS (m/sec):	149	311	657	601	1053
Deviazione standard (m/sec):	14	5	47	25	7
Spessore (m):	0.8	5.2	2.9	10.8	
Deviazione standard (m):	0.1	0.3	0.4	0.7	



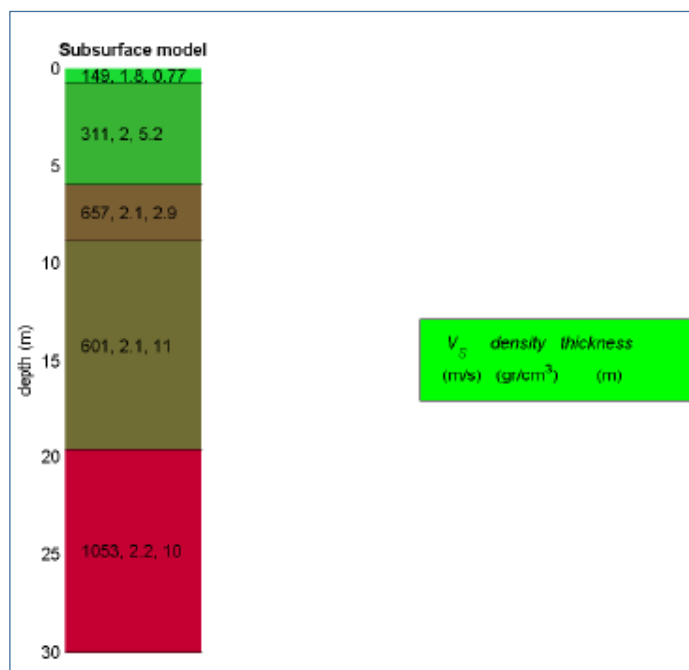
L'analisi dei parametri elastici medi ricavati (Modulo di Poisson, Modulo di taglio) mette in evidenza un miglioramento degli stessi dal top verso il bottom ma con soluzione di continuità, infatti:

- pur essendo le terre da debolmente compressibili a solide (valori del Modulo di Poisson compresi tra 0.38-0.30), tuttavia c'è una variazione del grado in cui i materiali rispondono (si restringono/dilatano trasversalmente) in presenza di sollecitazioni monodirezionali longitudinali: c'è un debolissimo decadimento fra circa 0.80 m e 8.90 m di profondità;
- pur aumentando la rigidità sismica, quindi il comportamento delle terre è via, via più elastico (valori del modulo di taglio compresi tra 39-2458 Mpa), tuttavia c'è una lieve diminuzione della rigidità alla profondità compresa tra 8.90-19.70 m.

Stima approssimativa di Vp, densità e moduli elastici

Stima della Vp (m/sec):	301	670	1475	1275	1955
Stima della densità (gr/cm3):	1.76	1.96	2.15	2.11	2.22
Rapporto VP/VS:	2.02	2.15	2.25	2.12	1.86
Modulo di Poisson:	0.34	0.36	0.38	0.36	0.30
Modulo di Taglio (MPa):	39	189	927	763	2458

Il modello sismico rappresentativo del sottosuolo può essere schematizzato come segue:



Il valore delle  $V_{s30}/V_{seq}$  ricavato con tecnica MASW è 555 m/s. Partendo dai dati ottenuti, in riferimento al D.M. 17 gennaio 2018, la categoria del suolo di fondazione ricavata dai valori della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo è la **B**: *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina*

*molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

### 9.1 Interpretazione dei dati acquisiti

L'analisi delle sismosezioni di monte e di valle mette in evidenza un miglioramento generale delle caratteristiche dinamico-elastiche dal top verso il bottom, benché con soluzione di continuità; infatti, si registrano inversioni di velocità alle profondità rispettivamente comprese tra 14.30-15.60 m circa e tra 8.90-19.70 m circa, associate ad un debole aumento della compressibilità e ad una diminuzione, altrettanto debole, della rigidità. Tanto, per quanto presumibilmente imputabile a puntuali aumenti del contenuto in acqua, ovvero alla presenza di livelli più plastici e compressibili con maggiore contenuto di frazioni granulometriche fini e/o finissime, o caratterizzati da un maggior grado di fratturazione, non trova pieno riscontro nella stratimetria ricostruita dai sondaggi ma è compatibile con l'esistenza di rapporti litologici eteropici laterali e verticali (eteropia fra litofacies sabbiosa e conglomeratica). Pertanto, si rimanda al terzo grado di approfondimento della progettazione la verifica, l'eventuale chiarimento, nonché la corretta interpretazione di tali circostanze.

Partendo dai dati ottenuti con tecnica MASW, in riferimento al D.M. 17 gennaio 2018, la categoria del suolo di fondazione ricavata dai valori della velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo ( $V_{s30}$ ) per l'area della diga di monte e per l'area della diga di valle è la **B** *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.”.*

La presenza lungo la condotta di terreni strutturalmente e meccanicamente assimilabili a quelli riscontrati nel settore della diga di monte e di valle, porta a valutazioni basate sull'analisi del comportamento in situ, dei dettagli morfologici e delle caratteristiche composizionali, strutturali e tessiturali che li contraddistinguono. Pertanto, in analogia con i terreni descritti per i due invasi, si attribuisce la categoria di sottosuolo "B" ai terreni che "ospiteranno" la condotta.

## 10. CARATTERIZZAZIONE MORFOLOGICA E FATTIBILITA' DEL PROGETTO

### 10.1 Diga di monte

La morfologia dell'area d'imposta della diga di monte ha una modesta variabilità, congruente con la sostanziale omogeneità litologica che la caratterizza.

Le componenti fisico-morfologiche tipiche riscontrate sono la collina, la cui forma sommitale è arrotondata (Fig.22), versanti ad acclività bassa, ed una valle a fondo piatto che ospiterà la diga.



**Figura 22** – Morfologia collinare con forma sommitale arrotondata

Immediatamente a monte del futuro coronamento della diga, una piccola e poco profonda depressione riempita per lo più dagli apporti meteorici, senza escludere il contributo dell'alimentazione di una probabile sorgente, ha dato vita ad uno specchio di acqua dolce con sponde basse denominato Lago della Moretta (Fig.23).



**Figura 23** – Lago della Moretta



**L'analisi geomorfica qualitativa dell'area non ha messo in evidenza segni di instabilità.**

## 10.2 Diga di valle

Nella sezione di imposta della futura diga di valle l'alveo della Fiumara di Ruoti è inciso su un letto poco ampio e ha un andamento pseudo-meandriforme.

Di modesta ampiezza è anche l'area golenale (qualche decina di metri), che si allunga secondo il decorso del fiume ed è soggetta a saltuarie inondazioni.

Le forme morfologiche peculiari di quest'area sono funzionali alle pendenze ed alla copertura vegetazionale: nell'insieme il paesaggio è di tipo collinare, caratterizzato da una disomogeneità morfologica interna. Le componenti fisico-morfologiche tipiche di questo settore, infatti, sono una collina con forma sommitale arrotondata, solo lievemente ondulata, che, attraverso un fianco con modesto gradiente di pendio, evolve in una vallecola a fondo piatto in destra idraulica della Fiumara di Ruoti (Fig.24), un terrazzo alluvionale anch'esso in destra idraulica, testimone di forme di accumulo della vita del corso d'acqua, ed un versante acclive in sinistra idraulica (Fig.25) che, nonostante la pendenza accentuata, è caratterizzato da una certa regolarità morfologica.



**Figura 24 – Morfologia in destra idraulica della Fiumara di Ruoti**

Il versante in sinistra ha comportamento semilitoide, mentre quello in destra ha comportamento terrigeno. Nell'insieme, quindi, la morfologia è condizionata dal grado di erodibilità dei terreni presenti, quindi dalle loro caratteristiche litologiche.

**L'analisi geomorfica qualitativa dell'area non ha messo in evidenza segni di instabilità.**



**Figura 25 – Versante in sinistra idraulica della Fiumara di Ruoti**

Nonostante nelle aree di sedime del progetto non sono stati riscontrati segni morfologici rilevanti la consultazione degli elaborati cartografici dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale sede Campania ha evidenziato che l'area di sedime della Diga di valle ricade per tutto l'areale di interesse in un'area a "rischio potenziale  $R_{utr5}$ ", regolamentato dall'**ARTICOLO 37 - Disciplina delle aree da approfondire  $R_{utr5}/P_{utr5}$**  delle *Norme di Attuazione del PAI dell'AdB sede Campania* che recita: "1. Nelle aree classificate  $R_{utr5}$  e  $P_{utr5}$ , è consentito qualunque intervento previsto dallo strumento urbanistico comunale o da altra pianificazione sovraordinata..."; mentre la **Diga di monte** si sviluppa per tutto l'areale di interesse in un'area a "rischio potenziale  $R_{utr5}$ ", regolamentato dall'**ARTICOLO 37** delle *Norme di Attuazione del PAI dell'AdB sede Campania*, mentre solo limitatamente per una minima porzione in un'area a "rischio potenziale  $R_{utr1}$ " regolamentato dall' **ARTICOLO 21 - Disciplina delle aree a rischio potenziale da frana moderato  $R_{utr1}$**  che recita: "1. Nelle aree a rischio potenziale da frana moderato  $R_{utr1}$ , oltre agli interventi e le attività consentite nelle aree a rischio potenziale di cui agli artt. 19 e 20, è consentito qualunque intervento previsto dallo strumento urbanistico comunale o da altra pianificazione sovraordinata".

Tuttavia, queste aree non sono da intendersi aprioristicamente limitanti circa la destinazione d'uso, ma impongono, attraverso una campagna d'indagine intensiva e molto particolareggiata, un grado di approfondimento e conseguente sicurezza conoscitiva tale da bilanciare, nelle scelte progettuali, i livelli più alti di esposizione a pericolosità e rischio idrogeologico.

### 10.3 Condotta forzata

La condotta si svilupperà per circa 4.50 Km su un percorso che, partendo dal Lago della Moretta a SE alla quota di circa 1070 m, degrada fino alla quota di circa 475 m, intercettando la Fiumara di Ruoti a NW.

Il percorso d'imposta si attesta prevalentemente su strutture morfologiche tipicamente collinari, con forme sommitali variabili da arrotondate, a pseudo-tabulari debolmente ondulato, a pseudo-creste, a cui corrispondono versanti ad acclività variabile da bassa ad alta. La condotta attraversa, altresì, le aree più depresse di raccordo fra quelle collinari, e fossi di basso ordine gerarchico legati al reticolo idrografico secondario.

Una zona di criticità morfologica rilevata sul del tracciato della condotta è compresa tra la progressiva Prog. +700 m e la Prog.+1300 m (partendo dalla diga di monte) in cui la condotta si sviluppa a "mezza costa" ed intercetta un versante morfologicamente attivo sia in termini di erosione, sia in termini morfoevolutivi (rif. allegato **PD-EP.13**). Tuttavia tale criticità è facilmente superabile utilizzando comuni interventi geotecnici come una semplice paratia di pali.

Circa gli elaborati cartografici dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale sede Campania, la condotta forzata si sviluppa per tutta la sua lunghezza in areali a "rischio potenziale  $R_{utr5}$ ", regolamentato dall'ARTICOLO 37 *Norme di Attuazione del PAI dell'AdB sede Campania*, mentre solo limitatamente per una minima porzione in un'area a "rischio potenziale  $R_{utr1}$ " regolamentato dall' **ARTICOLO 21 - Disciplina delle aree a rischio potenziale da frana moderato  $R_{utr1}$**  che recita: "1. Nelle aree a rischio potenziale da frana moderato  $R_{utr1}$ , oltre agli interventi e le attività consentite nelle aree a rischio potenziale di cui agli artt. 19 e 20, è consentito qualunque intervento previsto dallo strumento urbanistico comunale o da altra pianificazione sovraordinata".

### 10.4 Cavidotto

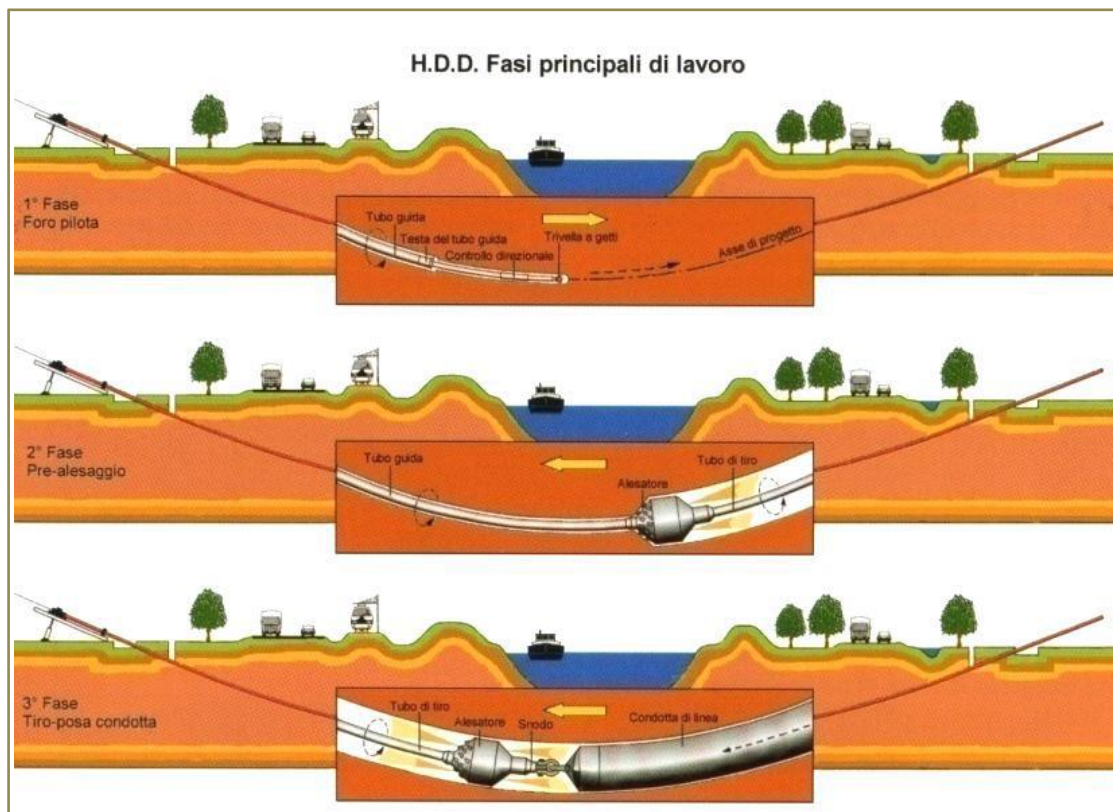
Il tracciato del cavidotto, data la sua lunghezza, si sviluppa su territori a morfologia diversa che, condizionata dalla natura delle unità litologiche attraversate, in corrispondenza di quelle formazioni prevalentemente argillose diventa complessa e dove non mancano evidenze di movimenti gravitativi; inoltre in corrispondenza dei corsi d'acqua, anche di basso ordine gerarchico, si rilevano fenomeni di approfondimento della relativa "curva di fondo". Consultando la cartografia geologica e geomorfologica allegata alla presente relazione, si evince subito come il tracciato sia stato progettato: posizionandolo quanto più

possibile sulla "cresta" dei versanti (stabili per posizione); evitando dove possibile di intercettare aree instabili; ubicandolo sulla viabilità esistente cercando di posizionare il cavo nel settore di monte della strada. In merito a quest'ultimo punto, è da evidenziare che la maggior parte delle strade interessate si sviluppano prevalentemente con sezione a "mezza costa", ovvero con scavo sul lato di monte e riporto in quello di valle. Trattandosi di strade interpoderali o comunali, poco mantenute, il settore di valle, quello in riporto, essendo costituito da materiale scadente (non è da escludere che sia stato abbancato lo stesso materiale scavato a monte) spesso è soggetto a rilassamenti laterali che provoca sul piano viabile vistose linee di trazione, oltre ad avvallamenti anche decimetrici. Il settore di monte, invece, non presenta segni di instabilità essendo stato realizzato in scavo e, quindi, più idoneo ad ospitare qualsiasi opera lineare. Purtroppo in alcuni tratti questa scelta non è applicabile per la presenza di altri sottoservizi che interferirebbero con il cavidotto in progetto. In tali casi, se non sarà possibile realizzare una Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.), meglio spiegata in seguito, potrebbe essere opportuno proteggere il cavo con opere di presidio del tipo berlinesi di pali o micropali, oppure si potrebbe approfondire lo scavo fino a raggiungere sufficientemente il terreno in posto dentro cui posare in sicurezza il cavo stesso, ovvero superando lo strato di materiale di riporto ammalorato e soggetto a rilassamenti laterali.

In almeno due casi il cavidotto intercetta due movimenti franosi attivi, oltre ad una serie di fossi e valloni di basso ordine gerarchico, nonché la Fiumara di Ruoti. Sovrappo-  
nendo il tracciato del cavidotto con la cartografia tematica dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale sede Campania si evince che lo stesso si sviluppa per tutta la sua lunghezza in areali a "*rischio potenziale R\_utr5*", regolamentato dall'ARTICOLO 37 *Norme di Attuazione del PAI dell'AdB sede Campania*, mentre solo limitatamente per una minima porzione in un'area a "*rischio potenziale R\_utr2*" regolamentato dall' **ARTICOLO 20 ARTICOLO 20 - Disciplina delle aree a rischio potenziale da frana elevato Rutr3 e delle aree a rischio potenziale da frana medio Rutr2** che recita: "*1. Nelle aree a rischio potenziale da frana elevato Rutr3, e delle aree a rischio potenziale medio da frana Rutr2 oltre agli interventi e le attività consentite nelle aree a rischio potenziale Rutr4 di cui all'art. 19, in relazione al patrimonio edilizio esistente, è consentito qualunque intervento previsto dallo strumento urbanistico comunale o altra pianificazione sovraordinata*".

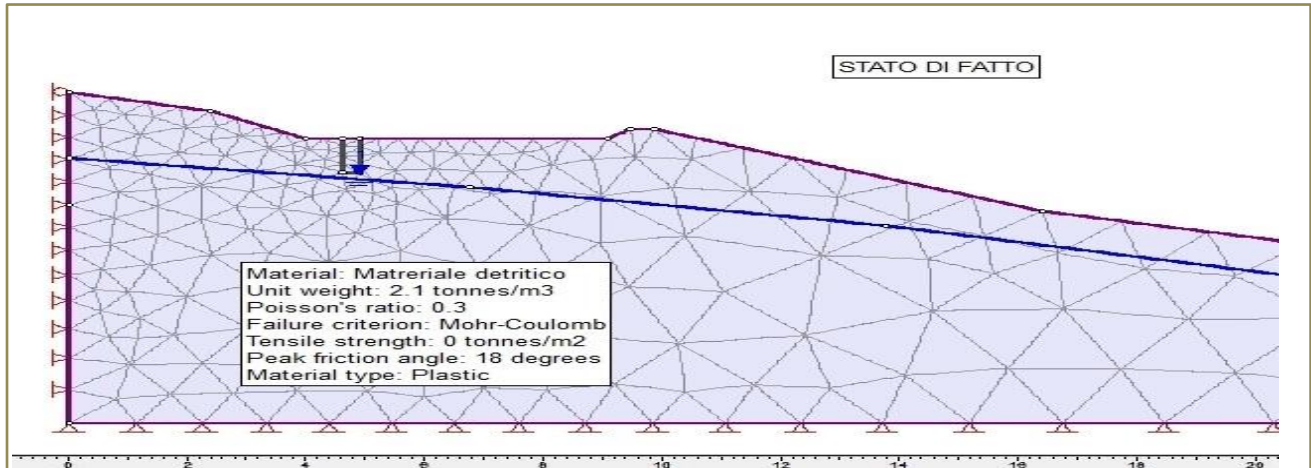
Va comunque detto che la posa del cavidotto, per il quale sarà necessario uno scavo limitato nelle dimensioni e nei volumi di terreno rimossi, non intaccherà i fattori di sicurezza preesistenti delle aree attraversate, né tantomeno il contesto idrogeologico degli areali interessati; in merito, di seguito, si dimostrerà analiticamente come le condizioni tensionali nel terreno, *ante e post operam* del cavidotto, rimarranno pressoché le stesse. Questo risultato è facilmente intuibile per l'estrema superficialità e "lievità" dell'intervento che non interesserà volumi di terreno significativi, in quanto, la profondità e la larghezza di scavo saranno veramente trascurabili. Quindi, la limitatezza e l'inconsistenza dei volumi di terreno coinvolti, unitamente all'indubbia velocità di esecuzione, non potranno in nessun modo compromettere l'equilibrio dei luoghi. Anche le metodologie di scavo che si intenderanno utilizzare, essendo poco o per niente invasive, contribuiranno ancora di più alla realizzazione del cavidotto senza incidere sullo stato tensionale dei terreni attraversati. Comunque, in particolari condizioni morfologiche, ad esempio negli attraversamenti dei corsi d'acqua o in corrispondenza di aree in frana, sarà possibile posare il cavidotto con le Tecniche di attraversamento no-dig: Trivellazione Orizzontale Controllata (T.O.C.). La trivellazione orizzontale controllata, chiamata anche perforazione orizzontale controllata (HDD), o perforazione direzionale teleguidata, è una vantaggiosa alternativa ai tradizionali metodi d'installazione di linee di servizio. Infatti, con tale tecnologia è possibile passare con la perforazione e, dunque, con il cavidotto, in totale sicurezza al di sotto del corso d'acqua o ad una profondità di sicurezza al di sotto di movimenti franosi.

Nella figura sottostante è mostrato uno schema della T.O.C.:



Come già sopra premesso, per la realizzazione del cavidotto, saranno coinvolti volumi di terreno poco significativi, in quanto, la profondità e la larghezza di scavo saranno veramente trascurabili. Infatti, la profondità sarà compresa entro 2.00 m, mentre la larghezza sarà di circa 1.00 m. Pertanto, lo scavo interesserà il primo livello dei terreni di copertura humificati nei tratti in cui si svilupperà in "aperta campagna", mentre su tratti stradali (asfaltati e non) si attesterà immediatamente al disotto della massicciata stradale e, comunque, nei primi decimetri dei materiali di copertura. Quindi, appurato macroscopicamente la stabilità delle aree in cui il cavidotto stesso si sviluppa, in considerazione che da un punto di vista geologico-tecnico, in nessun modo si andrà ad interessare i terreni di substrato che, pertanto, per tale opera vengono trascurati, mentre si dimostrerà analiticamente, anche se è facilmente intuibile, che gli scavi per la realizzazione del cavidotto non andranno a modificare lo stato dei luoghi, sia per quanto concerne le *tensioni nel terreno*, sia, di conseguenza, i *fattori di stabilità e di sicurezza* degli areali attraversati. Seppure le minime variazioni interessino esclusivamente i volumi di terreno strettamente localizzati al contorno dello scavo, non si evince alcuna ripercussione sullo stato *tensio-deformativo* delle aree attraversate. In tal senso, si riporta di seguito una semplice dimostrazione analitica di quanto appena espresso, ad esempio "in termini di tensioni verticali geostatiche ( $\sigma_1$ )", per una situazione abbastanza frequente di posizionamento del cavi-

dotto lungo una strada. A favore di sicurezza si è considerato che il cavo sia posato in terreni detritici a scadenti caratteristiche geotecniche così come di seguito schematizzato:



STAGE 1

La larghezza stradale, l'inclinazione del piano di campagna, ecc. sono da ritenersi indicative e, comunque, di poca importanza per la verifica.

La qualità geotecnica dei terreni sommitali è stata volutamente considerata decisamente scarsa in modo da simulare terreni detritici o di alterazione.

**I valori dei parametri fisico-meccanici assunti non hanno nessuna importanza per la finalità dell'esempio che, invece, vuole evidenziare come non si ha alcuna variazione tensionale, a prescindere dalle caratteristiche litotecniche del terreno attraversato dal cavidotto elettrico.**

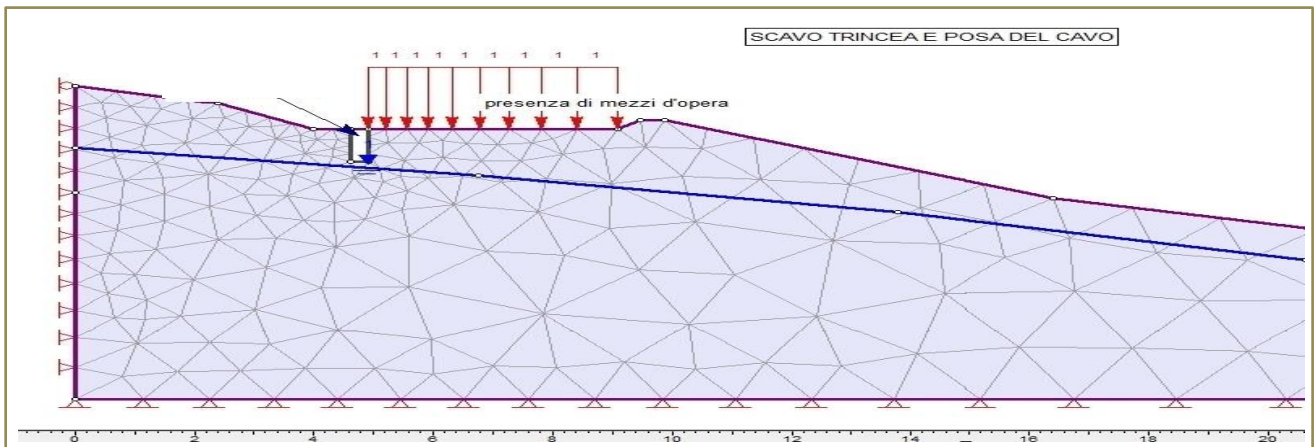
A vantaggio di calcolo è stata prevista anche la falda nello strato detritico o di alterazione.

Tramite un **modello di calcolo F.E.M.** (*Metodo agli elementi finiti*) sono stati previsti n° 3 stages (fasi) ed in particolare :

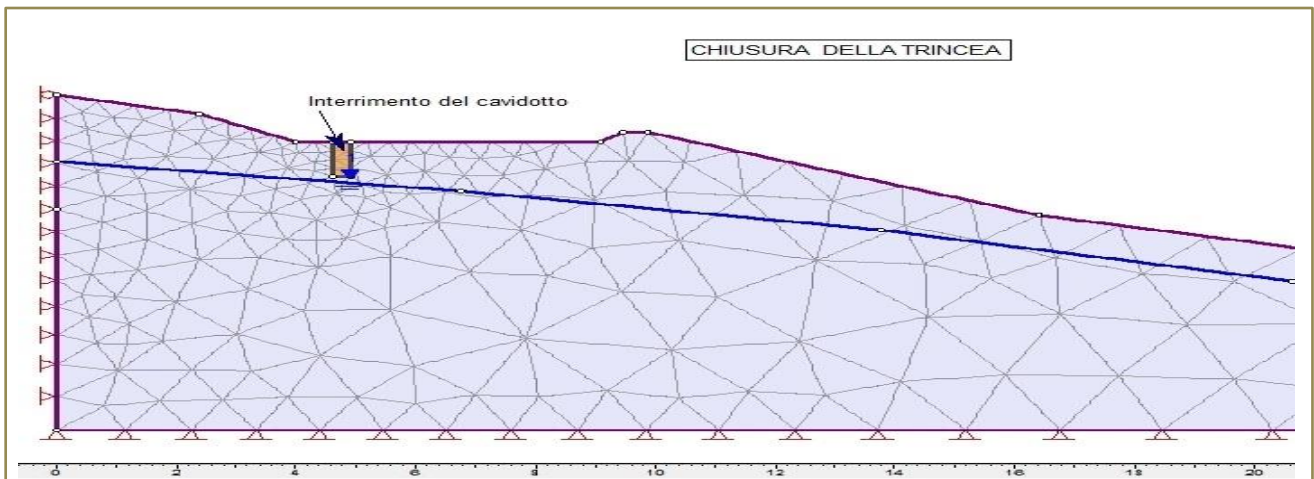
- Stage 1 : Stato di fatto (di riferimento iniziale)
- Stage 2 : fase di scavo e posa del cavidotto
- Stage 3 : rinterro dello scavo.

**Dal momento che le operazioni dello Stage 2 e 3 sono eseguite in un lasso di tempo limitatissimo tra la fase di scavo, posa e quella di rinterro, in questo esempio, non è stato preso in considerazione alcun fenomeno sismico, anche perché**

non necessario agli scopi dimostrativi della quasi inesistente variazione del regime tensionale verticale nei terreni.



STAGE 2



STAGE 3

Le informazioni sui dati e sui risultati principali sono riportate di seguito:

### **Phase2 Analysis Information**

**Document Name**

sezione tipo condotta 1strato rev2.fez

**Project Settings**

**General**

Project Title: sezione su strada condotta  
 Number of Stages: 3  
 Analysis Type: Plane Strain  
 Solver Type: Gaussian Elimination  
 Units: Metric, stress as tonnes/m<sup>2</sup>

**Stress Analysis**



Maximum Number of Iterations: 500

Tolerance: 0.001

Number of Load Steps: Automatic

Groundwater

Method: Piezometric Lines

Pore Fluid Unit Weight: 0.981 tonnes/m<sup>3</sup>

**Field Stress**

Field stress: gravity

Using actual ground surface

Total stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1

Total stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1

Locked-in horizontal stress (in-plane): 0

Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

**Mesh**

Mesh type: graded

Element type: 3 noded triangles

Number of elements on Stato di fatto: 368

Number of nodes on Stato di fatto: 220

Number of elements on Scavo e posa condotta: 368

Number of nodes on Scavo e posa condotta: 220

Number of elements on Chiusura scavo: 368

Number of nodes on Chiusura scavo: 220

**Material Properties**

Material: Materiale detritico

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 2.1 tonnes/m<sup>3</sup>

Elastic type: isotropic

Poisson's ratio: 0.3

Failure criterion: Mohr-Coulomb

Tensile strength: 0 tonnes/m<sup>2</sup>

Peak friction angle: 18 degrees

Peak cohesion: 0 tonnes/m<sup>2</sup>

Material type: Plastic

Dilation Angle: 0 degrees

Residual Friction Angle: 18 degrees

Residual Cohesion: 0 tonnes/m<sup>2</sup>

Piezo to use: 1

Hu Type: Custom

Hu value: 1

Material: riempimento scavo

Initial element loading: body force only

Unit weight: 2.2 tonnes/m<sup>3</sup>

Elastic type: isotropic

Young's modulus: 500 tonnes/m<sup>2</sup>

Poisson's ratio: 0.3

Failure criterion: Mohr-Coulomb

Tensile strength: 0 tonnes/m<sup>2</sup>  
Peak friction angle: 35 degrees  
Peak cohesion: 0 tonnes/m<sup>2</sup>  
Material type: Plastic  
Dilation Angle: 0 degrees  
Residual Friction Angle: 35 degrees  
Residual Cohesion: 0 tonnes/m<sup>2</sup>  
Piezo to use: None  
Ru value: 0

### **Areas of Excavated and Filled Elements**

#### **Scavo e posa condotta**

Material: Materiale detritico, Area Excavated: 0.60 m<sup>2</sup>

#### **Chiusura scavo**

Material: riempimento scavo, Area Filled: 0.60 m<sup>2</sup>

### **Excavation Areas**

Original Un-deformed Areas

Excavation Area: 0.60 m<sup>2</sup>

Excavation Perimeter: 3.80 m

External Boundary Area: 212.027 m<sup>2</sup>

External Boundary Perimeter: 74.116 m

Stato di fatto

Excavation Area: 0.60 m<sup>2</sup> (-5.0119e-005 m<sup>2</sup> change from original area)

Excavation Perimeter: 3.80 m (-0.00448978 m change from original perimeter)

External Boundary Area: 212.280 m<sup>2</sup> (0.252363 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 74.048 m (-0.0675524 m change from original perimeter)

Volume Loss to Excavation: -82.6102 %

Scavo e posa condotta

Excavation Area: 5.118 m<sup>2</sup> (2.81208 m<sup>2</sup> change from original area)

Excavation Perimeter: 11.682 m (8.13233 m change from original perimeter)

External Boundary Area: 213.248 m<sup>2</sup> (1.22127 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 84.044 m (9.92811 m change from original perimeter)

Volume Loss to Excavation: -399.778 %

Chiusura scavo

Excavation Area: 5.117 m<sup>2</sup> (2.81158 m<sup>2</sup> change from original area)

Excavation Perimeter: 11.670 m (8.13315 m change from original perimeter)

External Boundary Area: 213.324 m<sup>2</sup> (1.29639 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 84.050 m (9.93367 m change from original perimeter)

Volume Loss to Excavation: -424.37 %

### **Displacements**

Maximum total displacement for Stato di fatto: 0.110545 m

Maximum total displacement for Scavo e posa condotta: 0.125059 m

Maximum total displacement for Chiusura scavo: 0.126825 m

**Yielded Elements**

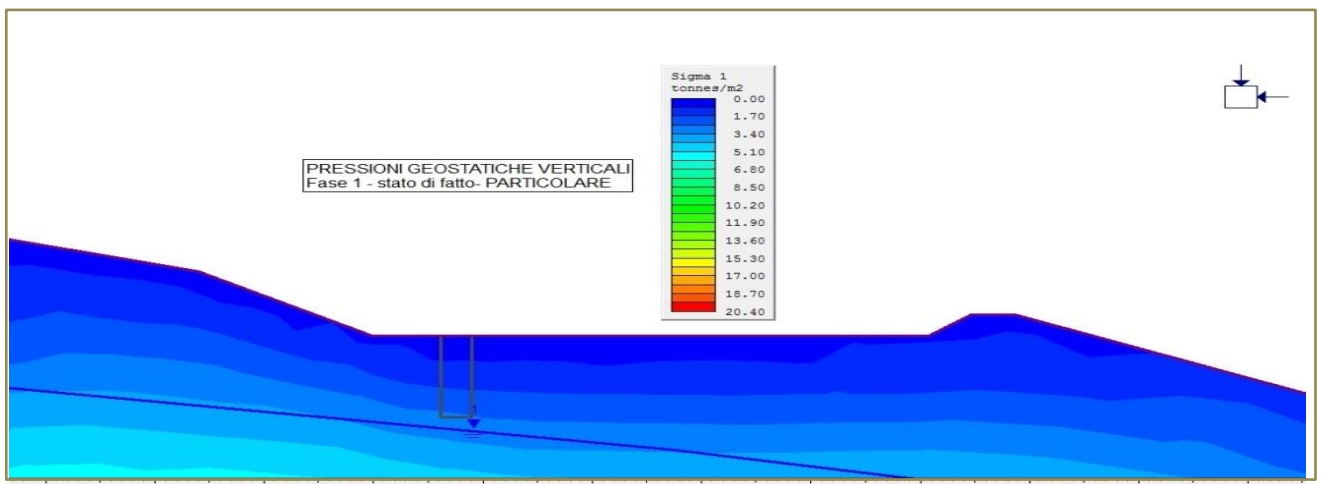
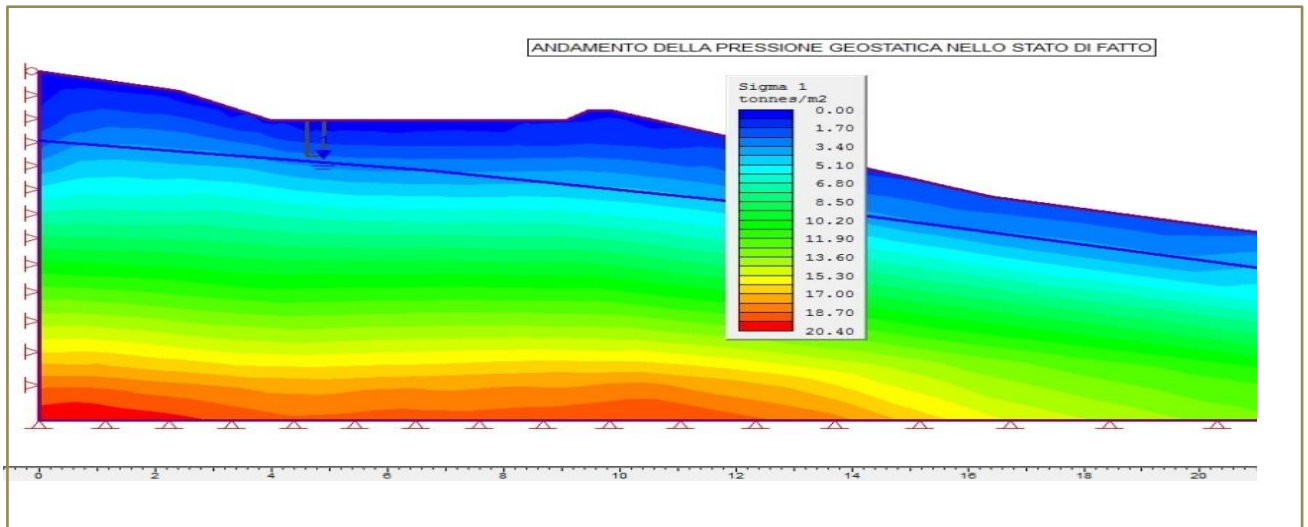
Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements on Stato di fatto: 486

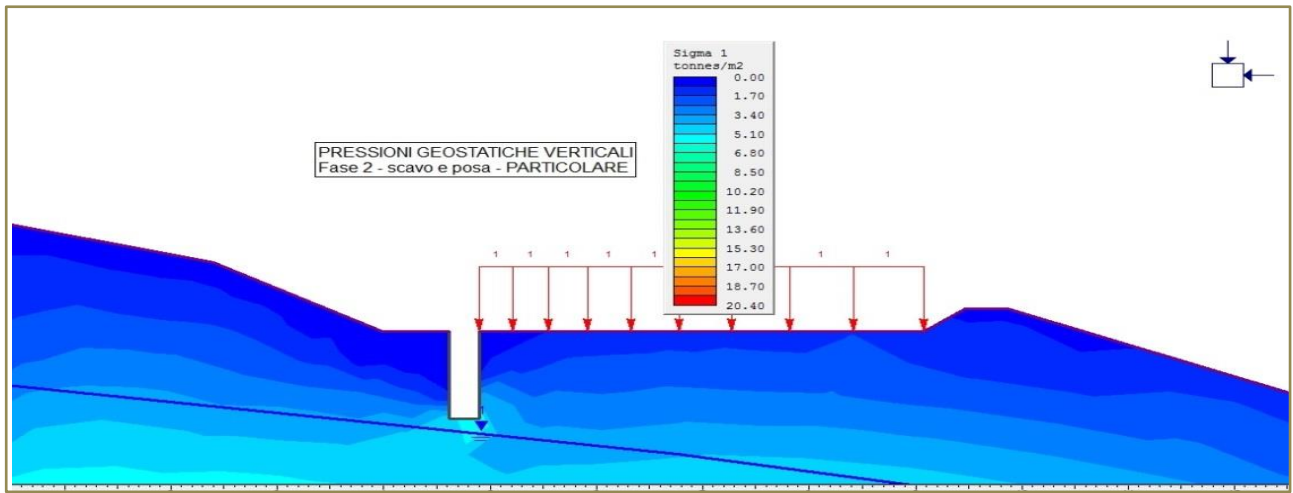
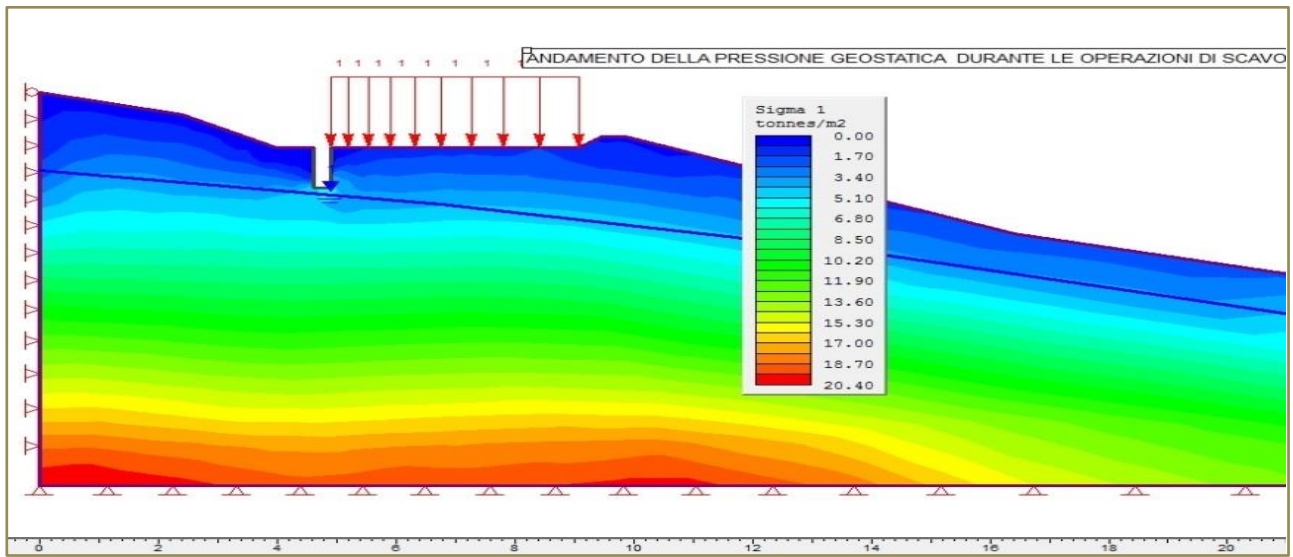
Number of yielded mesh elements on Scavo e posa condotta: 482

Number of yielded mesh elements on Chiusura scavo: 500

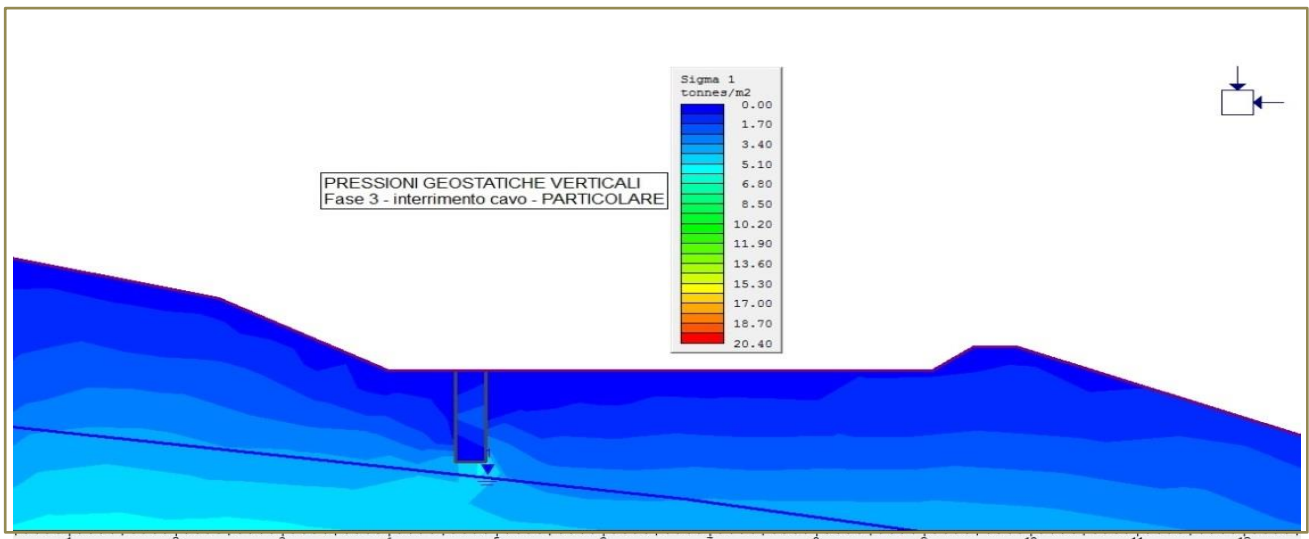
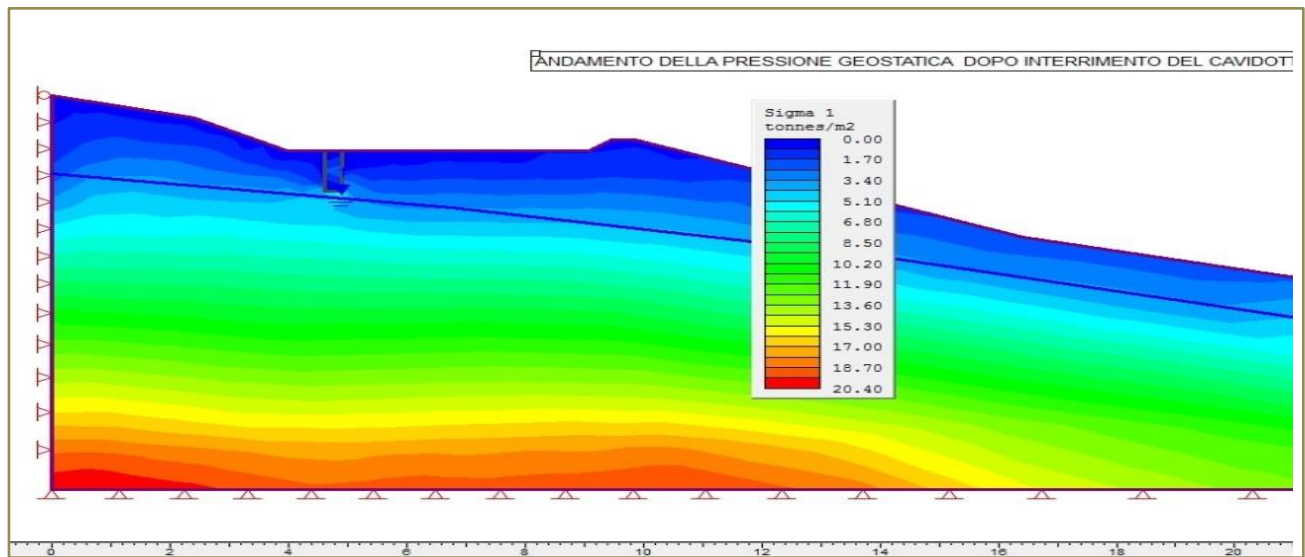
I risultati delle analisi FEM sono compendati dai grafici successivi che non hanno bisogno di commento:



STAGE 1:  $\sigma_1$



STAGE 2:  $\sigma_1$



STAGE 3:  $\sigma_1$

Come si può notare dalle figure dello Stage 1 allo Stage 3, la condizione *tensionale*  $\sigma_1$  è praticamente la stessa (sia nel contesto generale che nel dettaglio). Questo risultato è facilmente intuibile per la limitatezza degli scavi da eseguire che, unitamente all'indubbia velocità di esecuzione (non secondaria quando si opera in terreni di tale natura), non intaccano minimamente i *fattori di sicurezza preesistenti* delle aree attraversate dall'opera a rete. Di conseguenza, è possibile affermare che la realizzazione del cavidotto in nessun modo va ad interferire con l'attuale stato di equilibrio dei luoghi e, quindi, delle cose che ivi ricadono nelle immediate vicinanze. Inoltre, assolutamente è ininfluenza sul grado di *pericolosità e rischio idrogeologico* delle aree di sedime. Anche le metodologie di scavo, come avanti riportato, essendo poco o per niente invasive, contribuiranno ancora di

più alla realizzazione del cavidotto senza incidere sullo stato tensionale dei luoghi. In merito, l'ottimizzazione del progetto ha tenuto conto della grande valenza ambientale, evitando, in tal senso, di operare scavi di sbancamento e di minimizzare quelli delle trincee in cui posare il cavidotto.

I materiali utilizzati per i rinterri saranno scelti in funzione dei luoghi o delle strade attraversate, ovvero per gli scavi eseguiti in aperta campagna sarà riutilizzato, previo allettamento del cavo, il terreno di scavo stesso idoneamente compattato in modo tale da ripristinare i luoghi nelle stesse condizioni ambientali ante operam; sulle strade asfaltate o sterrate, il rinterro sarà eseguito con idoneo materiale arido posto in opera a perfetta regola d'arte al fine di ripristinare il piano viabile nelle condizioni iniziali. Chiaramente i fisiologici assestamenti che si potrebbero verificare, saranno ripristinati tempestivamente in modo da garantire la fruibilità della circolazione veicolare in sicurezza.

## 10.5 Elettrodotta

Tale opera fino dal traliccio n°55 al n°45 si sviluppa all'interno del territorio di competenza dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale sede Campania, mentre dal traliccio n°44 fino al n°1 in quella della Basilicata. Dunque tutti i tralicci compresi tra il n°55 ed il n°45, ricadono all'interno di areali a "rischio potenziale R\_utr5", regolamentato dall'**ARTICOLO 37 - Disciplina delle aree da approfondire R\_utr5/P\_utr5** delle *Norme di Attuazione del PAI dell'AdB sede Campania* che recita: "1. Nelle aree classificate R\_utr5 e P\_utr5, è consentito qualunque intervento previsto dallo strumento urbanistico comunale o da altra pianificazione sovraordinata...".

I tralicci n°44 e 43 lambiscono, pur essendo ubicati al difuori, degli *Areali a rischio idrogeologico elevato ed a pericolosità elevata (R3)*, mentre il traliccio n°36 ricade proprio all'interno. I tralicci n°9 e 15 ricadono in un'*Aree a rischio idrogeologico moderato ed a pericolosità moderata (R1)*. Il traliccio n° 4 è ubicato un un'*un'Area a rischio idrogeologico medio ed a pericolosità media (R2)*, mentre il n°4 ricade in un'area ASV (**Area assoggettata a verifica idrogeologica**). Trattandosi di un'opera di interesse pubblico, secondo le Norme di Attuazione del PAI del AdB Basilicata sono normate dall'Art. 22 **Realizzazione di opere di interesse pubblico interessanti le aree di versante** che recita: "1. E' consentita, previo parere dell'AdB, la realizzazione di opere di interesse pubblico interessanti le aree di versante di cui agli articoli 16, 17, 18, 20 e 21, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non concorrano ad incrementare il carico

*insediativo, non aggravino le condizioni di sicurezza e non costituiscano elemento pregiudizievole all'attenuazione della pericolosità esistente.*

*2. La realizzazione di infrastrutture o impianti lineari o a rete quali ad esempio quelli idrici, fognari, del gas, elettrici, tecnologici, nel caso in cui sia prevista all'interno dell'area di sedime di strade pubbliche o private, è consentita previa trasmissione all'Autorità di Bacino e agli Uffici Regionali chiamati a rilasciare pareri/autorizzazioni di competenza, di uno studio di compatibilità idrogeologica, asseverato dal progettista, che attesti che 'intervento sia nella fase di cantiere sia nella fase di esercizio non determina in alcun modo incrementi delle condizioni di pericolosità idrogeologica né può determinare alcun pregiudizio alla realizzazione di interventi di rimozione e/o riduzione delle condizioni di pericolosità preesistenti".*

Il rilievo geomorfologico condotto dallo scrivente non è concorde con le criticità riportate dalle suddette Autorità di Bacino, in quanto è stato rilevato e cartografato nell'allegato PD-EP.14 che i tralicci n° 55, 54, e 52 ricadono all'interno di due grossi movimenti franosi attivi aventi spessori compresi entro 10.00 m. Il traliccio n°44 ricade in in prossimità di una scarpata di sponda in forte retrogressione laterale che evolve con il suo continuo franamento. Anche il n°37 e 36 ricadono in un grosso movimento franoso attivo, come anche il traliccio n°28. Trattandosi di opere puntuali, al fine di garantire la loro stabilità a medio-lungo termine, per la loro realizzazione sarà necessario utilizzare per tutti fondazioni profonde, costituite ad esempio da plinti su pali collegati da un cordolo, finalizzate a garantire la stabilità struttura terreno. Ad esclusione del traliccio n°44, ricadendo gli altri sostegni all'interno di corpi franosi in lenta evoluzione, ma pur sempre in movimento, i relativi pali di fondazione saranno sottoposti eccessivamente alle azioni di taglio indotte dal movimento del corpo franoso, poiché attraverseranno per prima il detrito di frana in movimento per tutto il suo spessore, per poi attestarsi idoneamente nel substrato litologico (terreno in posto). Al fine di minimizzare tali azioni di taglio sarà necessario prevedere una *paratia frangi frana* costituita da pali di medio-grosso diametro, idoneamente ammortata nei litotipi di substrato da realizzarsi con geometria ad arco ed immediatamente a monte delle strutture fondali del traliccio. In questo modo queste ultime saranno svincolate dalla morfoevoluzione della frana di cui le azioni di taglio saranno assorbite dalla paratia.

**In conclusione, si sottolinea che nel rilevamento superficiale condotto non sono emerse criticità geomorfologiche che precludano la fattibilità del progetto, infat-**



**ti alla luce di quanto fin qui relazionato risulta chiaro che quelle aree morfologicamente critiche interessate dalle opere in progetto, non sono assolutamente da intendersi aprioristicamente limitanti circa la destinazione d'uso.**

Potenza, li 12/122022

IL GEOLOGO  
Dott. Geol. Antonio De Carlo

II COLLABORATORE  
Dott. Geol. Bartolo Romaniello