



HGT Design & Execution



GRE CODE

GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.040.00

TITLE:

AVAILABLE LANGUAGE: IT

Impianto idroelettrico di PIZZONE II

Progetto Definitivo per Autorizzazione

RELAZIONE GEOTECNICA GENERALE

FILE NAME: GRE.EEC.R.14.IT.H.16071.00.040.00.docx

ORDINE APPARTENENZA				Ingegnere	
PROVINCIA/REGIONE				Verona	
NUM. MATRICOLA				1542	
00	29-11-22	REVISIONE	G. Dankert	G. Panni	G. Sembenelli
REV.	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED

GRE VALIDATION

		F. Torasso
COLLABORATORS	VERIFIED BY	VALIDATED BY

PROJECT PLANT	GRE CODE																		
	GROUP	FUNCTION	TYPE	ISSUER	COUNTRY	TEC.	PLANT			SYSTEM	PROGRESSIVE	REVISION							
	GRE	EEC	R	1	4	I	T	H	1	6	0	7	1	0	0	0	4	0	0

CLASSIFICATION: **PUBLIC**

UTILIZATION SCOPE: **PROGETTO DEFINITIVO PER AUTORIZZAZIONE**

INDEX

1. INTRODUZIONE	4
2. ELEMENTI BASE DEL PROGETTO	5
2.1. Descrizione delle opere	5
2.1. Informazione disponibile	5
2.1.1. Documentazione relativa agli impianti esistenti.....	6
2.1.2. Documentazione generale.....	6
2.2. Quadro delle indagini condotte nell'ambito del presente studio.....	6
2.3. RILIEVO GEOLOGICO-TECNICO. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' DI CAMPO.....	9
2.3.1. DATI E PARAMETRI RACCOLTI.....	9
3. RICHIAMO SULLA MORFOLOGIA E GEOLOGIA DELL'AREA.....	10
3.1. Morfologia	10
3.2. Geologia	10
3.3. Elementi di geologia strutturale.....	13
3.3.1. Principali lineamenti.....	13
3.3.2. Faglie e discontinuità principali.....	13
3.3.3. FRATTURE	14
3.3.4. giunti e stratificazione	16
3.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI.....	20
4. STRATIGRAFIA E PROFILO GEOTECNICO DELLA FONDAZIONE DELLE OPERE E LUNGO IL TRACCIATO	22
4.1. Dighe di Montagna Spaccata.....	22
4.1.1. quadro d'insieme	22
4.1.2. LITOLOGIE ESISTENTI E CAMBI DI LITOLOGIA.....	22
4.2. Opere in sotterraneo	23
4.2.1. quadro d'insieme	23
4.2.2. LITOLOGIE ESISTENTI E CAMBI DI LITOLOGIA.....	26
4.2.3. pROFILO.....	27
4.3. CENTRALE DI PIZZONE ESISTENTE	28
4.3.1. quadro d'insieme	28
4.3.2. LITOLOGIE ESISTENTI E CAMBI DI LITOLOGIA.....	28
4.4. DigA di castel san vincenzo	28
4.4.1. quadro d'insieme	28
4.4.2. LITOLOGIE ESISTENTI E CAMBI DI LITOLOGIA.....	28
5. FALDE E ACQUE PROFONDE	30
5.1. Dighe di Montagna Spaccata.....	30
5.2. Opere in sotterraneo	30
5.3. Diga di Castel San Vincenzo	30
6. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLA FONDAZIONE DELLE DIGHE DI MONTAGNA SPACCATA ..	32
6.1. Profilo.....	32
7. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI MATERIALI LUNGO L'ASSE DEL TRACCIATO	34
7.1. Tratto adiacente al IAGO DI MONTAGNA SPACCATA.....	34
7.1.1. FLYSCH	34
<i>Flysch fittamente Stratificati (RG19) relativamente indisturbati e alterati/tettonizzati</i>	34
7.2. Tratto centrale.....	36

7.2.1.	calcari e calcareniti intatti	36
7.2.2.	FACIES CALCAREE CATACLASTICA (TETTONIZZATA)	36
7.3.	TRATTO DI VALLE	38
7.3.1.	FLYSCH	38
	<i>Flysch a bancate</i>	39
	<i>Flysch alterati o tettonizzati</i>	39
7.4.	ZONA DELLA NUOVA CENTRALE.....	40
7.5.	Imbocco gallerie di accesso alla torre piezometrica di monte	40
8.	CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLA FONDAZIONE DELLA DIGA DI CASTEL SAN VINCENZO...	41
8.1.	Indagini	41
8.2.	Contronucleo di Valle	41
8.3.	Nucleo	42
8.4.	Fondazione Superficiale	43
8.5.	Fondazione Profonda	44
9.	INQUADRAMENTO SISMICO	45
9.1.	Aspetti generali.....	45
9.2.	Inquadramento sismico dell'area	45
9.3.	Zonazione Sismogenetica	46
9.4.	Sismicit� storica e pericolosit� sismica del territorio Comunale.....	47
10.	INDAGINI INTEGRATIVE.....	49
10.1.	Estensione	49
10.2.	Indagini Geotecniche	49
10.3.	Integrazione geomeccanica mediante rilievi e fotogrammetria	49
10.4.	Strumentazione e monitoraggio	49
10.5.	Indagini di laboratorio.....	50
10.6.	Studio sismico dell'area.....	50

1. INTRODUZIONE

Enel è proprietaria e gestore del Sistema Idroelettrico di Montagna Spaccata che consiste in una serie di invasi in cascata che alimentano altrettante centrali. Nel tratto di monte di questo sistema esiste oggi l'invaso di Montagna Spaccata, che alimenta la centrale di Pizzone e l'Invaso di Castel San Vincenzo, che riceve le acque dalla Centrale di Pizzone e alimenta quella di Rocchetta.

Nell'ambito delle strategie di investimento per ampliare la produzione di energia rinnovabile Enel sta considerando la possibilità di intervenire sul Sistema esistente per migliorarne l'efficienza o incrementarne la potenza installata.

Stantec S.p.A. (di seguito "**Stantec**"), in qualità di Consulente Tecnico, è stata incaricata da Enel Green Power S.p.A. (di seguito "**EGP**") di produrre il Progetto Definitivo per Autorizzazione per individuare lo schema che sfrutti al meglio le potenzialità dell'impianto esistente nel tratto compreso tra i due invasi di Montagna Spaccata e Castel San Vincenzo.

Nell'ambito della presente progettazione, finalizzata all'ottenimento delle approvazioni a procedere, Stantec ha indagato gli aspetti geotecnici che concernono non solo l'area interessata dalle nuove opere ma anche l'area dell'impianto esistente, con particolare riferimento al Lago di Montagna Spaccata, a monte, all'area del Lago di Castel San Vincenzo, a valle, e il tratto che collega i due laghi.

Il presente documento presenta e discute la caratterizzazione geotecnica dell'area ai fini della realizzazione del nuovo impianto. Le indicazioni qui presentate saranno poi finalizzate all'interno di ciascun calcolo e ciascuna analisi sviluppati nel seguito.

Gli aspetti geomorfologici, geologici e idrogeologici più significativi ai fini della autorizzazione degli interventi sono presentati nella Relazione Geologica, cui si fa riferimento per quanto riguarda l'inquadramento generale.

Le valutazioni riportate nel presente documento sono state eseguite sulla base della documentazione esistente e su attività di campo, con ispezioni e rilievi geologico - tecnico e geomeccanici, condotti nelle aree in studio tra il 2021 e il 2022, con approfondimento particolare tra maggio e giugno 2022.

2. ELEMENTI BASE DEL PROGETTO

2.1. DESCRIZIONE DELLE OPERE

Le opere del nuovo impianto consistono nella creazione di una via d'acqua e la centrale idroelettrica sotterranea tra il Lago di Montagna Spaccata alla quota 1068 m slm e quello di Castel San Vincenzo alla 697 m slm.

La via d'acqua si sviluppa per metà percorso poco sopra la quota 1000 m slm (Galleria di carico, superiore, o di monte) e per metà a valle della centrale, tra le quote 630 e 670 m slm (Galleria di Valle). Lo sviluppo complessivo dei 2 tratti è poco meno di 10 km. La condotta forzata è costituita da un pozzo verticale di circa 360 m di lunghezza.

Sono previsti un pozzo paratoie di controllo a monte, uno a valle e 2 pozzi piezometrici, di monte, alla fine della galleria di carico, prima della condotta forzata, e di valle, appena a valle della centrale.

La centrale è formata da una caverna grande dove verranno alloggiare le macchine e una camera piccola per i trasformatori. Le due camere saranno collegate da 3 gallerie di servizio. La camera grande ha sezione 20 m di larghezza per circa 30 di altezza media, che approfondisce in corrispondenza dei vani di alloggiamento delle macchine fino a un totale di 48 m, con uno sviluppo longitudinale di circa 100 m. La camera piccola ha larghezza 15 m e altezza 19 m, con uno sviluppo di 68 m. Le tre gallerie di collegamento hanno sezione 8 di larghezza per 8.70 m di altezza.

Attorno alla Centrale corre una galleria di servizio e emergenza di dimensioni relativamente piccole.

L'accesso alle opere in sotterraneo per l'esecuzione dei lavori e successivamente per l'esercizio e sicurezza avviene lungo gallerie disposte per servire 4 punti di accesso, come segue:

- 1) Galleria di monte di servizio allo scavo del pozzo paratoie e tratto di galleria a monte del pozzo paratoie e scavo del tratto di monte della galleria di carico. Lunghezza circa 1529 m
- 2) Gallerie di accesso e servizio al pozzo piezometrico di monte e alla galleria di carico da valle a monte del pozzo piezometrico. Lunghezza 1631 m+488 m e 880 m, per un totale di ca. 3000 m. Prima dell'imbocco si realizza una pista di accesso.
- 3) Gallerie di accesso e servizio per la centrale e tratto di monte della galleria di valle e per il pozzo piezometrico di valle. Lunghezza $1485 + 234 + 180 + 383 + 112 = 2400$ m. Gli imbocchi delle 2 gallerie di servizio che cadono ai lati della centrale esistente di Pizzone richiedono la realizzazione di un ampio piazzale con significativi movimenti di materiale e sostegni, che alloggerà alla fine anche la sottostazione.
- 4) Galleria di accesso per il tratto di valle della galleria di valle. Lunghezza 119 m. Prima dell'imbocco si realizza una pista di accesso.

2.1. INFORMAZIONE DISPONIBILE

Le valutazioni riportate nel presente documento sono state eseguite sulla base della documentazione esistente e su attività di campo, con ispezioni e rilievi geologico - tecnico e geomeccanici, condotti nelle aree in studio tra il 2021 e il 2022, con approfondimento particolare tra maggio e giugno 2022.

Per mezzo di tali rilievi è stato possibile accrescere le conoscenze dei rapporti geologici e strutturali tra le litologie affioranti in sito, oltre che a raccogliere un discreto numero di dati relativamente alle resistenze dei materiali litoidi e alle giaciture dei piani di stratificazione e dei principali piani di fratture caratterizzanti gli affioranti studiati.

I dati geotecnici e geomeccanici riportati in relazione, sono stati acquisiti in area di tracciato per quanto riguarda la caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi, mentre le caratteristiche geotecniche delle coperture quaternarie Flyschoidi sono state desunte da bibliografia.

Documentazione più completa è stata esaminata con riferimento alle dighe esistenti e in

corrispondenza della Centrale di Pizzone. La informazione sulle dighe esistenti comprende inoltre i dati di monitoraggio raccolti a partire dai primi anni di esercizio.

2.1.1. DOCUMENTAZIONE RELATIVA AGLI IMPIANTI ESISTENTI

La documentazione relativa agli impianti esistenti comprende:

- Scheda ANIDEL dell'invaso di Montagna Spaccata
- Atti di Collaudo dell'invaso di Montagna Spaccata inclusa documentazione geotecnica sulle fondazioni delle dighe
- Dati di monitoraggio delle dighe di Montagna Spaccata
- Scheda ANIDEL dell'invaso di Castel SanVincenzo
- Atti di Collaudo dell'invaso di Castel SanVincenzo inclusa documentazione geotecnica sulla fondazione della diga
- Dati di monitoraggio della diga di Castel San Vincenzo
- Relazione su Rischio Sismico dell'invaso di Montagna Spaccata e studi associati
- Relazione su Rischio Sismico dell'invaso di Castel San Vincenzo e studi associati

2.1.2. DOCUMENTAZIONE GENERALE

Per la elaborazione della presente relazione sono stati consultati i seguenti documenti (in parte disponibili in Allegato 1):

- "Interventi di adeguamento e potenziamento del depuratore a servizio dei comuni di barrea e villetta barrea – Relazione Geologica; Comune di Barrea, marzo 2018"
- "Analisi di caduta blocchi nell'area di Pizzone (IS) in relazione all'assetto geologico-strutturale; G. Bianchi-Fasani, V. Chiessi, A. Di Ludovico, C. Esposito, G. Scarascia-Mugnozza; Società Geologica Italiana, Gennaio 2006"
- Piano regolatore generale Comune di Barrea
- Piano regolatore generale Comune di Alfedena
- Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100 000; Foglio 153 "Agnone" e 161 "Isernia"

2.2. QUADRO DELLE INDAGINI CONDOTTE NELL'AMBITO DEL PRESENTE STUDIO

A fine maggio 2022 è stata condotta una campagna di rilievo geologico tecnico nelle aree interessate dalle opere in progetto, allo scopo di:

- osservare sul campo lo stato dei luoghi dal punto di vista delle morfologie, delle coperture vegetazionali, delle emergenze idriche e delle condizioni di stabilità e dissesto dei versanti
- studiare i rapporti stratigrafici delle litologie affioranti, seguirne lo sviluppo laterale e l'effettiva estensione areale
- osservare e caratterizzare per mezzo di specifici test e rilievi le componenti strutturali e geomeccaniche delle rocce

Nella seguente Figura 6-1 e Figura 2-2, sono riportati i punti di rilievo in cui è stata effettuata la caratterizzazione degli ammassi rocciosi. I punti sono stati scelti in modo da poter essere direttamente o indirettamente riferiti alle caratteristiche della roccia lungo il tracciato.

Il dettaglio dei dati raccolti e delle osservazioni effettuate è riportato nella relazione Geologica.

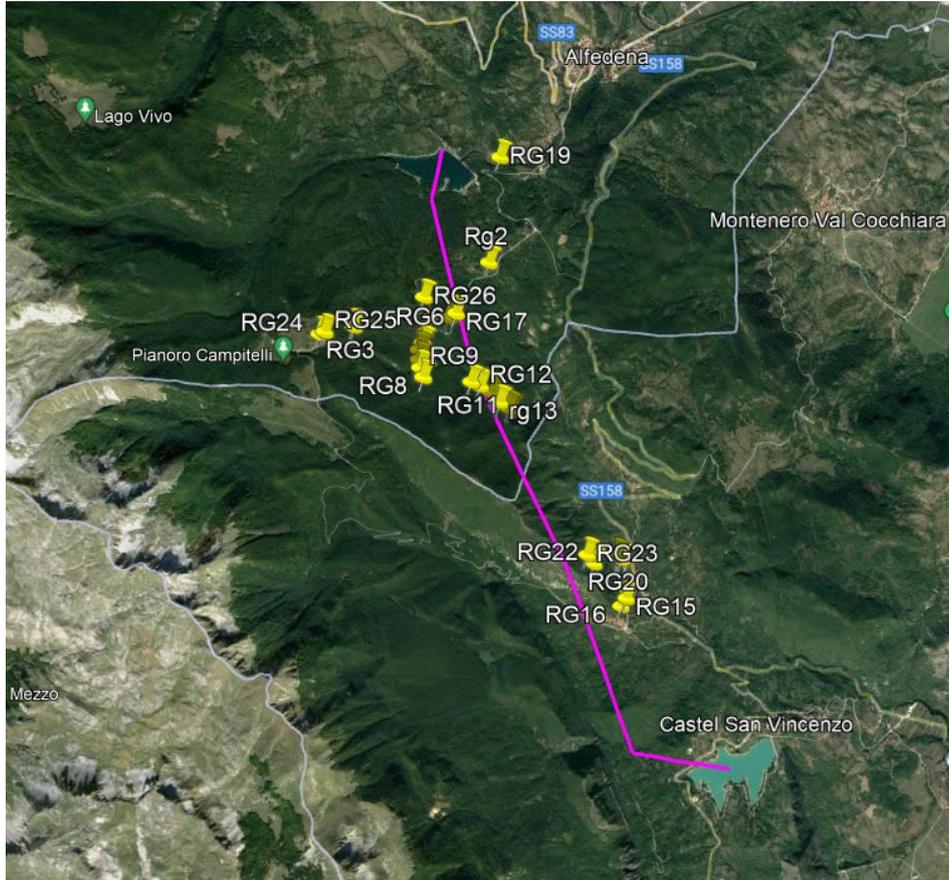


Figura 2-1: ubicazione dei punti di rilievo geomeccanico eseguiti; in viola è riportato il tracciato approssimativo della galleria in progetto

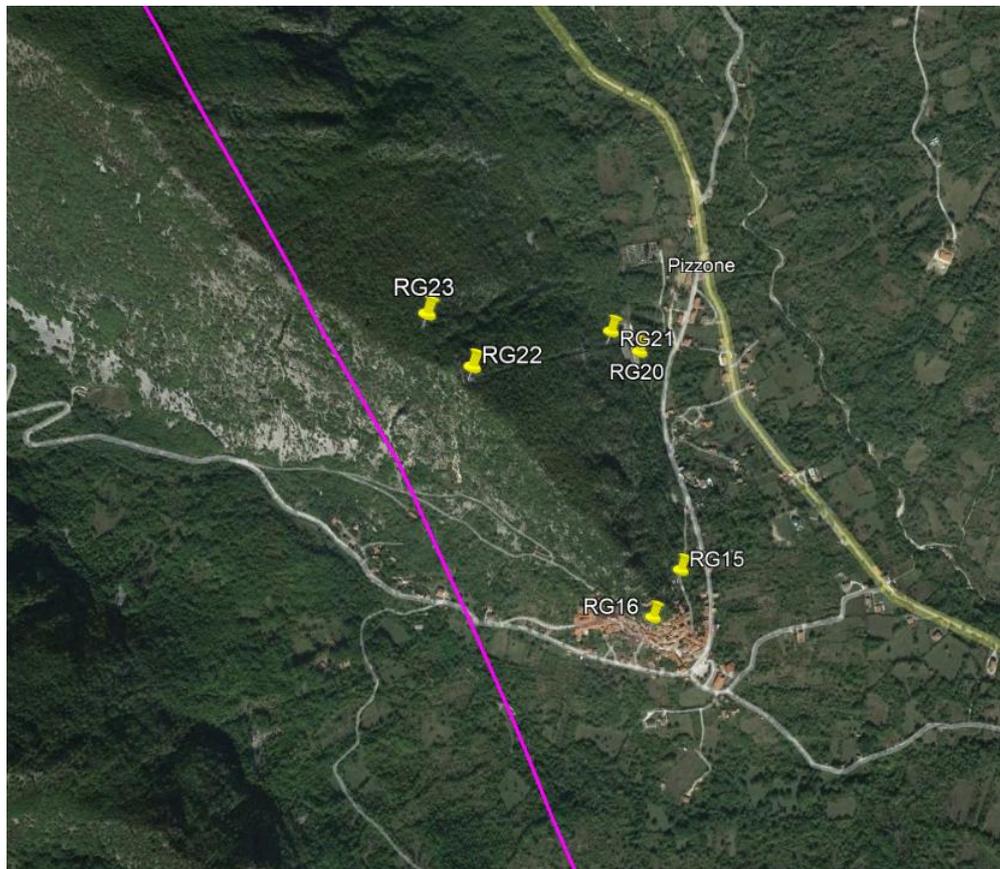
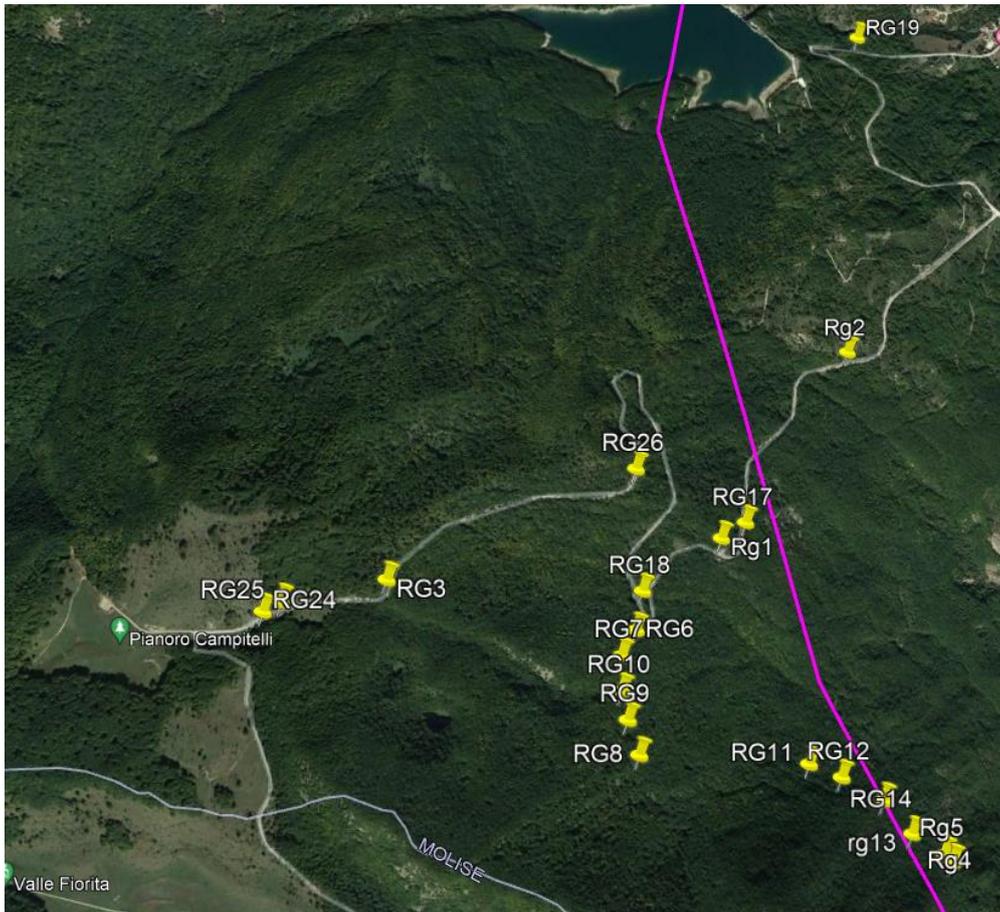


Figura 2-2: dettaglio a maggiore scala dell'ubicazione dei punti di rilievo

2.3. RILIEVO GEOLOGICO-TECNICO. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' DI CAMPO

2.3.1. DATI E PARAMETRI RACCOLTI

I rilievi geomeccanici condotti sugli affioramenti rocciosi hanno consentito la raccolta dei seguenti dati:

- Descrizione delle rocce esposte
- misurazione della giacitura (inclinazione e immersione) dei principali piani di discontinuità individuati zona per zona
- quantificazione della resistenza a compressione della roccia lapidea e dei giunti per mezzo di esecuzione di test con sclerometro
- misurazione della rugosità e asperità dei giunti che influenzano la resistenza al taglio lungo discontinuità
- caratterizzazione globale dal punto di vista della resistenza e del grado di frattura degli ammassi rocciosi per mezzo di classificazione GSI (categoria rocce carbonatiche) ed RMR (a seguito di elaborazione dati RGM)
- rilievi morfologici con drone in aree circoscritte, al fine di poter plottare, in fase di elaborazione, i piani delle superficie ed elementi geologici rilevati su aerofotogrammetrie e DEM 3D.

La raccolta dei dati elencati è stata possibile attraverso:

- Ispezioni dirette di fronti rocciosi visibili nelle adiacenze del tracciato e in corrispondenza delle dighe. Queste osservazioni hanno riguardato principalmente il calcare, mentre il flysch risulta in genere coperto da una coltre di alterazione e quindi, salvo rare eccezioni, non visibile.
- Misure e determinazioni con metodi speditivi delle caratteristiche delle rocce esposte
- Ispezione della finestra di servizio della condotta forzata esistente. Tale finestra penetra all'interno della roccia, consentendo la sua visione in uno stato praticamente indisturbato o comunque più confinato che in superficie.

3. RICHIAMO SULLA MORFOLOGIA E GEOLOGIA DELL'AREA

3.1. MORFOLOGIA

L'area in cui sorgono gli invasi di Montagna Spaccata e Castel San Vincenzo e la Centrale di Pizzone è ubicata nell'Appennino Abruzzese-Molisano, tra i Comuni di Castel SanVincenzo e Pizzone in Provincia di Isernia e Alfedena, in Provincia dell'Aquila.

L'area è caratterizzato da una morfologia distensiva con tendenza apparente verso Sud-Est, essendo presenti alcuni gradoni calcarei con asse Nord-Sud, al limite occidentale.

Il lago di Montagna Spaccata, a Nord e forse con meno segni di morfologia distensiva, è caratterizzato da sponde mediamente pendenti a Sud e più acclivi a Nord. La ritenuta avviene sul lato Est, che si affaccia verso Alfedena, con tre dighe, di cui la prima in calcestruzzo ad arco chiude una profonda forra, mentre le altre completano la quota coronamento con altezza modesta.

Tra il Lago di monte e quello di valle, si trova un crinale calcareo, interrotto a circa 1.5 km dal lago di Montagna Spaccata, per la presenza di una profonda incisione il cui fondo pende verso Est-SudEst. A sud dell'incisione i fianchi della montagna assumono una pendenza importante, con diffusi fenomeni di instabilità per blocchi, specie sul versante Ovest.

Questo rilievo si spegne in corrispondenza dell'abitato di Pizzone, dove si apre un'ampio avvallamento con direzione Sud-Est. In corrispondenza dell'asse di drenaggio, le pendenze sono più acclivi.

Oltre l'avvallamento, il pendio risale a formare un bacino sospeso in cui è stato creato il Lago Artificiale di Castel San Vincenzo. Il lago è chiuso verso Est dalla Diga di San Vincenzo, in terra a nucleo centrale.

3.2. GEOLOGIA

L'Appennino Abruzzese-Molisano nel suo complesso presenta come tratto strutturale significativo il fatto che le unità geologico-strutturali sono giustapposte in un sistema di scaglie tettoniche accavallatesi nel corso dell'orogenesi neogenica sull'avampaese indeformato. Tale evoluzione è avvenuta secondo geometrie di tipo *duplex* e determinando un assetto attuale che mostra notevoli variabilità litologiche e tettoniche.

A livello locale, la geologia è illustrata nella mappa di Figura 3-1. Le formazioni più significative sono:

- **Formazione M. Mattone:** Calcari micritici (C2-G11)
- **Flish di Castelnuovo:** Arenarie micacee alternate ad argille siltose e calcari marnosi. (M5-4 / Ma5-4)
- **Formazione di Pizzone:** Calcari organogeni (M3-2), che include-Calcarei debolmente marnosi (M1-E3)

La complessità dell'assetto strutturale è sicuramente legata, oltre che ai differenti cinematismi delle varie unità, ad alcune antiche linee tettoniche sulle quali si sono impostati i *thrust* neogenici.

Un ruolo di fondamentale importanza è stato svolto dalla tettonica trascorrente del Pliocene superiore, a prevalente direzione WSW-ENE e N-S, che si è imposta sui precedenti lineamenti compressivi.

L'ultima fase tettonica è rappresentata dalla distensione quaternaria che, unitamente alle fluttuazioni climatiche quaternarie, ha determinato l'attuale assetto morfostrutturale.

I caratteri morfologici dell'area, sembrano dettati dall'intensa attività tettonica che ha interessato l'area, a seguito della quale, le sequenze calcareo-cristalline competenti connotano l'area con pendici ad acclività sensibile (di rado inferiore ai 15°) e marcano il territorio con linee aspre e dai caratteri geometrici netti e ben definiti, rispetto a tutto il settore di fondovalle.

Meno marcata è l'azione degli agenti esogeni, visto che i tipi litologici attraversati presentano una rilevante resistenza all'erosione.

I processi di disfacimento chimico-fisico e meccanico della parete lapidea hanno comunque portato all'accumulo di coltri detritiche, sia prettamente rocciose alla base del crinale

carbonatico, che rocciose e terrose nelle aree non solo di fondovalle.

Nei settori con dominio delle sequenze sedimentarie alto-mioceniche, per lo più pelitico-arenacee, si riscontra una sensibile generale diminuzione delle acclività delle pendici, morfologie caratterizzate da lineamenti dolci ed "arrotondati", maggior omogeneità di paesaggio con montonature ed avvallamenti.

In sintesi, i processi morfodinamici che interessano le sequenze sedimentarie in affioramento agiscono in funzione della competenza dei sedimenti in posto, rinvenendosi esclusivamente fenomeni di crollo e/o ribaltamento di poliedrici blocchi rocciosi eterometrici interessanti i rilievi calcareo-cristallini e prevalenza di fenomeni deformativo-gravitativi di tipo viscoso-plastico diffusamente sparsi e concentrati negli spessori più superficiali delle facies a litologia flyschoidale.

Per quanto attiene la stabilità morfologica dell'area, possiamo riferire che, in prossimità delle aree interessate dagli interventi, sono censiti dissesti gravitativi in atto nella forma di movimenti più o meno superficiali favoriti dalla presenza della coltre detritica e da caduta massi.

Per una descrizione più completa della Geologia, si rimanda alla Relazione Geologica.

3.3. ELEMENTI DI GEOLOGIA STRUTTURALE

3.3.1. PRINCIPALI LINEAMENTI

In base ai dati di letteratura, le unità sopra descritte appaiono soggette ad un campo di discontinuità articolato a tratti intensamente, conseguente alla complessa storia geologica dell'area.

Al fine di presentare i principali lineamenti desunti dalla cartografia geologica nazionale, si è provveduto ad integrare questi dati con studi condotti nelle vicinanze e analisi di foto aeree.

Nelle immagini proposte da Figura 3-2 a Figura 3-4 vengono indicati i principali sistemi di fratture/faglie che possono interferire con le opere in progetto.

Sono stati osservati 4 tipologie di discontinuità:

- Faglie
- Spaccature presumibilmente per trazione
- Stratificazione
- Giunti

Dove i versanti sono acclivi, e con vegetazione rada, si riesce ad individuare un quadro fessurativo intenso, mentre nelle aree a bassa pendenza, con copertura più spessa, è probabile che si riescano ad evidenziare solo i lineamenti principali, dando l'impressione che esista una differente densità di fratturazione lungo il percorso

Evidenze legate al grado di fratturazione sono presenti nell'area di Pizzone, ubicata all'estremità meridionale della dorsale calcarea di M. Mattone e contraddistinta da una situazione geologico-strutturale particolarmente complessa con numerosi fenomeni di crollo storicamente documentati che hanno coinvolto blocchi fino ad una dimensione massima di circa 10 m3.

A valle di Pizzone, sebbene la documentazione disponibile non identifichi scenari geologico-strutturali complessi, si ritiene che il tracciato attraverserà aree con lineamenti tettonici potenzialmente importanti, evidenti dagli elementi morfologici riconoscibili sul terreno

3.3.2. FAGLIE E DISCONTINUITÀ PRINCIPALI

Le principali faglie individuate per mezzo sia dello studio della cartografia geologica, sia per mezzo di verifica diretta in campo, sono collocate circa alle seguenti progressive rispetto al fronte di imbocco nord:

- 800 – 900 m: cambio di litologia importante, e discordante, che potrebbe derivare dalla presenza di una faglia,
- 2750 m: sistema di faglie coniugate, molto inclinate che dislocano le litologie calcaree, accomodando anche in superficie la formazione M⁵⁻⁴; dunque, è da considerare una eventuale attività anche di età recente (miocene) della faglia.
- 3750 m: faglia molto inclinata
- 4750 m: per circa 1500 si entra in una zona che presenta in superficie un elevato grado di fratturazione degli ammassi; la condizione della roccia in profondità potrebbe risultare tuttavia di migliori condizioni ma con maggiore frequenza di giunti e/o fratture aperte (ma limitate porzioni cataclasate). Tale aspetto è stato verificato per mezzo di sopralluogo nella galleria di servizio dell'attuale condotta in esercizio, ubicata a monte della centrale di Pizzone.
- 5950 m: faglia ubicata nella zona dell'abitato di Pizzone, impostata a valle della centrale in progetto.

Tutte le discontinuità sopra elencate presentano negli affioramenti in superficie delle fasce fortemente fratturate (cataclasate), con spessore circa del centinaio di metri lineari, in cui la qualità degli ammassi diminuisce fortemente. La variabilità di tale aspetto sarà, come già accennato, da verificare per mezzo di indagini in situ dirette.

3.3.3. FRATTURE

Si osservano nel Calcere di Monte Mattone vere e proprie spaccature per decompressione circa perpendicolari al tracciato.

Inoltre, anche la porzione nel tratto iniziale in M¹ - E² essendo ubicata in zona di cerniera di piega può presentare un'aumento della fratturazione indotta dalla tipica presenza di scistosità, fenomeno che può provocare una diminuzione della qualità degli ammassi rocciosi e la presenza di venute d'acqua.

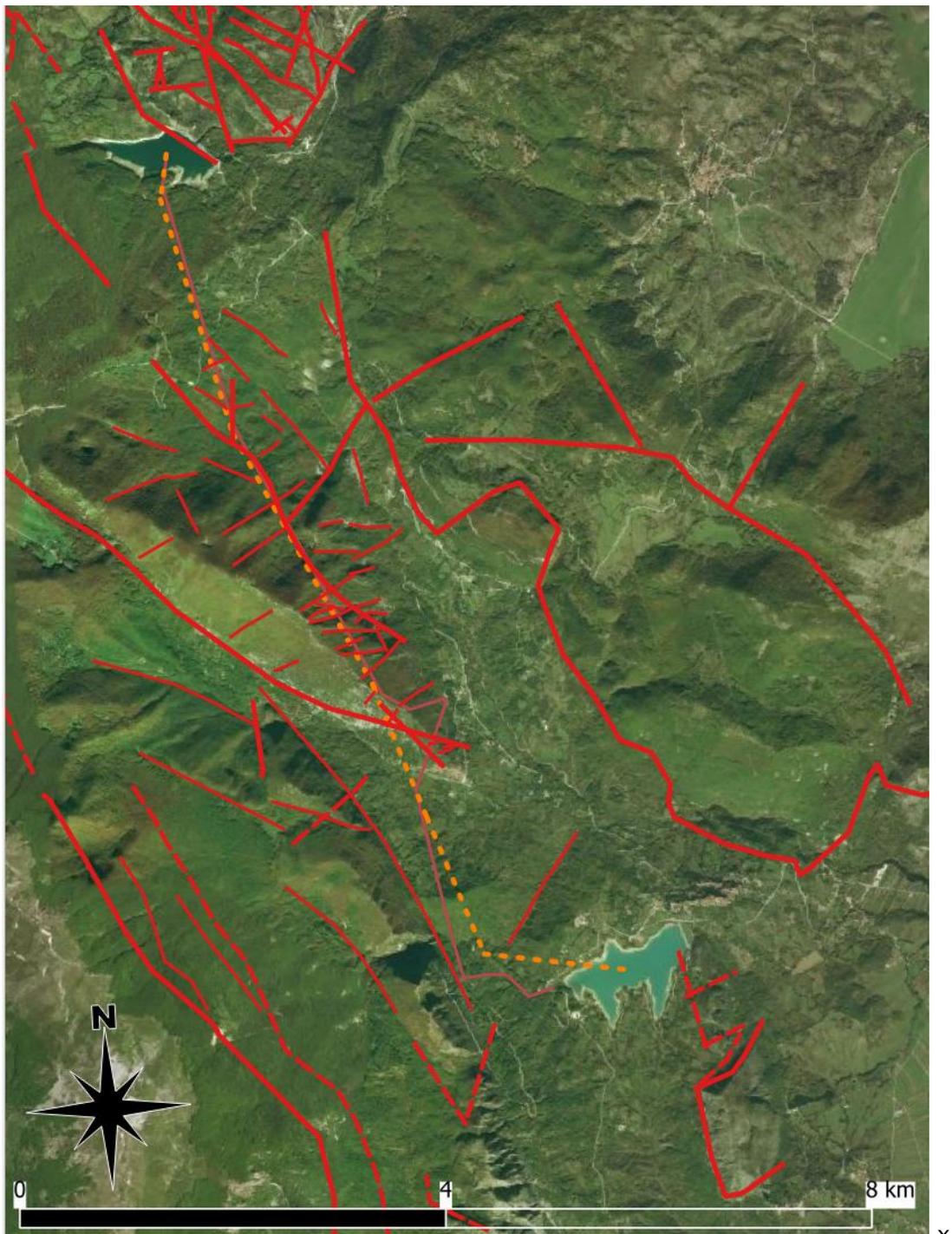


Figura 3-2 - Principali lineamenti rilevati da letteratura e foto aeree

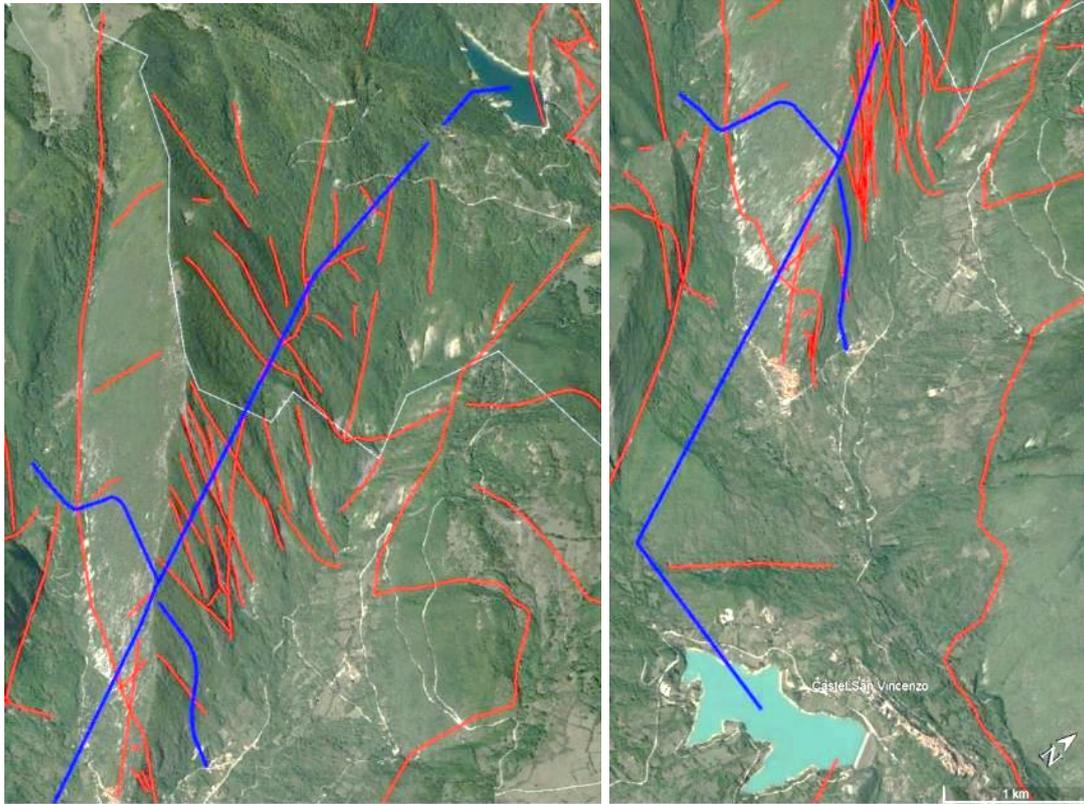


Figura 3-3 - Vista 3D d lago Montagna Spaccata al bacino di Castel'San Vincenzo. La Linea blu indica approssimativamente il tracciato in progetto

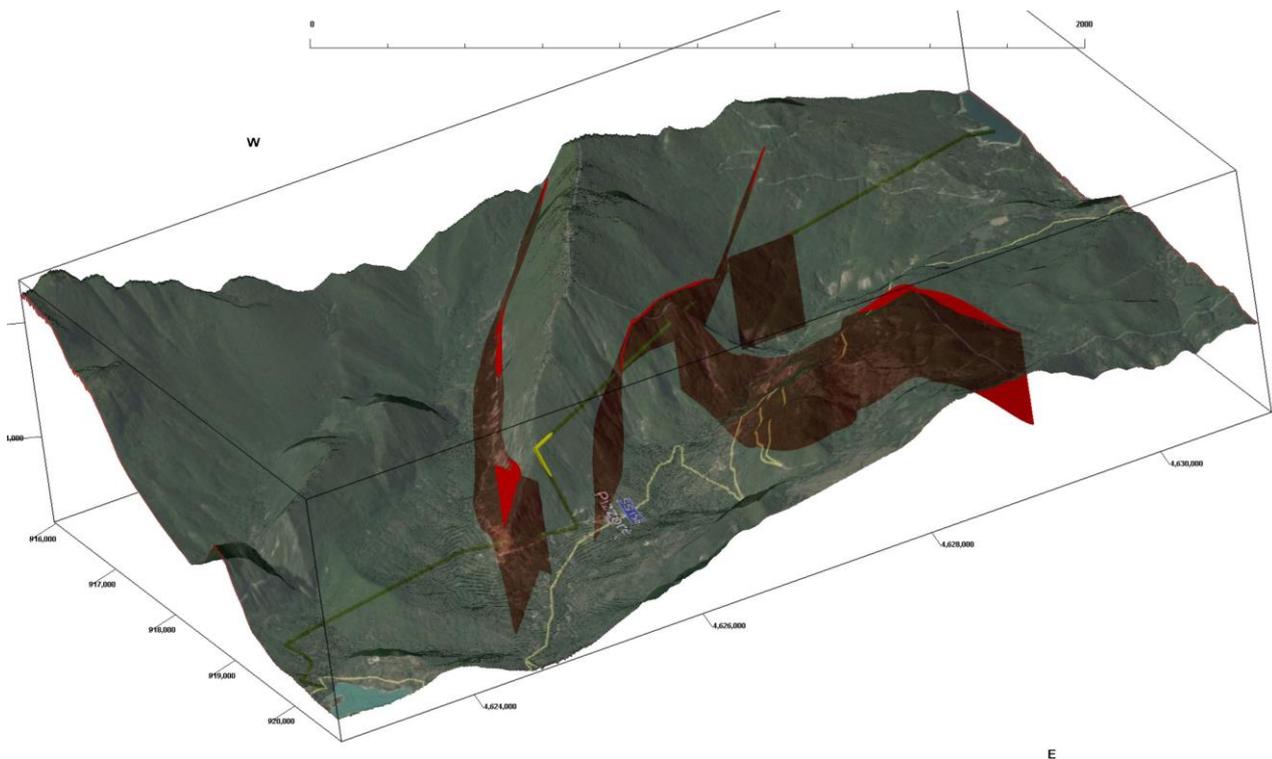


Figura 3-4 - Disposizione 3D dei principali sistemi di fagliazione con dati di giacitura disponibili

3.3.4. GIUNTI E STRATIFICAZIONE

Nella seguente tabella 6-1, si riportano i valori giacaturali dei principali piani di discontinuità rilevati negli affioramenti rocciosi che permettevano di eseguire misurazioni in sicurezza e che presentavano dei piani ben distinguibili. Gli stessi giunti sono stati presentati anche negli stereogrammi polari di

Figura 3-5, Figura 3-6e Figura 3-7, in forma sintetica, e da Figura 3-8 a Figura 3-13, per zona di rilievo.

I rilievi eseguiti hanno consentito di identificare il trend generale di stratificazione, individuato con orientazione prevalente verso E/NE e inclinazione con valore mediamente rappresentativo compreso entro i 25/30°, con la sola eccezione della zona della centrale dove è risultata 40-80°.

Per quanto riguarda i giunti, 3 piani principali di discontinuità sono stati individuati in modo ripetitivo su tutta l'area, mentre altri risultano circoscritti solo a certi affioramenti. La ripetitività dei 3 sistemi principali e della stratificazione appare in qualche misura sorprendente, in considerazione dell'alto livello di tettonizzazione e complessità strutturale dell'area.

Tabella 3-1: rilievi delle giaciture piani di discontinuità; S: stratificazione; K giunto/frattura

ID punto	S		k		k		k		k		k	
	imm	incl										
RG1	122	32	342	78	172	75	233	42				
	110	27	342	80	192	60	230	35				
	110	40	338	70	196	60	236	45				
	96	25	340	90	200	83						
	92	25	328	85	196	85						
	78	23	352	70	192	70						
	112	35			208	60						
					200	83						
					196	85						
					190	50						
RG2	77	22	60	75	125	70						
RG3			250	55	200	85	70	35				
RG8			35	40	115	80	210	50				
RG9			296	65	292	75	324	65	80	40	180	65
RG11	45	35										
RG12	72	35	260	72	165	78						
RG13	72	35	350	85	260	50						
RG15	50	50	340	65	258	50	205	63				
RG17	62	10	120	82	10	85	292	78	64	80	90	27
RG18	52	12	82	10	160	72	112	25	10	90	302	52
RG20	80	79	190	60	300	72						
RG22	80	42	65	45	210	49	320	89				
RG24	103	15	230	85	160	85						
RG25	135	25	337	63	256	88						

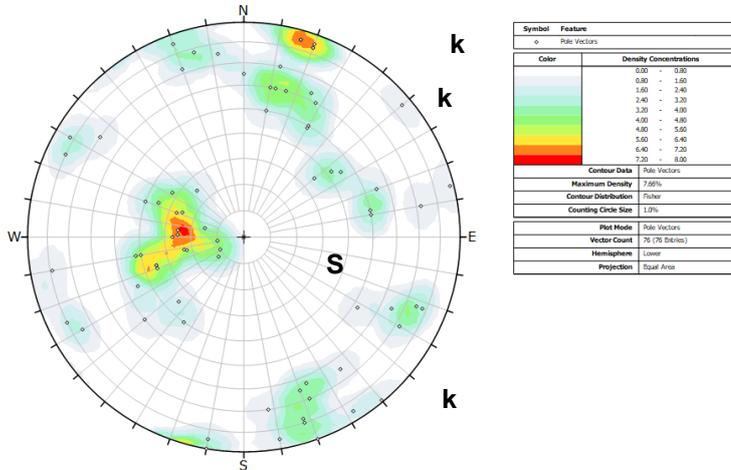


Figura 3-5: Impianto di Pizzone II. Rilievo geomeccanico. Rappresentazione stereografica equiareale dei poli di tutti i giunti rilevati nelle rocce carbonatiche;

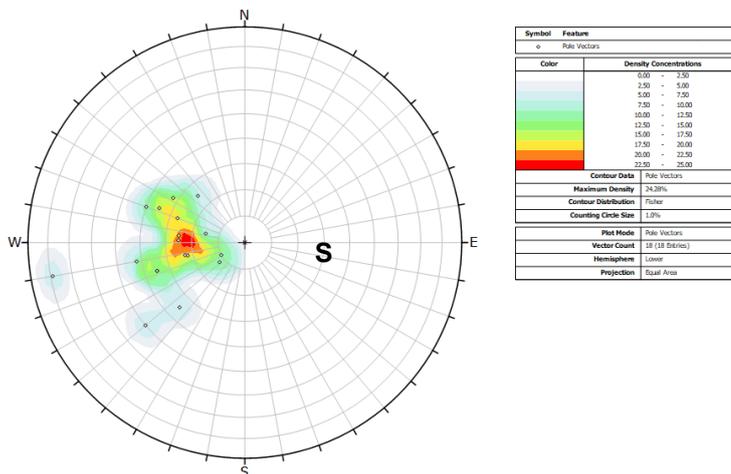


Figura 3-6 - Impianto di Pizzone II. Rilievo geomeccanico. Rappresentazione stereografica equiareale dei poli della stratificazione, rilevata nelle rocce carbonatiche

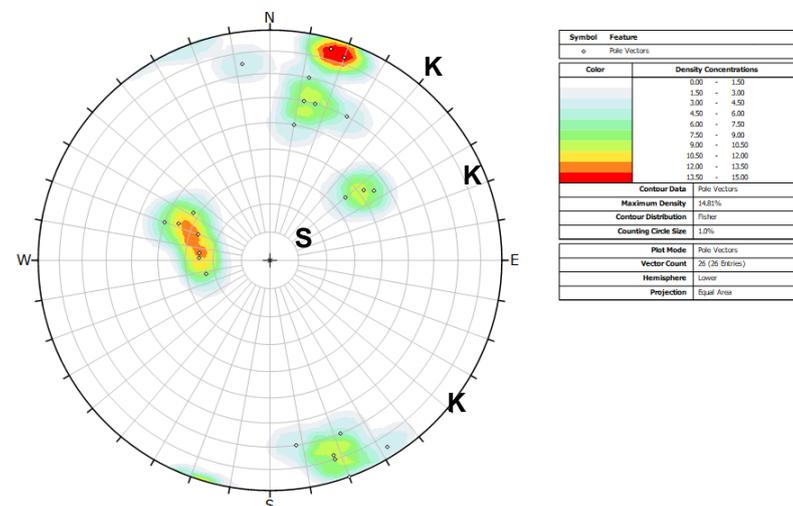


Figura 3-7 - Impianto di Pizzone II. Rilievo geomeccanico. Rappresentazione stereografica equiareale dei poli di tutti i giunti rilevati nelle rocce carbonatiche nella zona di rilievo RG1 (cava lungo la strada alta a nord di monte Mattone)

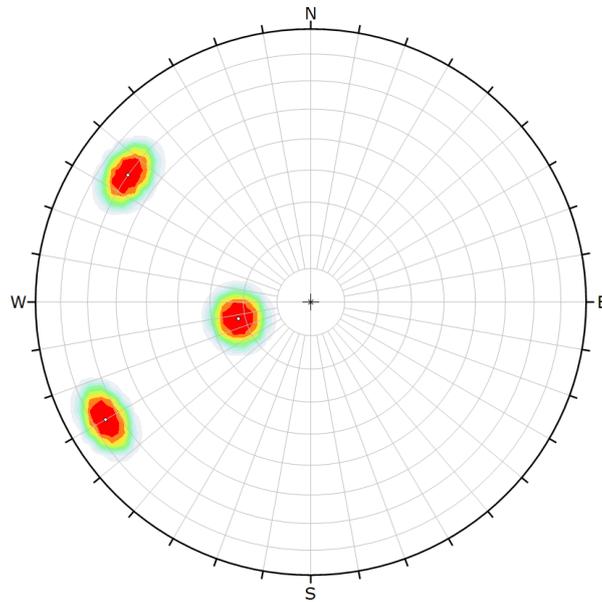


Figura 3-8 – Impianto di Pizzone II. Zona d rilievo RG02 – Calcareniti lungo Strada, 350 m a Est del tracciato. Quota approssimativa 1160 mslm

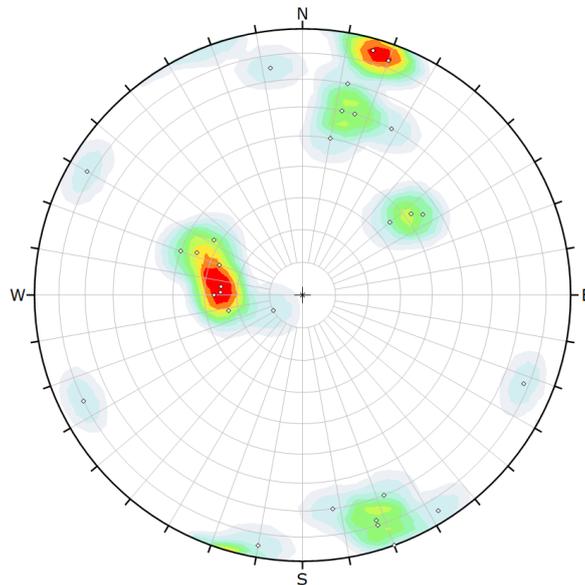


Figura 3-9 Impianto di Pizzone II. Zona d rilievo RG01 RG17 – Calcari e Calcareniti lungo la strada che porta a Pianoro Campitelli, appena a Ovest del tracciato. Quota approssimativa 1240 mslm

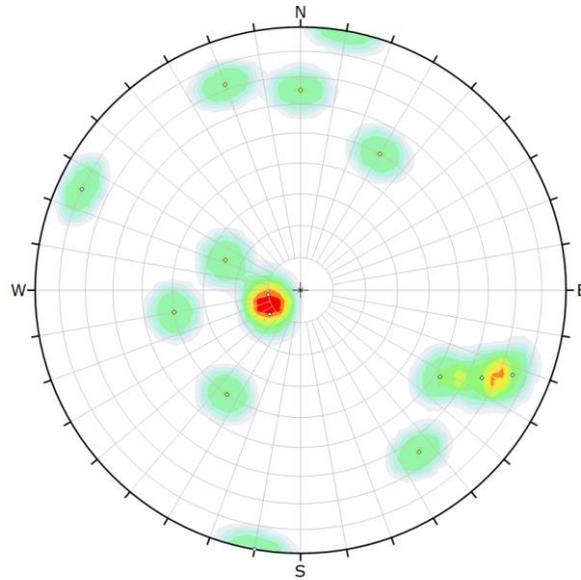


Figura 3-10 - Impianto di Pizzone II. Zona d rilievo RG08, RG09, RG18 – Calcari e Calcareniti circa 800 m a Ovest del tracciato, lungo pista nel bosco, che si stacca dalla strada per Campitelli– Quota approssimativa 1260 mslm

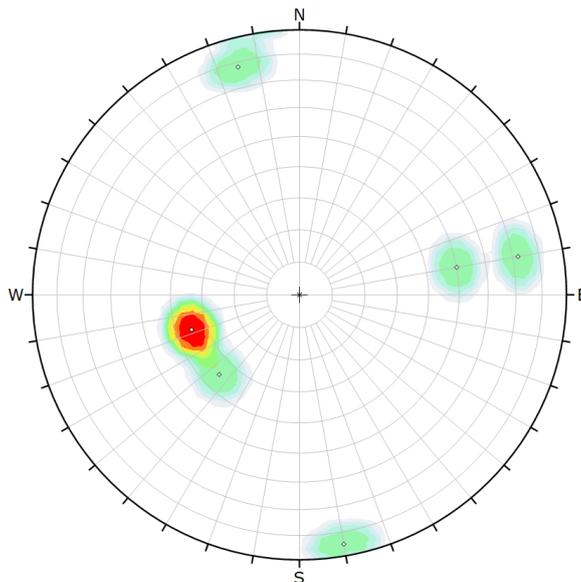


Figura 3-11 - Impianto di Pizzone II. Zona d rilievo RG11, RG12, RG13 – Calcari e Calcareniti sul fianco orientale del crinale roccioso lungo cui si snoda il tracciato, poco a Nord della centrale esistente. Quota approssimativa 1160 mslm

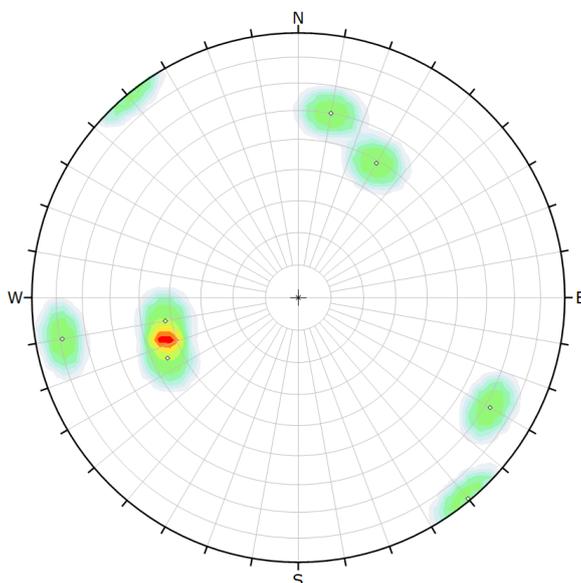


Figura 3-12 - Impianto di Pizzone II. Zona d rilievo RG20, RG22 – Calcari nella zona della Centrale di Pizzone. Quota approssimativa 705 mslm

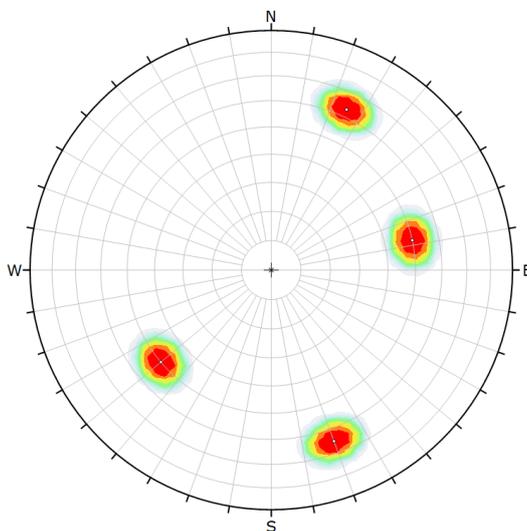


Figura 3-13 - Impianto di Pizzone II. Zona d rilievo RG16 – Calcari nella zona dell'abitato di Pizzone Quota approssimativa 770 mslm

3.4. CLASSIFICAZIONE DEGLI AMMASSI ROCCIOSI

I risultati delle stime eseguite sui fronti rilevati sono riportati in Tabella 3-2. Le stime sono state condotte sia per confronto con le tabelle GSI (Hoek), sia con le metodologie che consentono di rilevare gli indici in base a dati oggettivi rilevati (RMR, Bieniawsky).

Per quanto riguarda la roccia calcarea, la spaziatura tipica tra le discontinuità è tale da identificare blocchi di media dimensione fino a oltre 1 m³ e solo localmente la roccia appare cataclasata per la presenza di faglie o disturbi, con l'ammasso ridotto in clasti di dimensioni decimetriche. In ogni caso, la qualità degli ammassi rocciosi carbonatici risulta abbastanza

omogenea nell'intera area del sito, presentando condizioni e valori nell'intervallo 45-50, ed anche i valori di resistenza a compressione misurata per mezzo di test sclerometrici in campo risultano sempre collocati intorno a valori tra 38 e 48 MPa e confrontabili sull'intera estensione del tracciato della galleria. Va tenuto conto che le osservazioni e misure fatte sono nella quasi totalità dei casi eseguite in superficie, e quindi dove la roccia è potenzialmente allomeno in parte allentata e/o alterata. .

Meno evidente è l'andamento della spaziatura di strati e discontinuità nel Flysch litoide a causa delle limitate finestre di osservazioni disponibili; in profondità è possibile ipotizzare che la consolidazione del Flysch possa portare ad ottenere aspetti stratigrafici (spaziatura, spessore strati, indice di fratturazione e alterazione) di miglior qualità. Tale elemento sarà da verificare per mezzo di accurate indagini dirette in quanto in superficie, come già accennato, gli affioramenti rilevabili sono di limitata entità.

Tabella 3-2: Impianto di Pizzone II. Rilievo Geomeccanico: valori medi di RMR e GSI, stimati nei vari punti di osservazione

Rilievo	Formazione	Metodo di qualificazione	Range (min – max)	
RG1	Calcere	RMR	46	51
RG1	Calcere	GSI	55	65
RG2	Calcere	GSI	40	50
RG3	Calcere	GSI	50	60
RG4	Calcere	GSI	40	50
RG5	Calcere	GSI	35	45
RG7	Calcere	GSI	35	45
RG8	Calcere	GSI	50	60
RG9	Calcere	GSI	45	55
RG10	Calcere	GSI	45	55
RG11	Calcere	GSI	35	45
RG12	Calcere	GSI	50	60
RG13	Calcere	GSI	35	45
RG14	Calcere	GSI	50	60
RG15	Calcere	GSI	50	60
RG16	Calcere	GSI	45	55
RG17	Calcere	GSI	50	60
RG18	Calcere	GSI	50	60
RG19	Flysch	GSI	15	25
RG20	Calcere	GSI	50	60
RG21	Calcere	GSI	50	60
RG22	Calcere	GSI	45	55
RG23	Calcere	GSI	45	55
RG24	Calcere	GSI	40	50
RG25	Calcere	GSI	50	60

4. STRATIGRAFIA E PROFILO GEOTECNICO DELLA FONDAZIONE DELLE OPERE E LUNGO IL TRACCIATO

4.1. DIGHE DI MONTAGNA SPACCATA

4.1.1. QUADRO D'INSIEME

I dati sono stati ricavati principalmente da elementi di geologia generale, riportati nella Relazione Geologica di questo Studio, dalla relazione CESI sulle verifiche sismiche della diga di Montagna Spaccata, e da osservazioni dirette e seguite nel corso delle visite.

Gli elementi fondamentali della geologia dell'invaso sono i Calcari Detritico-Organogeni del Miocene Medio, che occupano tutta la sponda sinistra, fino a circa metà invaso, e il Flysch marnoso-arenaceo che occupa la parte opposta dell'invaso e si estende verso sud e sud-est.

4.1.2. LITOLOGIE ESISTENTI E CAMBI DI LITOLOGIA

La linea di separazione tra i calcari e il Flysch potrebbe coincidere con la Faglia di Alfedena, almeno verso valle, ossia verso l'abitato di Alfedena. In realtà, la vista aerea di Figura 4-1 e Figura 4-2, suggerisce che la linea sia disturbata dalla presenza di un paleodistacco avvenuto nei calcari e che ha spostato l'asse del Rio Torto, poco a valle della sezione chiusa dalla diga (potrebbe essere questa l'origine del nome dato al Rio, nel qual caso il distacco potrebbe essere avvenuto in epoca storica).

In ogni caso, in corrispondenza dell'asse di ritenuta, il passaggio tra le due formazioni avviene tra la diga in muratura a speroni e quella in pietrame a secco, verso la sponda destra.

Il massiccio calcareo su cui sono fondate la diga principale e la secondaria degrada da sinistra verso destra e presenta una faglia in direzione NO-SE, che forma un gradone morfologico proprio lungo l'asse di ritenuta. E' possibile che la linea di transizione tra calcari e flysch asseconi questo gradone, per andare a passare in mezzo al lago.

Perpendicolarmente alla faglia NO-SE si è formata una profonda incisione lungo cui corre il Rio Torto e che è stata sbarrata dalla diga principale.

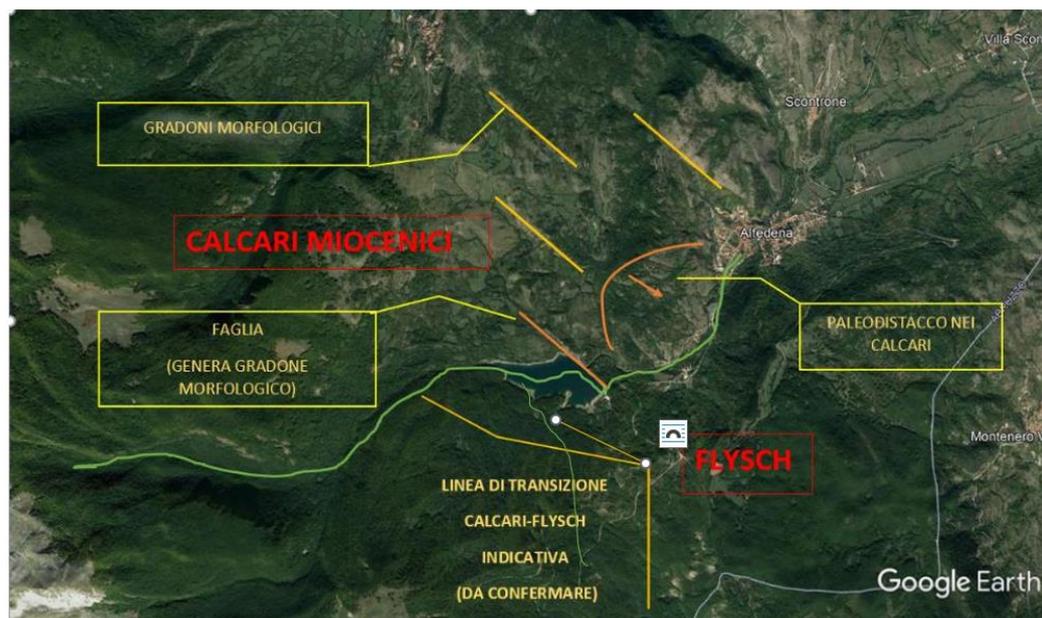


Figura 4-1 - Lago di Montagna Spaccata. Vista aerea con tratti significativi della geologia dell'area



Figura 4-2 - Lago di Montagna Spaccata. Vista aerea con dettaglio sui tratti significativi della geologia in prossimità delle opere

4.2. OPERE IN SOTTERRANEO

4.2.1. QUADRO D'INSIEME

L'insieme delle informazioni introdotte nei paragrafi precedenti è stato messo in relazione con le installazioni esistenti e quelle proposte.

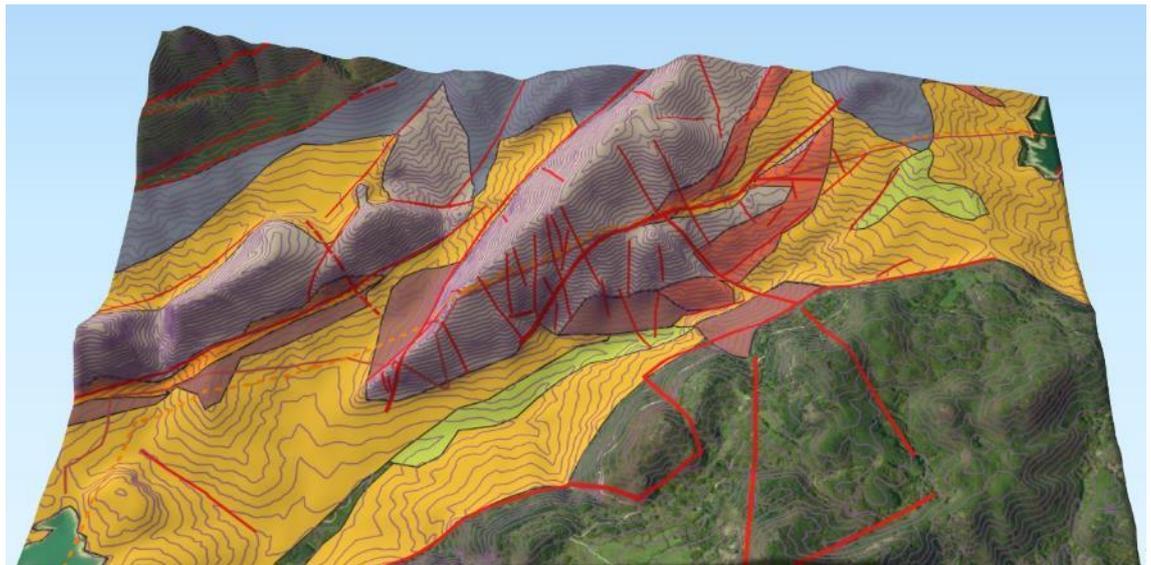
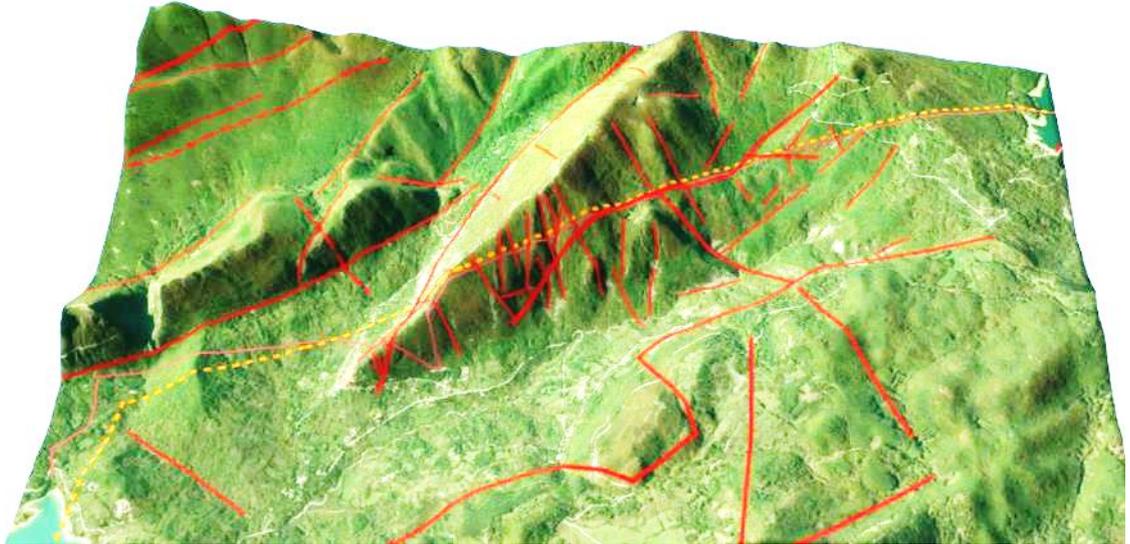
L'area che verrà attraversata possiede dunque una storia geologica complessa, caratterizzata da fagliamenti e sovrascorrimenti, alcuni dei quali interferiscono con il tracciato di progetto.

In particolare, ricostruendo un modello geologico tridimensionale, basato sui dati disponibili, si è osservata la potenziale interazione tra diversi lineamenti principali e superfici di faglia, confermata anche dalla sostanziale coincidenza di alcune di queste fasce di contatto con sezioni di rivestimento rinforzate durante lo scavo della condotta esistente. Le fasce individuate, che sono state evidenziate in relazione, richiederanno approfondimenti futuri, nell'ambito dello sviluppo della progettazione.

Morfologia e struttura concorrono a creare un quadro idrogeologico complesso, specie nel tratto compreso tra Pizzone e il Lago di Castel San Vincenzo. Infatti, oltre ad attraversare ammassi rocciosi fratturati e importanti fagliazioni localizzate, il tracciato passa anche nell'impronta di corsi d'acqua, alcuni dei quali impostati lungo piani di frattura o faglia o lungo impluvi morfologici. Il quadro illustrato e la conseguente potenziale circolazione d'acqua sotterranea vanno debitamente considerati nella analisi delle opere in sotterraneo, nel tratto a valle del pozzo

A livello locale, la geologia è illustrata nella mappa di Figura 4-3 e nello schema di Figura 4-4. Le formazioni più significative sono:

- Una dorsale calcarea, in posizione baricentrica rispetto al tracciato, costituita dai Calcari micritici (C2-G11) della Formazione M. Mattone:
- addossati a tali calcari, tra dorsale e lago di Montagna Spaccata, a Nord, Calcari organogeni (M3-2), con inclusi Calcari debolmente marnosi (M1-E3) della Formazione di Pizzone,
- Una sequenza di Arenarie micacee alternate ad argille siltose e calcari marnosi. (M5-4 / Ma5-4) appartenenti ai Flysch di Castelnuovo, che circonda la dorsale, ponendosi tra calcari e lago a Nord, e andando a occupare la valle a Ovest della dorsale verso Sud, fino a includere l'area del Lago di Castel San Vincenzo.



-  Morene (mo)
-  conoidi frane
-  M4-3
-  Formazione Pizzone (M3-2)
-  M1-E
-  Flysh Castelnuovo_M 5-4
-  Formazione Monte Mattone_C4-G10

Figura 4-3 - Visione da sud-est verso nord-ovest dell'area di studio e cartografia geologica

Colonne stratigrafiche

Facies di piattaforma e rampa carbonatica e relativi depositi sin-orogenici



Facies di slope e by pass margin e relativi depositi sin-orogenici



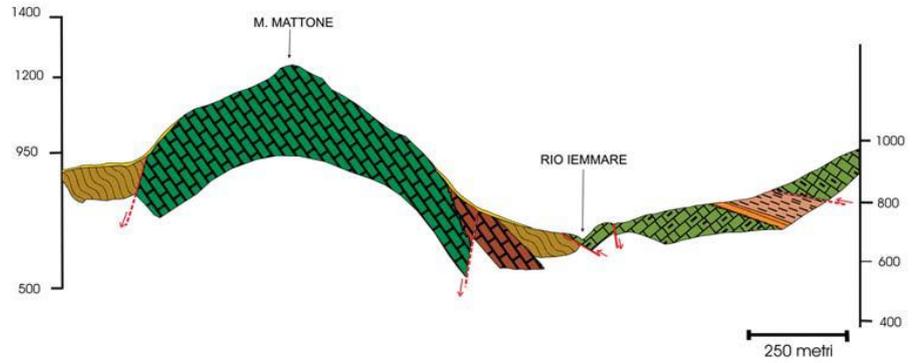
100 metri

Sezioni geologiche

SW

SEZIONE 1

NE



SW

SEZIONE 2

NE

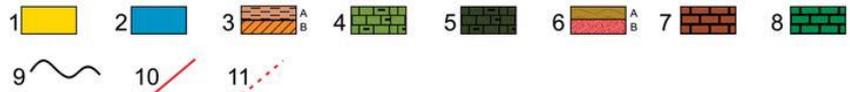
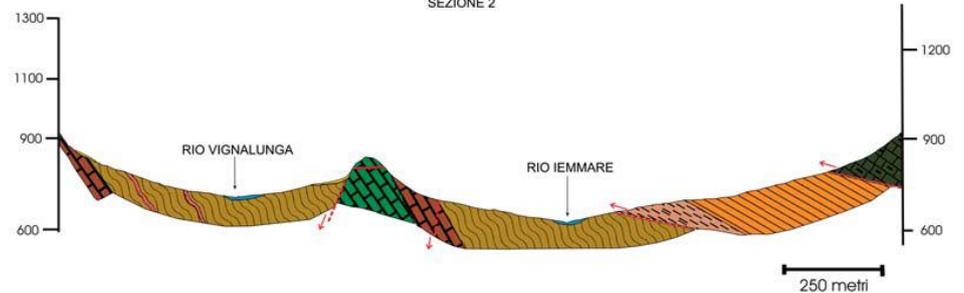


Figura 4-4 - Sezioni geologiche (ubicazione riportata in figura precedente) e colonne stratigrafiche dell'area di studio. LEGENDA: 1) Detrito di falda; 2) Depositi fluviali; 3a) Flysch di Frosolone-facies pelitica; 3b) Flysch di Frosolone-facies arenacea; 4) Formazione di Macchiagodena; 5) Formazione dell'Omero; 6a) Flysch di Castelnuovo; 6b) Orizzonti pelitici all'interno del Flysch di Castelnuovo; 7) Formazione di Pizzone; 8) Formazione di M. Mattone; 9) Lacuna stratigrafica; 10) Lineamento tettonico; 11.: Lineamento tettonico presunto).

4.2.2. LITOLOGIE ESISTENTI E CAMBI DI LITOLOGIA

4.2.2.1. AREA DELL'INVASO DI MONTAGNA SPACCATA

Il tratto iniziale della condotta verrà realizzato all'interno dei Flysh di Castelnuovo (arenarie micacee alternate ad argille), che in base alla cartografia risulta essere la stessa formazione su cui insiste la diga e la porzione principale dell'invaso di Montagna Spaccata.

In generale le porzioni superiori di questa formazione sono prevalentemente pelitiche, mentre la frazione calcarea marnosa si trova alla base. Anche il primo tratto di condotta attraversa passa attraverso gli scisti di Castelnuovo. A circa 1,5 km di distanza dal Lago di Montagna Spaccata si appropria un'area che appare complessa dal punto di vista strutturale, intensamente fratturata e con faglie e possibili sovrascorrimenti, in cui passiamo attraverso la formazione di Pizzone poi ancora nei Flysh di Castelnuovo, per rientrare ancora nella formazione di Pizzone ed infine in quella di Monte Mattone.

4.2.2.2. TRATTO CENTRALE

In questo tratto, lo scavo previsto, in base alla documentazione disponibile, passa attraverso la Formazione di Monte Mattone, al cui interno si troveranno le opere più significative, ossia la centrale, la condotta forzata e i due pozzi piezometrici di monte e di valle.

La sezione geologica di riferimento è rappresentata dalla colonna stratigrafica proposta in Figura 4-4.

Come visibile dall'immagine il grado di fratturazione dell'ammasso roccioso carbonatico è molto alto, in carta sono stati riportati soltanto i principali lineamenti (fratture/faglie), ma a piccola scala la distanza tra piani di frattura è spesso submetrica.

Al fine di avere una prima indicazione tra i rapporti tra questi piani di debolezza e lo scavo previsto, è stato realizzato un modello tridimensionale in cui sono stati plottati i piani di faglia e le opere.

La pendenza delle faglie è indicativa, in quanto estratta da una cartografia a grande scala che riporta una scala per range di pendenza, e non si esclude quindi che la pendenza possa variare nell'ordine dei +/- 10-15°.

Sono state comunque proiettate le principali faglie riportate in cartografia, in sintesi quelle che hanno un'alta probabilità di avere al loro intorno fasce di roccia disarticolata, con conseguenti possibili problematiche di stabilità dello scavo.

4.2.2.3. AREA DELL'INVASO DI CASTEL SAN VINCENZO

Dalla centrale sotterranea, si prosegue ancora nella formazione di Monte Mattone, per poi rientrare nelle arenarie e nelle calcareniti.

E' da segnalare il passaggio della condotta di progetto lungo un'area importante dal punto di vista idrologico e idrogeologico.

L'asse della condotta interferisce con alvei torrentizi, di cui alcuni impostati lungo linee di faglia o frattura, quindi in materiali fratturati e con buona probabilità di avere venute di acqua durante lo scavo.

Il rischio di incontrare forti venute d'acqua appare estremamente concreto nella porzione terminale della condotta, dove si attraversa un lineamento che, anche se indicato come probabile, coincide con evidenti elementi riconducibili ad un lineamento importante, quali una forra di dimensioni notevoli e l'andamento del torrente a valle della stessa forra, che appare coincidente con il prolungamento di questo lineamento tettonico.

Di conseguenza la possibilità di incontrare un ammasso roccioso disarticolato e saturo appare probabile

4.2.2.4. CAMBI DI LITOLOGIA

La definizione dei cambi di litologia è stata basata sulle evidenze raccolte, elaborandole con riferimento alla cartografia geologica e alle immagini Google Earth. Per questi motivi, le

indicazioni fornite vanno lette più in senso qualitativo, ossia come potenziale presenza di un certo tipo di passaggio lito-stratigrafico, e dovranno essere approfondite e confermate o perfezionate, sulla base di indagini ad hoc, da eseguire prima del successivo sviluppo progettuale.

L'imbocco nord dello scavo è collocato nella parte sommersa del bacino di monte.

Nei primi 800-900 m, l'asse di progetto attraversa l'unità Flyschoida, identificabile con una facies di soglia e avansoglia (verso la facies Molisana) qui sepolta e presumibilmente piegata, ricoperta dalla facies Molisana, più recente, formata da marne e calcareniti. La porzione più superficiale, che interagisce con il tracciato lungo la spiaggia e il fondo del lago, è in ogni caso fortemente meteorizzata e decompressa e priva di aspetto litoide.

Da indicazioni cartografiche, si può pensare che la piega, antiforme in zona di cerniera, sia ben sviluppata e possa correre parallela al crinale del monte Mattone, lungo tutta valle che risale da Castel SanVincenzo verso il Lago di Montagna Spaccata. Il contatto di questa formazione verso i calcari del Monte Mattone non è in genere ben descritto e andrà indagato con più precisione, nei tratti di interferenza con il tracciato.

Per effetto della piega, il tracciato attraverserà successivamente una porzione di calcare e calcareniti della facies Molisana (M^{3-2}), che in questa zona non risulterebbe interessata da importanti fenomeni tettonici. Dunque, l'indice di fratturazione degli ammassi rocciosi dovrebbe essere basso. L'immersione del bedding stratigrafico è circa tra 35 - 50° (nord est) mentre l'immersione tra i 15 e 25°.

Il tratto di attraversamento della piega potrebbe interessare circa 150-200 m, con roccia prevalente costituita dai calcari debolmente marnosi appartenenti alla litologia denominata nella cartografia geologica come $M^1 - E^2$.

Prima e dopo la piega, il tracciato attraversa i calcari e calcareniti della facies Molisana (M^{5-4} e M^{3-2} , prima della piega e M^{3-2} , dopo la piega). Solo il tratto a valle della piega potrebbe essere in una certa misura interessato da fenomeni tettonici o deformativi, in parte legati alla piega stessa e in parte alla transizione verso i calcari del Monte Mattone.

Questo tratto appare nel suo insieme più complesso di altri e andrà adeguatamente studiato nelle prossime fasi di progettazione.

Per i successivi 4800 m, in cui sorgeranno il resto della galleria di carico, il pozzo piezometrico di monte, la condotta forzata con la relativa biforcazione, la centrale in canverna e relativi accessi e un piccolo tratto della galleria di scarico con incluso pozzo piezometrico di valle, lo scavo interesserà i calcari del Monte Mattone, che nella legenda cartografica risultano essere i calcari della facies di soglia C^6-G^{10} . L'immersione della stratificazione è mediamente E - NE, con immersione tra 100-120° e modesta inclinazione; la variabilità è di seguito illustrata:

- a monte immersione 40-70° e inclinazione leggermente maggiore
- nella zona centrale circa 80° con inclinazione 40° in alto e 75° dalla quota 730 in giù, (nell'ultima parte - centrale di Pizzone)

La zona limitrofa alla centrale di Pizzone rappresenta una eccezione rispetto alle zone più a monte, in quanto gli strati subiscono un forte basculamento, con aumento della pendenza per probabili cause tettoniche.

L'ultimo tratto di galleria di 3500 m risulta impostato all'interno dell'unità Flysch, che, come nella zona di monte, potrebbe presentare sia la facies di copertura, sia la facies a bancate maggiormente competenti, in funzione della profondità dal piano campagna (che risulta variabile lungo tutto lo svolgimento di quest'ultimo tratto a causa della presenza di numerosi rilievi e alti topografici).

4.2.3. PROFILO

Il profilo stratigrafico del tracciato lungo la via d'acqua principale è riportato nelle Tavole di Geologia e Geotecnica, nonché per alcuni dati sintetici nelle tavole di Progetto.

4.3. CENTRALE DI PIZZONE ESISTENTE

4.3.1. QUADRO D'INSIEME

L'esistente centrale di Pizzone attualmente in esercizio si trova a ridosso del fianco orientale della dorsale del Monte Mattone, lungo la linea di passaggio tra calcari e flysch.

4.3.2. LITOLOGIE ESISTENTI E CAMBI DI LITOLOGIA

La litologia che appare più evidente alla vista è costituita dai calcari del Monte Mattone che immergono con pendenza elevata sotto la Centrale.

Già al limite del piazzale della centrale, il calcare si ristrova a profondità notevoli, superiori ai 25-30 m, essendo ricoperti da Flysch da intatti a parzialmente alterati, con resistenza anche modeste, che presentano una stratificazione meno inclinata dei precedenti.

A partire dai calcari, si genera poi una coltre detritica derivante in parte dall'accumulo di blocchi che si staccano dal pendio sovrastante e in parte dall'alterazioni del sottostante flysch.

4.4. DIGA DI CASTEL SAN VINCENZO

4.4.1. QUADRO D'INSIEME

L'invaso e la diga di Castel San Vincenzo sono impostati sul Flysch marnoso-arenaceo del Miocene Superiore, che risulta allentato e in parte alterato nella sua parte più superficiale. Dai dati disponibili, ottenuti in sede di progettazione esecutiva e più recentemente nel corso dell'esercizio, i termini prevalenti sono marnosi, specie a contatto con la base della diga. Tale informazione andrà comunque completata e confermata, anche nella sua distribuzione planimetrica.

All'altezza della Diga, si osserva sulla destra, una cresta che si estende verso Sud, formata da Calcari Miocenici del Monte Rocchetta. Questi calcari sono descritti come compatti, almeno nell'area più prossima alla diga.

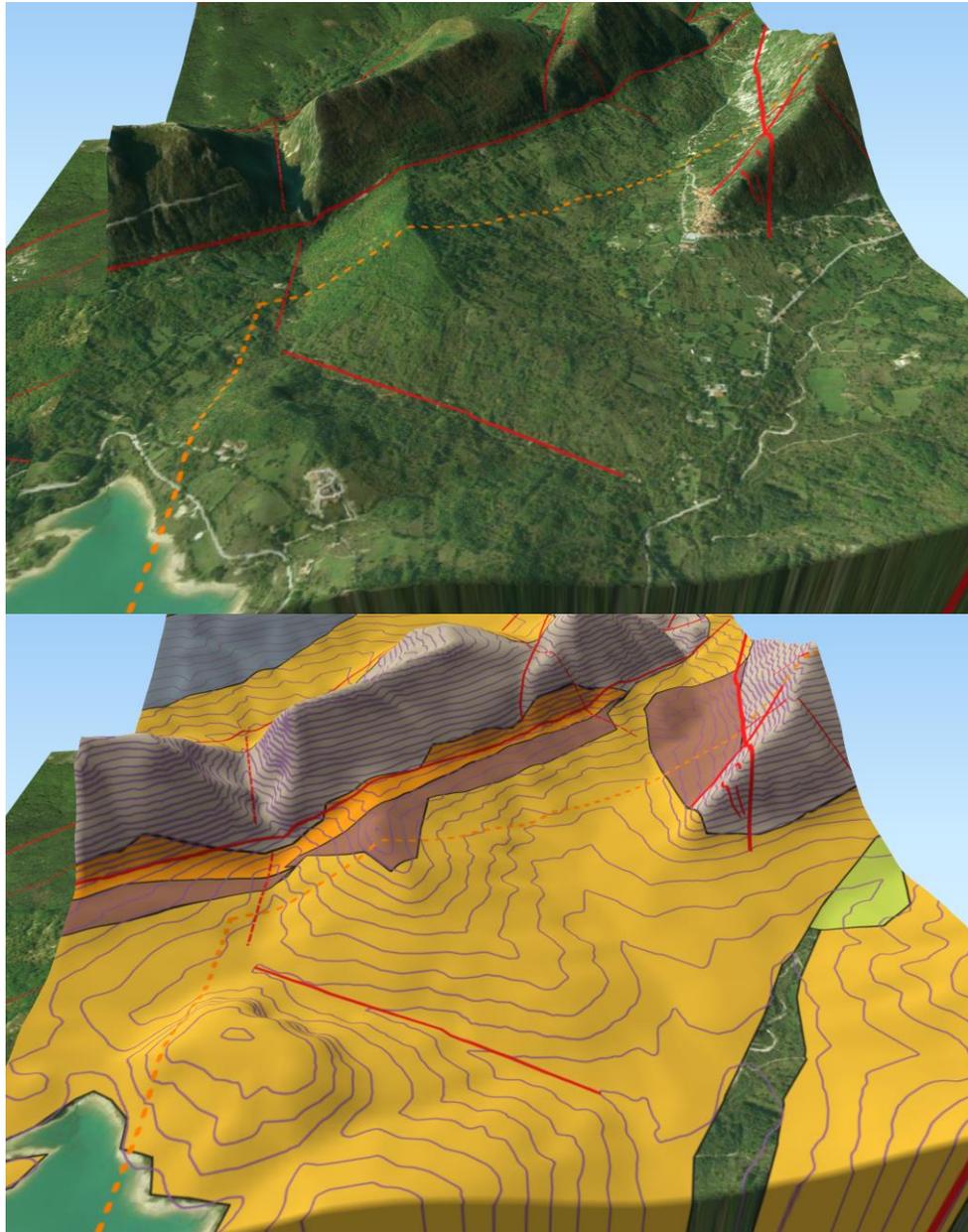
La diga non è comunque in contatto diretto con i calcari.

È pensabile che la fascia lungo l'asse originario del Rio Salzera abbia mantenuto una permeabilità maggiore rispetto ai terreni circostanti.

4.4.2. LITOLOGIE ESISTENTI E CAMBI DI LITOLOGIA

A partire dalla zona delle dighe e risalendo il tracciato verso monte, la litologia è dominata dai vari termini della sequenza del Flysch, essendo stata in genere riscontrata una consistenza più bassa, dovuta ad alterazione e rammollimento dei livelli più superficiali.

Non sono disponibili dati dettagliati sulle sequenze esistenti in sponda sinistra lago che verranno attraversati dalle opere.



- Morene (mo)
- conoidi frane
- M4-3
- Formazione Pizzone (M3-2)
- M1-E
- Flysh Castelnuovo_M 5-4
- Formazione Monte Mattone_C4-G10

Figura 4-5 - Carta strutturale e geologica del tratto finale

5. FALDE E ACQUE PROFONDE

5.1. DIGHE DI MONTAGNA SPACCATA

La morfologia della zona su cui poggiano le dighe fa sì che per la sola diga ad arco ci possa essere qualche influenza delle acque profonde della pendice sinistra, mentre per le altre dighe la circolazione sotterranea è dominata dai livelli di invaso.

5.2. OPERE IN SOTTERRANEO

Sotto il profilo idrologico l'area si mostra superficialmente ben drenata con buona densità della rete idrografica.

Le aste principali, anche se di modesta lunghezza, risultano adeguatamente alimentate da tributari minori dotati, però, di bassi valori del rapporto lunghezza biforcazione e di scarso grado di gerarchizzazione.

Questi corsi d'acqua, in prevalenza a carattere torrentizio, sono soggetti a forti variazioni di portata in relazione ai cicli stagionali delle precipitazioni.

La loro accentuata acclività fa sì che siano marcatamente attivi fenomeni erosivi che conducono ad un continuo approfondimento delle incisioni, all'interno delle quali essi scorrono, ed a una continua variazione del loro profilo d'equilibrio.

Secondo i dati bibliografici, nelle formazioni carbonatiche esiste una circolazione idrica (spesso discontinua) con direzione di flusso che varia più in base all'assetto tettonico piuttosto che a quello geomorfologico;

Questa circolazione può essere importante e, anche se non si hanno dati sufficienti per conoscere correttamente i rapporti tra gli acquiferi nell'ammasso roccioso e i principali corsi d'acqua presenti, possono portare a sorgenti di una certa importanza come ad esempio quelle del Volturmo, appena a valle di Castel San Vincenzo.

La circolazione di acqua nelle formazioni carbonatiche e flyschoidi dell'area di Montagna Spaccata è essenzialmente dovuta alla permeabilità secondaria, ossia lungo le discontinuità e le fasce di fratturazione, del materiale lapideo. In questo senso, particolare importanza è rivestita dalla stratificazione che determina una anisotropia, più o meno marcata, in funzione delle sequenze di litologie e delle caratteristiche di interstrato.

Le vie d'acqua sono generalmente disposte circa parallelamente alla direzione degli strati per cui sono possibili apporti laterali anche significativi, almeno nella porzione interessata dai flysch.

In particolare, nella zona di monte, esiste un notevole bacino di ricarica a Ovest della condotta, con potenziale circolazione delle acque lungo i piani di separazione tra strati. La piezometrica che si viene così a stabilire sarà poi governata da valle dai livelli del lago.

Nella zona di valle, apporti significativi potrebbero derivare dal drenaggio della vallata che si sviluppa a Nord Ovest della condotta. Gli apporti più significativi sono presumibilmente da attendersi nella metà lato centrale.

Meno marcata dovrebbe risultare la presenza di acque sotterranee nei calcari del crinale sovrastante Pizzone, sia per le caratteristiche geo-morfologiche di tale elemento fisiografico che per la presenza di giunti e spaccature che favoriscono il drenaggio naturale della roccia.

In ogni caso, locali venute d'acqua concentrate saranno possibili in corrispondenze delle principali faglie e fasce cataclamate.

L'eventuale interazione ha potenziale impatto sia in fase di costruzione che di esercizio.

Indicazioni circa le caratteristiche e l'assetto della falda dovranno essere oggetto delle prossime fasi di approfondimento della progettazione.

5.3. DIGA DI CASTEL SAN VINCENZO

Il lago e la Diga di Castel San Vincenzo sorgono su una zona rialzata rispetto alle aree circostanti e che sottende un bacino di modeste dimensioni. L'alimentazione delle acque sotterranee naturali dovrebbe dunque essere modesta e di conseguenza i livelli piezometrici sono presumibilmente dettati dalla presenza del lago.

Fa eccezione la sponda sinistra della diga, sotto l'abitato di Castel San Vincenzo, dove la morfologia suggerisce che qualche apporto sia possibile. Una analoga morfologia in destra sembrerebbe portare a afflussi minori, sia perchè il bacino sotteso è meno esteso, che per la presenza del crinale calcareo, ripido, specie verso Est, che realizza un drenaggio naturale delle acque, allontanandole dalla diga.

Il fondo valle della diga è mediamente poco permeabile creando un tappeto impermeabile che separa le acque profonde da quelle superficiali, almeno nella zona più prossima alla diga. Qui, inoltre, la sedimentazione del lago ha prodotto un deposito su questa fondazione, che ne aumenta l'effetto descritto.

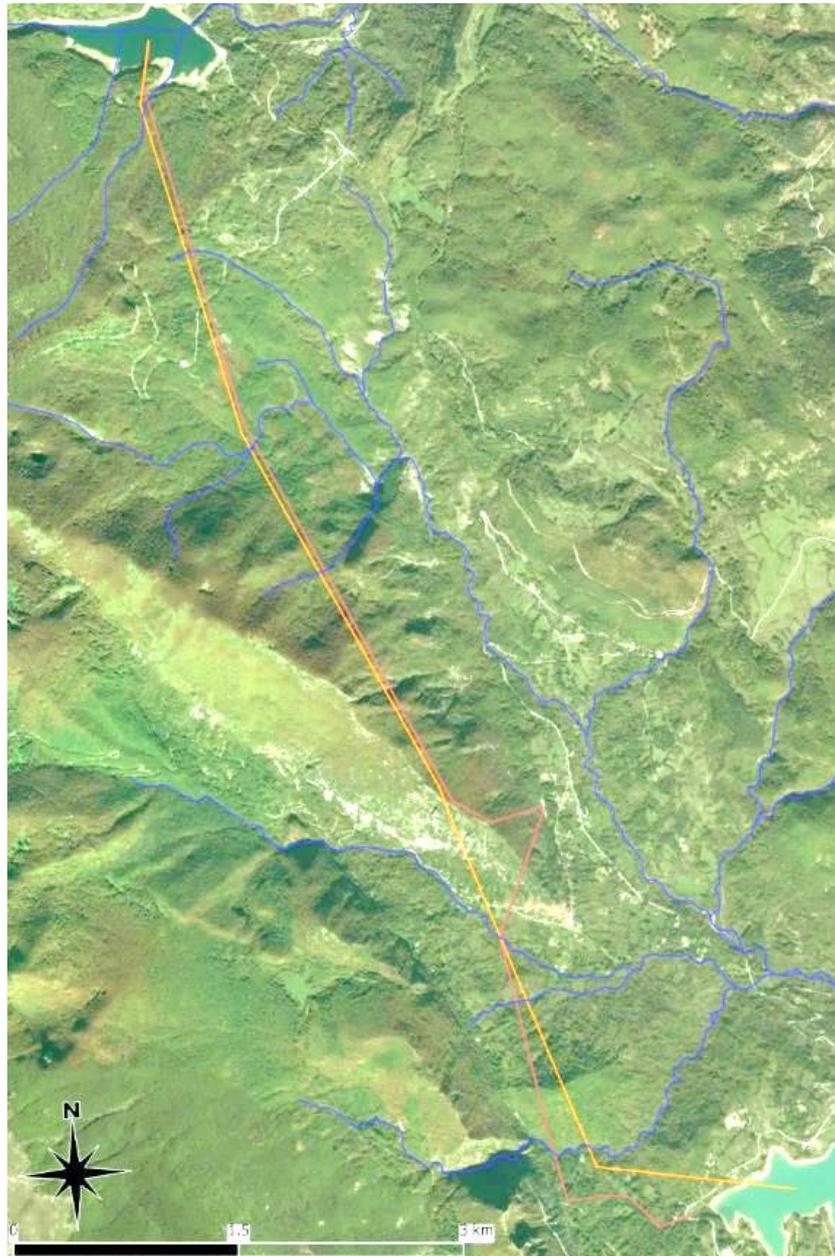


Figura 5-1 - Corsi d'acqua. Linee marrone ed arancione tracciato attuale e di progetto della nuova condotta

6. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLA FONDAZIONE DELLE DIGHE DI MONTAGNA SPACCATA

6.1. PROFILO

La diga principale ad arco è interamente impostata sui calcari organogeni del Miocene, in cui si è formata una profonda incisione a Y. La roccia calcarea è visibile in superficie fino a circa metà diga secondaria a speroni, di cui comunque costituisce la fondazione su tutta la sua estensione.

La roccia presenta buone caratteristiche in profondità, mentre superficialmente è decompressa e in parte alterata. Sulle spalle della diga principale, si osservano diverse famiglie di giunti, di cui una subparallela all'asse del RioTorto. Queste fessure potrebbero essere legate a un sistema preesistente sul quale si è sviluppata la forra, oppure derivare, per decompressione laterale, dalla presenza della forra. In particolare, da foto a distanza prese nel corso delle visite (Figura 6-1 e Figura 6-2), si può notare, in corrispondenza di scavi eseguiti presumibilmente nell'ambito dei lavori per la diga, la presenza di fratture aperte che da una analisi stereometrica potrebbero essere parallele all'asse del Rio Torto. Anche se l'apparenza suggerisce che le fratture siano superficiali e legate agli scavi, un approfondimento sulla presenza, natura ed estensione di questa o altri elementi di questo tipo sia meritoria di attenzione, nelle future fasi dello sviluppo progettuale.

In ogni caso, questo sistema di giunti è importante in quanto orientato in modo favorevole all'ingresso dell'acqua dell'invaso nella sponda e nelle spalle della diga. Questa possibilità è attualmente controllata con una cortina di iniezioni che coprono porzioni significative delle spalle.

La diga in pietrame è interamente fondata su materiali descritti come argille siltose plumbee con sottili intercalazioni arenacee, dopo aver asportato una coltre superficiale alterata, di circa 2 m. I materiali sono descritti come di buone caratteristiche meccaniche e praticamente impermeabili.

Come discusso, il passaggio tra la fondazione calcarea e il flysch avviene tra la diga a speroni e quella in pietrame. La presenza della faglia subparallela all'asse delle dighe principali ha determinato la presenza di zone particolarmente alterate sotto l'imposta della diga a speroni, con conseguente necessità di importanti rimozioni di materiale scadente e ripristino con calcestruzzo di riempimento.



(United States) 

Figura 6-1 - Invaso di Montagna Spaccata. Vista della spalla sinistra della diga principale. Il blocco di calcare miocenico digrada verso la destra



Figura 6-2 - Invaso di Montagna Spaccata. Vista di dettaglio della precedente foto della spalla sinistra della diga principale. Dalla finestra generata da una cava di prestito dismessa, si nota che il calcare è interessato superficialmente dalla presenza di molte famiglie di giunti. Una frattura molto aperta potrebbe estendersi anche sotto al piano della cava.

7. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI MATERIALI LUNGO L'ASSE DEL TRACCIATO

7.1. TRATTO ADIACENTE AL LAGO DI MONTAGNA SPACCATA

7.1.1. FLYSCH

La formazione geologica di più recente deposizione (termini di età Miocenica) è rappresentata da unità Flyschoidi, che presentano verso l'alto stratigrafico una spetto di copertura in Peliti e rocce terrigene argillose-marnose, mentre passando in profondità ad arenarie micacee grigiastre, a volte fogliettate, alternate ad argille siltose plumbee o subordinatamente a calcari marnosi chiari.

Nella zona compresa tra il Lago di Montagna spaccata e le pendici dei rilievi a Sud, il Flysch è presumibilmente alterato e tettonizzato per la probabile presenza di una piega, seguita dal cambio di litologia, contro le adiacenti sequenze calcaree e calcarentiche.

Per questa litologia, possiamo individuare tre termini:

- Coperture di alterazione
- Flysch fittamente stratificato
- Flysch tettonizzato e/o alterato

Coperture

I termini descritti nel presente paragrafo si riferiscono alla facies di copertura terrigena, frequentemente diffusa in particolare nelle zone di valle, dove possono localmente sovrapporsi anche fenomeni di natura gravitativa dai pendii. Nelle zone in cui affiorano, tali depositi forniscono una morfologia blanda con pendii poco inclinati.

La facies di copertura del Flysch di monte può essere interpretata come la porzione di alterazione del substrato ubicato a maggiori profondità (> 5, 10 m da p.c.), e presenta dunque litotipi di terreni siltoso-argillosi con clasti poligenici, spesso disposti lungo gli allineamenti di strato originari.

Di seguito sono riportati i caratteri di resistenza, ottenuti da bibliografia in quanto risultano necessarie specifiche prove geotecniche al fine di poterli caratterizzare in maniera sito-specifica.

copertura (Flysch molto alterato)			
γ	18	kN/m ³	(Peso di volume)
γ_{sat}	19	kN/m ³	(Peso di volume saturo)
c'	5	Kg/cm ²	(Coesione)
ϕ	26	°	(Angolo di attrito interno)
C_u	80	Kg/cm ²	(Coesione non drenata)
C_c	0.2-0.3		(indice compressibilità)
Q_c	20-R	Kg/cm ²	(Resistenza alla punta)

Flysch fittamente Stratificati (RG19) relativamente indisturbati e alterati/tettonizzati

Tale facies del Flysch è stata osservata unicamente in un punto di rilievo (RG19), corrispondente ad un taglio di pendio lungo la strada che sale da Alfedena verso il lago di Montagna Spaccata. Si è potuto apprezzare una leggera stratificazione della componente arenacea marnosa e che presentava una bassa cementazione e una elevata tendenza a sfaldarsi. I livelli di strato avevano uno spessore massimo di 1-3 cm.

Anche se è pensabile che in altre zone gli spessori di strato possano aumentare, riteniamo prudente adottare in questa sede ipotesi prudenziali circa le potenziali caratteristiche. Dal punto di vista della classificazione, si assume che il Flysch indisturbato possa essere qui caratterizzato con un $GSI = 45$ $\sigma_{mac} = 10$ MPa, mentre per le fasce alterate/tettonizzate si adotta $GSI = 20$ e $\sigma_{mac} = 8$ MPa.

I parametri ottenuti sono riassunti nella seguente tabella e rappresentati in Tabella 7-1 e Figura 7-1.

Tabella 7-1 - Parametri di Hoek-Brown generalizzato per i Flysch del tratto di monte

	Flysch_Alterato	Flysch_Monte
σ_{ci} (MPa)	8	10
GSI	20	45
mi	8	8
D	0	0
Ei (MPa)	1400	1750
modulus ratio	175	175

mb	0.46	1.12
a	0.54	0.51
s	1.38E-04	2.22E-03

application	tunnels	tunnels
sig3max (MPa)	0.25	0.38
unit weight (MN/m3)	0.026	0.026
tunnel depth (m)	20	30
slope height (m)	N/A	N/A

ϕ (°)	34.77	42.5
cohesion (MPa)	0.05	0.14

σ_t (MPa)	-2.40E-03	-0.02
σ_c (MPa)	0.06	0.45
σ_{cm} (MPa)	0.58	1.4
Em (MPa)	63.94	391.39

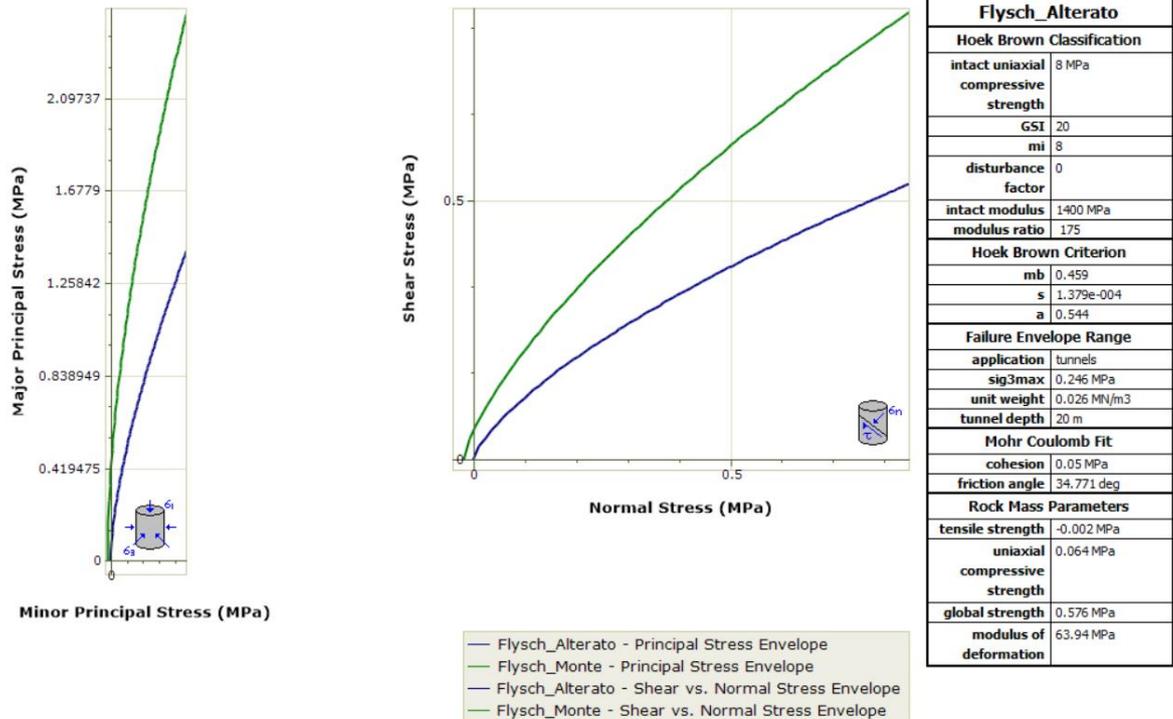


Figura 7-1 – Involuppi nel piano delle pressioni principali e nel piano di Mohr-Coulomb per i Flysch del tratto di monte

7.2. TRATTO CENTRALE

7.2.1. CALCARI E CALCARENITI INTATTI

Rispetto alla descrizione fornita dal foglio geologico alla scala 1:100 000 della carta geologica d'Italia, queste litologie sono riconducibili ai termini carbonatici appartenenti alla facies Molisana (M⁵⁻⁴) e di Soglia e Avansoglia (C⁶ - G¹⁰). Tali formazioni sono costituite da litologie passanti da Calcareniti talora ben stratificate a Calcari micritici; si osservano inoltre alternanze in livelli marnosi.

Come già affermato in precedenza, tali formazioni presentano caratteristiche di resistenza omogenee negli affioramenti che presentano un basso livello di fratturazione, nell'intera area in esame.

A seguito dei rilievi eseguiti ed in particolare al rilievo di dettaglio eseguito nel punto RG1 è stato possibile definire la qualità meccanica della matrice roccia caratterizzante gli affioramenti dell'area in esame.

I dati di input e i risultati sintetici sono presentati in Tabella 7-2 e in Figura 7-2

7.2.2. FACIES CALCAREE CATACLASTICA (TETTONIZZATA)

La formazione litologica è la medesima di quella descritta al precedente paragrafo, ma si fa riferimento a quelle porzioni di affioramenti rocciosi affioranti nelle fasce cataclaste di faglia. In tali zone la fratturazione gioca un ruolo fondamentale nella definizione della resistenza geomeccanica dei materiali, in quanto risulta di maggiore entità a causa degli stress tettonici che hanno interessato l'area. Seppure la matrice lapidea risulti la stessa, la disaggregazione degli ammassi si presenta elevata e gli affioramenti presentano uno sblocchettamento in clasti di dimensioni decimetriche.

I dati di input e i risultati sintetici sono presentati in Tabella 7-2 e in Figura 7-2

Tabella 7-2 - Parametri di Hoek-Brown generalizzato per le calcarenite e i calcari del tratto centrale

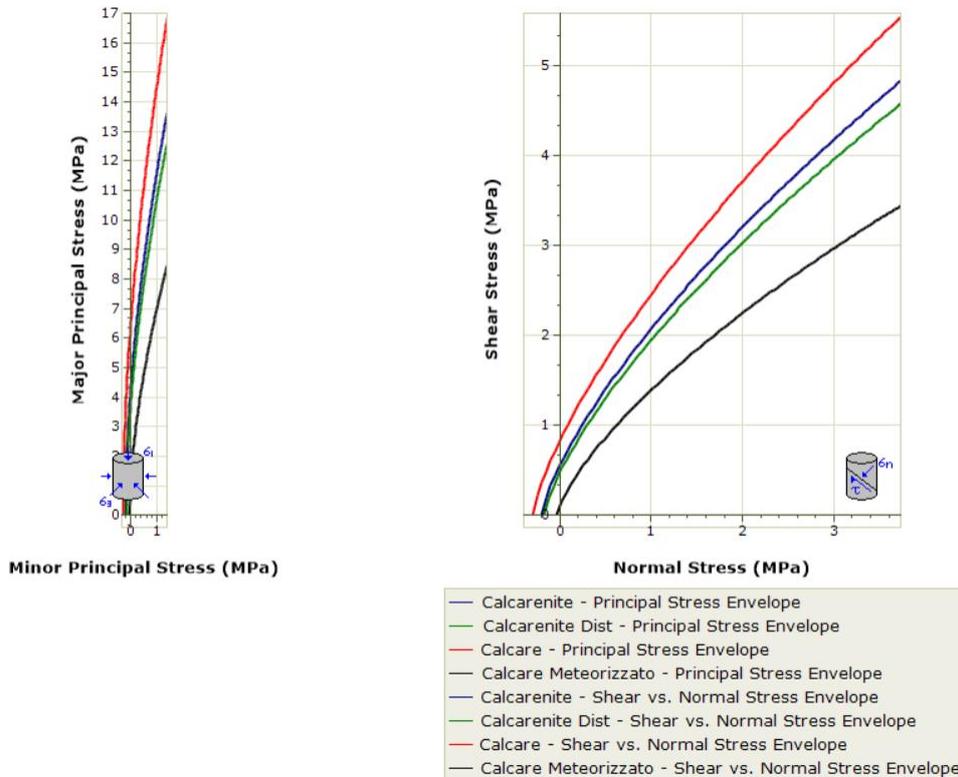
	Calcarenite	Calcarenite Disturbata	Calcare	Calcare Meteorizzato
σ_{ci} (MPa)	40	40	60	40
GSI	60	60	60	35
mi	10	10	10	10
D	0	0.2	0	0
Ei (MPa)	12000	36000	54000	12000
modulus ratio	300	900	900	300

mb	2.4	2.04	2.4	0.98
a	0.5	0.5	0.5	0.52
s	0.01	8.55E-03	0.01	7.30E-04

application	tunnels	tunnels	tunnels	tunnels
sig3max (MPa)	1.31	0.68	1.35	1.27
unit weight (MN/m3)	0.026	0.026	0.026	0.026
tunnel depth (m)	100	50	100	100
slope height (m)	N/A	N/A	N/A	N/A

ϕ (°)	49.5	52.75	52.04	42.73
cohesion (MPa)	0.81	0.59	1.07	0.4

σ_t (MPa)	-0.2	-0.17	-0.29	-0.03
σ_c (MPa)	4.28	3.65	6.42	0.96
σ_{cm} (MPa)	8.73	7.99	13.1	4.97
Em (MPa)	6240	14724.5	28080	1360.88



Calcare Meteorizzato	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	40 MPa
GSI	35
mi	10
disturbance factor	0
intact modulus	12000 MPa
Hoek Brown Criterion	
mb	0.981
s	7.302e-004
a	0.516
Failure Envelope Range	
application	tunnels
sig3max	1.27 MPa
unit weight	0.026 MN/m ³
tunnel depth	100 m
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	0.403 MPa
friction angle	42.728 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.03 MPa
uniaxial compressive strength	0.963 MPa
global strength	4.972 MPa
modulus of deformation	1360.884 MPa

Figura 7-2 - Inviluppi nel piano delle pressioni principali e nel piano di Mohr-Coulomb per le calcareniti e i calcari del tratto centrale

7.3. TRATTO DI VALLE

7.3.1. FLYSCH

Pur essendo completamente interessata dai flysch, la zona corrispondente al tratto di valle è quella in cui i possibili punti di osservazione sono estremamente ridotti e in nessun caso è stato possibile effettuare un vero e proprio rilievo.

Dalle indicazioni raccolte, tuttavia, è pensabile che lo spessore degli strati sia qui leggermente superiore a quanto osservato a monte, così come la roccia sembrerebbe un po' più competente.

Per questa litologia, possiamo individuare 3 termini:

- Coperture
- Flysch a bancate più spesse indisturbato
- Flysch alterato/tettonizzato in corrispondenza di faglie o di passaggi di litologia

Coperture

La facies di copertura del Flysch del tratto di valle è costituita da coltri più o meno spesse, di terreni siltoso-argillosi con clasti poligenici, derivanti dalla disaggregazione degli strati.

Caratteristiche tipiche possono essere assunte come riportato in tabella.

copertura (Flysch molto alterato)			
γ	18	kN/m ³	(Peso di volume)
γ_{sat}	19	kN/m ³	(Peso di volume saturo)
c'	5	Kg/cm ²	(Coesione)
ϕ	26	°	(Angolo di attrito interno)
C_u	80	Kg/cm ²	(Coesione non drenata)

Cc	0.2-0.3		(indice compressibilità)
Qc	20-R	Kg/cm ²	(Resistenza alla punta)

Flysch a bancate

Come discusso il flysch a bancate più spesso è presumibilmente presente in profondità, mentre evidenze dirette sono rare e presumibilmente confinate alla sola zona compresa tra Pizzone e il Lago di Castel San Vincenzo.

Qui, infatti, è stato possibile individuare le testate delle bancate affioranti, anche solo lungo l'asse di drenaggio del Rio.

L'estensione è comunque limitata e non consente di fare una vera e propria classificazione anche se le caratteristiche visibili appaiono migliori di quelle osservate altrove.

I dati di input e i risultati sintetici sono presentati in Tabella 7-3 e in Figura 7-3

Flysch alterati o tettonizzati

Come discusso il flysch a bancate più spesso è presumibilmente presente in profondità, mentre evidenze dirette sono rare e presumibilmente confinate alla sola zona compresa tra Pizzone

I dati di input e i risultati sintetici sono presentati in Tabella 7-3 e in Figura 7-3

Tabella 7-3 - Parametri di Hoek-Brown generalizzato per le calcareniti e i calcari del tratto di valle

	Flysch_Alterato	Flysch_indisturbato
σ_{ci} (MPa)	10	15
GSI	20	45
mi	8	8
D	0	0
Ei (MPa)	1750	2625
modulus ratio	175	175

mb	0.46	1.12
a	0.54	0.51
s	1.38E-04	2.22E-03

application	tunnels	tunnels
sig3max (MPa)	0.59	0.39
unit weight (MN/m3)	0.026	0.026
tunnel depth (m)	50	30
slope height (m)	N/A	N/A

ϕ (°)	29.8	45.48
cohesion (MPa)	0.1	0.17

σ_t (MPa)	-3.00E-03	-0.03
σ_c (MPa)	0.08	0.67
σ_{cm} (MPa)	0.72	2.1
E_m (MPa)	79.93	587.08

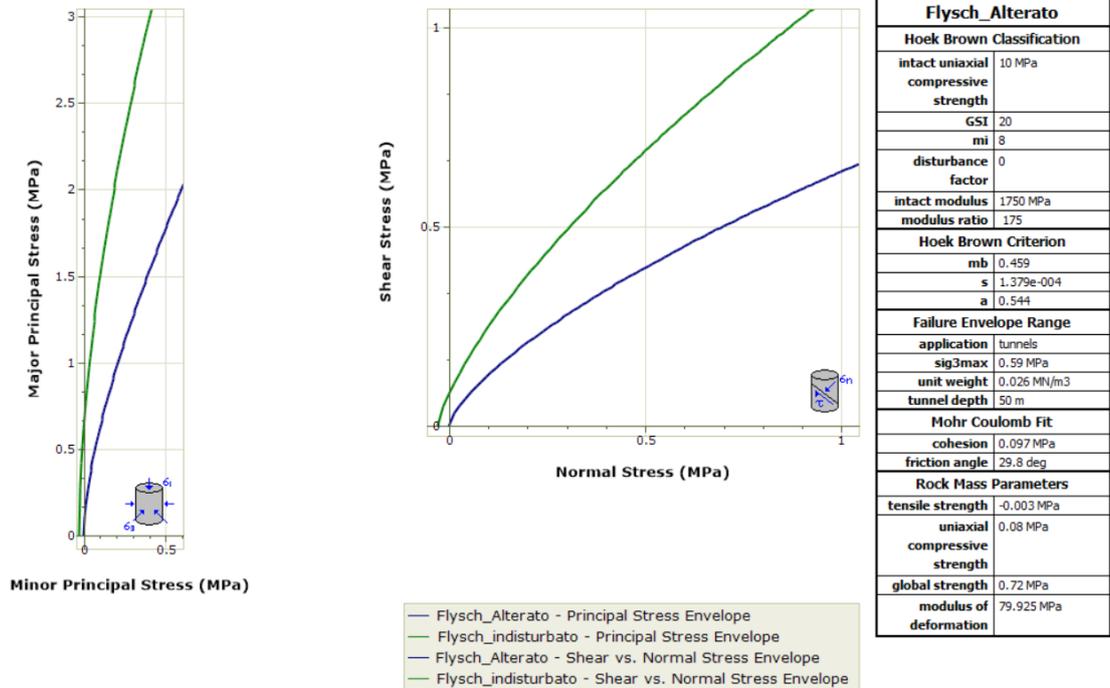


Figura 7-3 - Involuppi nel piano delle pressioni principali e nel piano di Mohr-Coulomb per i flysch del tratto di valle

7.4. ZONA DELLA NUOVA CENTRALE

Nella zona della nuova centrale si riscontrano le seguenti litologie, che possono essere riferite ai materiali indicati nei paragrafi precedenti. In particolare:

- Calcarì sani
- Flysch alterati con caratteristiche simili a quelle del tratto di valle
- Coperture detritiche con caratteristiche paragonabili a quelle delle coperture del tratto di valle (anche se presumibilmente includono blocchi sparsi di una certa dimensione)

7.5. IMBOCCO GALLERIE DI ACCESSO ALLA TORRE PIEZOMETRICA DI MONTE

I materiali presenti sono sostanzialmente i calcarì della dosale centrale e le coperture viste per i materiali flyschidi di valle, presentati nei paragrafi precedenti.

8. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DELLA FONDAZIONE DELLA DIGA DI CASTEL SAN VINCENZO

8.1. INDAGINI

Sono disponibili i risultati di indagini condotte nel 2002, in cui sono stati eseguiti 6 sondaggi a partire dal paramento di valle, lungo le berme superiore (1) e inferiore (2).

Il quadro dei campioni disponibili per ciascuno dei materiali del corpo diga e della sua fondazione è il seguente.

Vista la posizione dei prelievi, non sono disponibili dati sul contronucleo di monte (presumibilmente uguale a quello di valle, a parte la piena saturazione del materiale) e sul nucleo.

		A1	A2	B1	B2	C1	C2
Contronucleo V	Rimaneggiati	rim1, rim2		rim1, rim2	rim1, rim2	rim1, rim2	rim1, rim2
	Indisturbati						
filtro	Rimaneggiati			rim2?			
	Indisturbati						
argilla fond sup	Rimaneggiati	rim3	rim1?	rim3	rim3, rim4?	rim3	rim3
	Indisturbati						C1, C2
argilla fond prof	Rimaneggiati	rim4	rim2	rim4	rim4?	rim4	rim4
	Indisturbati						C3,C4,C 5

? il punto interrogativo indica che il prelievo è in prossimità di un passaggio di strato e quindi esiste un certo livello di incertezza sulla sua attribuzione

8.2. CONTRONUCLEO DI VALLE

Il materiale da contronucleo è una ghiaia sabbiosa limosa, con fini a bassa plasticità. Non sono state al momento recuperate le curve granulometriche determinate durante la costruzione su campioni prelevati direttamente dalle stese. Il materiale sottoposto a prova nella campagna di indagini del 2002 è stato prelevato con sondaggi e quindi potrebbe non contenere le frazioni più grossolane, invece presenti nella realtà.

La tabella che segue riassume i dati di classificazione disponibili. La ghiaia è in percentuale preponderante e presenta un diametro massimo $D_{max} = 20-60$ mm. Sabbia e fini si equivalgono in proporzione. I limiti della parte fine sono $LL=22-36$ % e $PI= 11-21$ %, con un indice medio di attività colloidale pari a $A = 0.5$ circa.

Non abbiamo dati recenti circa lo stato di addensamento del materiale riscontrato in situ. Dalla Relazione di Collaudo ricaviamo che il materiale è stato compattato in strati da 30 cm, con 5-10 passate di rullo vibrante Vibro-Werken CH30, di massa 3400 kg (non chiaro se complessiva o del solo tamburo). Densità secca $gd = 20.8 - 20.9$ kN/m³, contenuto d'acqua $w = 6.1 - 7.0$ %.

Nell'indagine di laboratorio, sono state eseguite una prova di compattazione con energia AASHTO standard e alcune prove di resistenza triassiale su una miscela ottenuta dei materiali prelevati. La curva granulometrica della miscela taglia diagonalmente il fuso dei materiali da contronucleo, per cui il materiale sottoposto a prove risulta più uniforme della media riscontrabile in situ.

La prova di compattazione ha dato $\gamma_{opt} = 21.5 \text{ kn/m}^3$ e $w_{opt} = 7.5 \%$. I valori (medi) riscontrati durante la costruzione sono leggermente più bassi come sia come peso di volume che come contenuto d'acqua e giacciono in pratica sul ramo secco della curva di compattazione.

La resistenza individuata per i materiali compattati all'ottimo standard è risultata pari a $c = 0 \text{ kPa}$ e $\phi = 39^\circ$. Si osserva che il campo delle tensioni di confinamento applicato non raggiunge le massime prevedibili in realtà. In aggiunta lo stato di addensamento in sito potrebbe essere nel complesso leggermente diverso dal massimo ottenuto in laboratorio.

Per questi motivi e considerato che la densità riscontrata è leggermente inferiore a quella dei provini sottoposti a prova, appare prudentiale assumere per i contronuclei una resistenza pari a $c = 0 \text{ kPa}$ e $\phi = 38^\circ$.

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROF DA	PROF A	G+C	S	L	A	#200	#0.42	LL	PL	PI	Act	
A1	R1	13.5	13.8	44	28	16	12	29	35	25	11	14	0.408	
	R2	19	19.25	59	20	11	9	22	28	33	15	18	0.560	
A2	SPT1	2.8	3.25	74	11	7	8	15						
	SPT2	5	5.45	65	16	10	9	20						
B1	R1	8.5	8.7	45	32	13	10	24	35	22.3	11.5	10.8	0.378	
	R2	18.5	18.7	54	24	13	9	23	30	35.8	14.9	20.9	0.697	
B2	R1	5	5.3	66	12	11	11	23						
	R2	10	10.25	52	22	16	10	27						
C1	R1	3.4	3.75	69	14	10	7	18						
	R2	13	13.3	58	21	12	10	23						
C2	R1	3.7	3.95	64	19	7	9	17	22	34.2	13.9	20.3	0.496	
	R2	5.6	5.85	67	15	10	8	19						
MIX	MIX1			52	28	15	5	20						
		min		44	11	7	5	15	22	22.3	11.0	10.8	0.378	
		max		74	32	16	12	29	35	35.8	15.0	20.9	0.697	
		media		59	20	12	9	22	30	30.1	13.3	16.8	0.508	

8.3. NUCLEO

Il materiale da nucleo è derivato da quello del contronucleo con aggiunta di poca bentonite. Si può assumere che le sue proprietà non differiscano significativamente da quelle dei contronuclei.

I pochi dati disponibili possono essere desunti dalla Relazione di Collaudo. Si rileva che il materiale da nucleo è derivato da quello di base Jemmare, con eliminazione della frazione più grossolana, e aggiunta di sabbia di frantoio e bentonite, nelle seguenti proporzioni:

- Materiale di cava < 50 mm 78%
- sabbia di frantoio e 20%
- bentonite 2%

Compattazione in strati da 20 cm, con 8-12 passate di mezzi gommati a 8 ruote di peso

complessivo 250 qli. Densità secca $gd = 20.1 - 20.5 \text{ kN/m}^3$, contenuto d'acqua $w = 8.8-9.3\%$.

La permeabilità è presumibilmente inferiore di 0.5-1 ordine di grandezza, come del resto attestato dalla Relazione di Collaudo, che riporta un valore medio in sede sperimentale (iniziale) pari $k = 10E-6 \text{ cm/s}$.

La resistenza è presumibilmente relativamente alta, essendo la preponderanza del materiale formata da frazioni ghiaiose e sabbiose. Si assume $c = 5 \text{ kPa}$ e $fi = 30^\circ$.

8.4. FONDAZIONE SUPERFICIALE

La fondazione superficiale è mediamente descritta come un limo con argilla debolmente sabbioso con tracce di ghiaia. Rappresenta l'alterazione delle argille marnose sottostanti. Il contenuto di argilla è alto, ossia compreso tra 26 e 40%.

I limiti di Atterberg sono $LL = 43-58\%$ e $PI = 22-39\%$, il che pone questi materiali sopra la linea A del diagramma di plasticità, nelle argille inorganiche di plasticità medio-alta. L'attività colloidale è risultata $A = 0.5 - 1$, che corrisponde a minerali argillosi abbastanza attivi.

Il peso di volume è mediamente $\gamma = 20.9 - 21.3$, con contenuto d'acqua $w = 14 - 18\%$, con 1 solo valore inferiore pari a 12%.

La resistenza non drenata, ottenuta da una singola prova TxUU è pari a $q/2 = 124 \text{ kPa}$, con $w = 17\%$. Non è possibile determinare se questo corrisponda a s_u (servirebbero più provini).

La resistenza in termini efficaci da prove triassiali e di taglio è risultata nel range:

- Picco: triassiale $c = 0 \text{ kPa}$ e $fi = 31^\circ$, taglio diretto $c = 0 \text{ kPa}$ e $fi = 20-25^\circ$.
- Critica: triassiale $c = 0 \text{ kPa}$ e $fi = 25.8^\circ$
- Residua: taglio diretto ciclatto $c = 0 \text{ kPa}$ e $fi = 14^\circ$ (coerente con contenuto e tipo di argilla presente nel materiale)

Appare ragionevole assumere per la fondazione superficiale una resistenza pari a $c = 0 \text{ kPa}$ e $fi = 24^\circ$. Si osserva che per la porzione di monte, perennemente sommersa, l'assorbimento di acqua potrebbe aver portato la resistenza su valori più bassi, all'interno del range determinato in laboratorio. La resistenza non drenata è prudenzialmente stimabile in $s_u = 100 - 120 \text{ kPa}$, essendo il contenuto d'acqua al limite plastico o leggermente superiore.

CAMPIONE	PROF DA	PROFA	G	S	L	A	#200	#0.42	LL	PL	PI	Act	
R3	22	22.3	8	5	49	38	88	90	55.7	17.9	37.8	0.895	
R1	17.6	18	0	3	60	37	99	99	49.3	27.4	21.9	0.586	
R3	20.7	21	3	11	51	35	90	96	51.4	17.5	33.9	0.930	
R3	14.8	15	0	5	59	37	100	100	58.3	19.4	38.9	1.051	
R4	15.75	15.8	1	5	59	34	95	98	43.4	21	22.4	0.646	
R3	18.65	19	22	18	35	26	63	68	51.7	19.7	32	0.837	
I1	9	9.5	4	4	55	37	93	95	51	23	28	0.719	
R3	9.3	9.5	0	1	59	40	100	100	49.8	21.9	27.9	0.698	
I2	11.6	12	5	9	57	30	90	95	45	18	27	0.855	
	min		0	1	35	26	63	68	43.4	17.5	21.9	0.586	
	max		22	18	60	40	100	100	58.3	27.4	38.9	1.051	

	media		5	7	54	35	91	93	50.6	20.6	30.0	0.802	

8.5. FONDAZIONE PROFONDA

La fondazione profonda è anch'essa sostanzialmente descritta come un limo con argilla debolmente sabbioso con tracce di ghiaia. Il contenuto di argilla è compreso tra 17 e 37%. Rispetto alle argille superficiali, presenta un contenuto di sabbia e ghiaia maggiore e un contenuto di argilla inferiore, presumibilmente legati a un minor grado di alterazione.

I limiti di Atterberg sono $LL = 31-49\%$ e $PI = 11-24\%$, il che pone questi materiali sopra la linea A del diagramma di plasticità, nelle argille inorganiche di plasticità medio-bassa. L'attività colloidale è risultata $A = 0.5 - 0.8$, che corrisponde a minerali argillosi mediamente attivi (un valore pari a 0.2 è probabilmente sbagliato e presumibilmente legato ad un errore di trascrizione del Limite di plasticità $PL = 26$ anziché 16)

Il peso di volume è mediamente $\gamma = 21.8 - 22.5$, con contenuto d'acqua $w = 7 - 11\%$.

La resistenza non drenata, ottenuta da 2 singola prova TxUU è pari a $q/2 = 366$ e 470 kPa, con $w = 9\%$, circa. E' pensabile che questo corrisponda a $su = 470$ kPa o maggiori.

La resistenza in termini efficaci da prove triassiali e di taglio è risultata nel range:

- Picco: triassiale $c = 0$ kPa e $fi = 25-28^\circ$, taglio diretto $c = 0$ kPa e $fi = 21-(31)^\circ$, (31° un solo punto, forse anomalo).
- Critica: triassiale $c = 0$ kPa e $fi = 24.9^\circ$
- Residua: taglio diretto ciclatto non disponibile

Appare ragionevole assumere per la fondazione profonda una resistenza pari a $c = 10 - 15$ kPa e $fi = 24^\circ$. Si osserva anche in questo caso, che per la porzione di monte, perennemente sommersa, l'assorbimento di acqua potrebbe aver portato la resistenza su valori più bassi, all'interno del range determinato in laboratorio.

SONDAGGIO	CAMPIONE	PROF DA	PROF A	G	S	L	A	#200	#0.42	LL	PL	PI	Act
A1	R4	28.75	29	11	5	58	26	86	88	33.9	14.1	19.8	0.670
A2	R1	17.6	18	0	3	60	37	99	99	49.3	27.4	21.9	0.586
	R2	19.6	20	1	5	58	36	97	99	36.7	26 (*)	10.7 (*)	0.294 (*)
B1	C4	27	27.3	17	12	52	19	75	78	31.2	19.6	11.6	0.476
B2	R4	15.75	15.8	1	5	59	34	95	98	43.4	21	22.4	0.646
C1	R4	26.5	26.8	15	21	47	17	66	70	36.5	16.5	20	0.824
C2	I3	13	13.49	6	8	51	34	87	90	40	16	24	0.635
	I4	16	16.3	23	11	49	18	70	73	36	16	20	0.811
	R4	16.65	16.9	8	11	57	23	82	86	35.8	17.4	18.4	0.688
	I5	17.6	18	18	9	52	21	75	78	38	18	20	0.743
		min		0	3	47	17	66	70	31.2	14.1	10.7	0.294
		max		23	21	60	37	99	99	49.3	27.4	24.0	0.824
		media		10	9	54	27	83	86	38.1	19.2	18.9	0.637

*) valore presumibilmente non corretto

9. INQUADRAMENTO SISMICO

9.1. ASPETTI GENERALI

Vengono qui dati alcuni cenni, mentre per una analisi più dettagliata si fa riferimento ai lavori sviluppati da CESI per la zona del Lago di Montagna Spaccata e del Lago di Castel SanVincenzo.

L'Appennino meridionale presenta una storia sismica tra le più severe dell'Italia, sia in termini di intensità che di frequenza di terremoti.

Le zone sismogenetiche sono caratterizzate da un'elevata pericolosità sia per il livello di sismicità che per l'elevata attività neotettonica.

Nell'area dell'Appennino meridionale, nella quale è compreso il territorio indagato, le zone maggiormente interessate nel tempo da eventi sismici con magnitudo superiore a 5 sono quelle ubicate in corrispondenza della catena montuosa appenninica.

L'allineamento degli epicentri di questi eventi sismici è evidentemente collegato con la struttura geologica della regione, in particolare gli epicentri si concentrano prevalentemente a ridosso del confine tra la catena Appenninica e l'Avanfossa Bradanica, mentre il loro numero decresce nei settori interni della catena (prossimi al Mar Tirreno) e nel settore adriatico.

In base alla mappa della zonazione sismogenetica ZS9 di figura 1 redatta dall'INGV (2004) nell'Appennino Meridionale sono state individuate due aree:

-La prima caratterizzata dal massimo rilascio di energia legata ai processi distensivi che hanno interessato l'Appennino Meridionale a partire da 0,7 Ma circa. Tali aree coincidono con il settore assiale della catena. Per queste aree il meccanismo di fogliazione più diffuso è del tipo faglia diretta (in prevalenza sistemi di faglie ad andamento NW-SE), la magnitudo degli eventi sismici non è inferiore a 5 e la profondità epicentrale è compresa tra 8-12 km. I settori occidentali dei bacini del Bradano, Basento; dell'Agri, del Sinni ed il settore orientale del bacino del Noce ricadono in questo tipo di zona sismogenetica;

-La seconda area caratterizzata dal rilascio di energia imputabile a meccanismi di fogliazione tipici delle faglie trascorrenti. La magnitudo non è inferiore a 5 e la profondità degli epicentri oscilla tra i 12 e 20 km. Queste zone sismogenetiche sono connesse a lineamenti tettonici ad andamento W-E.

9.2. INQUADRAMENTO SISMICO DELL'AREA

Come baricentro abbiamo il comune di Pizzone, che risulta essere inserito in Zona Sismica 1, a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico superiore a 0.25 ag/g.

I calcoli sismici sono stati eseguiti come da normativa utilizzando il quadrante di riferimento rispetto all'ubicazione del sito, che come osservabile nella figura sottostante, indica per il sito valori nel range 0,250-0,275 ag/g.

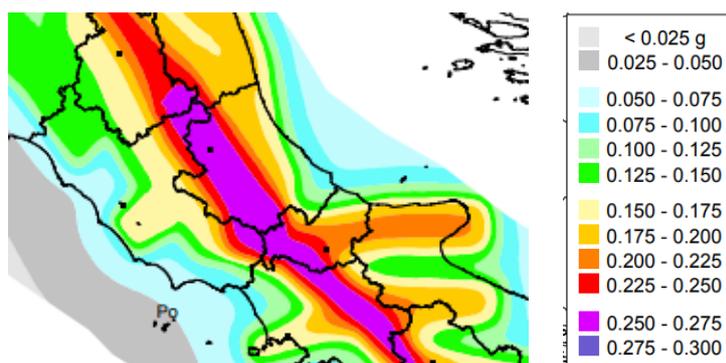


Figura 9-1 - Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale – Estratto non in scala

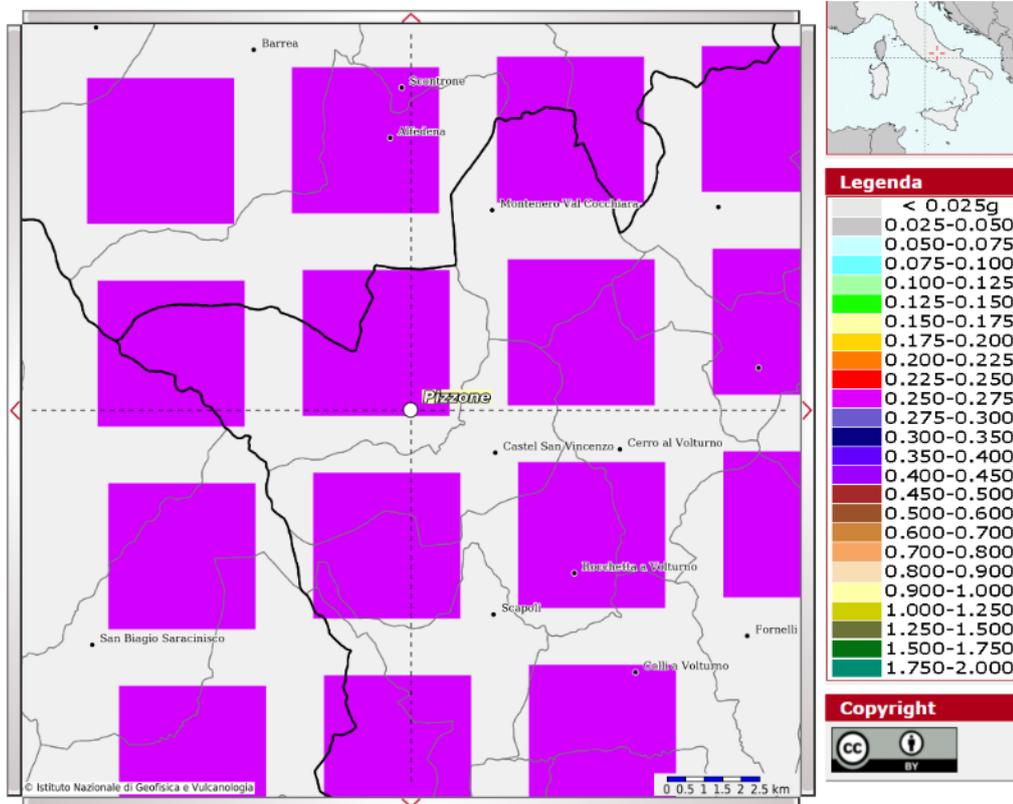


Figura 9-2 - Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale espressa in termini accelerazione massima al suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi (Ordinanza 3519-06)

9.3. ZONAZIONE SISMOGENETICA

Da un punto di vista sismogenetico l'area si trova nei pressi di un'area nota come "Salto Lake-Ovindoli-Barrea" a sigla (ITCS025).

Questa sorgente composita si colloca a cavallo della dorsale dell'Appennino centrale tra i rilievi a SE della pianura reatina (a nord-ovest) e l'alta valle del Sangro R. (a sud-est), attraverso la pianura del Fucino.

Questa Sorgente rientra nel nucleo del sistema di faglie normali interne abruzzesi, a immersione SW, che segna il confine estensivo occidentale dell'Appennino centrale.

I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) mostrano un intermedio particolarmente denso ($4,5 < M_w < 5,0$) alla sismicità dannosa all'interno dell'area.

Inoltre, questa sorgente è stata colpita da alcuni complessi e distruttivi terremoti; i principali sono il 9 settembre 1349 (M_w 6.5, Aquilano), e il 13 gennaio 1915 (M_w 7.0, Avezzano), uno dei terremoti più studiati della storia sismica italiana.

Infine, il terremoto del 7 maggio 1984 (M_w 5,9) dell'Appennino abruzzese si è verificato all'estremità meridionale di questa sorgente.

Un segmento di questa Fonte è stato responsabile del catastrofico evento del 1915.

A sud della Sorgente, un'ulteriore faglia causò l'evento del 1984, che si rivela piuttosto significativo per la sua posizione al passaggio tra i grandi sistemi di faglie normali a SW (in Abruzzo) e a NE (in Molise) da l'Appennino centro-meridionale.

Alcuni segmenti di questa sorgente sono stati associati a terremoti distruttivi chiave che si sono verificati in quest'area.

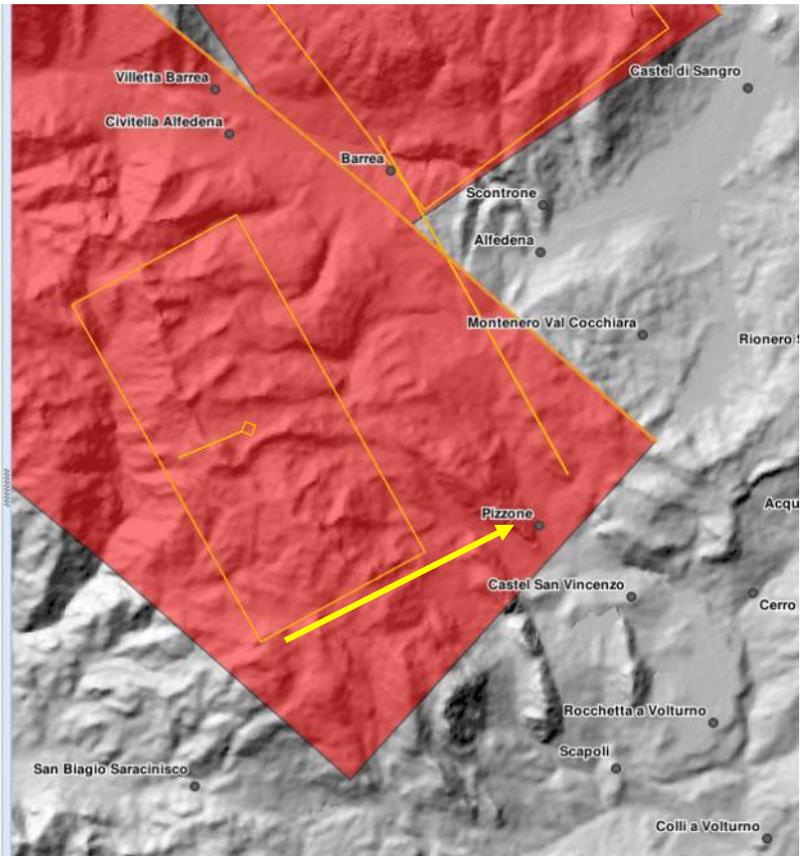
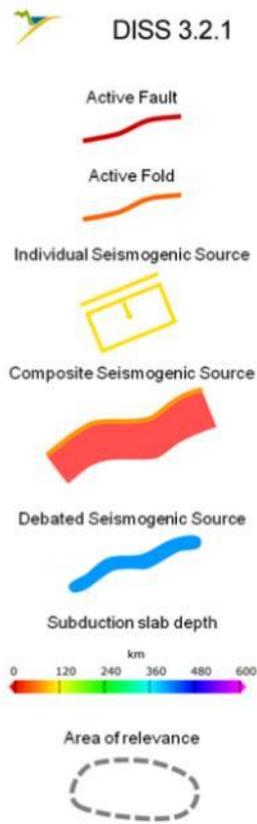


Figura 9-3 - Estensione della zona sismogenetica di riferimento che interessa l'area in studio (freccia ubicazione area)

9.4. SISMICITÀ STORICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE

Di seguito sono descritti gli eventi principali che dal XVII secolo hanno avuto effetti macrosismici significativi nell'area di studio.

L'area di interesse è stata storicamente interessata da sismi anche di media - forte intensità.

Il database macrosismico, utilizzato nel 2004 per la compilazione del catalogo CPTIO4 (Gruppo di lavoro CPTI, 2004), permette di visionare la storia sismica delle località italiane presenti almeno tre volte in DBMI04 (5325 località in totale).

Le informazioni contenute nel database hanno consentito una prima individuazione dei "centri sismici" rilevanti per il sito in esame e delle relative potenzialità in termini di intensità epicentrali storicamente documentate.

Dalla consultazione del Database Macrosismico Italiano 2015 dell'INGV (DBMI15), sono stati individuati i terremoti storici registrati nel territorio di Pizzone, riportati di seguito.

Tra i terremoti elencati, mancano alcuni sismi di minore impatto, avvenuti in tempi recenti e non ancora inclusi nei database. Notiamo in particolare il Sisma del 16 febbraio 2013, nel Comune di Alfedena (AQ), le cui caratteristiche, Magnitudo $M_w = 4.8$, Distanza minima dagli impianti $D = 36$ km, circa, $I = 3.94$, $PGA = 0.022$ g, lo pongono all'interno dell'involuppo considerato.

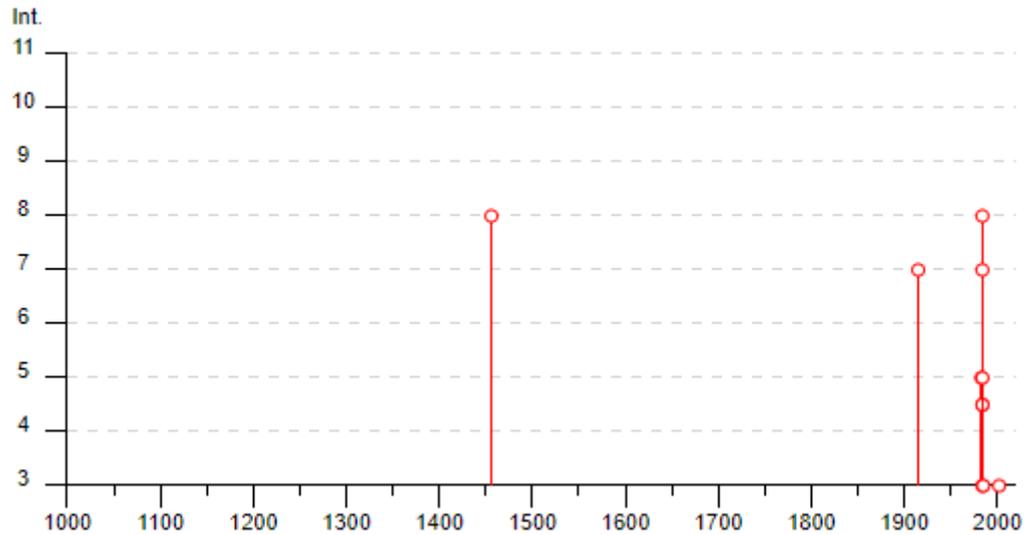


Figura 9-4 - Grafico rappresentante i principali sismi avvenuti in passato nell'area di Pizzone

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
8	1456	12	05				Appennino centro-meridionale	199	11	7.19
7	1915	01	13	06	52	43	Marsica	1041	11	7.08
5	1983	08	12	19	36	30	Monti della Meta	53	5	4.76
8	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	911	8	5.86
7	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
4-5	1984	06	19	01	27	21	Monti della Meta	14	5	4.23
4-5	1984	06	24	22	02	4	Monti della Meta	79	6	4.57
5	1984	07	01	07	47	1	Monti della Meta	74	6	4.63
3	1984	12	03	18	05	3	Monti della Meta	19	4	4.05
3	1985	03	14	23	03	5	Isernino	41	6	4.37
NF	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
NF	1992	03	15	23	44	3	Alta Valle del Volturno	52	5-6	3.78
NF	1997	03	19	23	10	5	Sannio-Matese	284	6	4.52
NF	1998	03	07	03	27	0	Isernino	63	5	3.75
NF	2000	10	25	08	42	0	Marsica	57	5	3.90
3	2002	11	01	15	09	0	Molise	638	7	5.72
NF	2003	06	01	15	45	1	Molise	501	5	4.44

Figura 9-5 - Contenente i principali sismi avvenuti in passato nell'area di Pizzone

10. INDAGINI INTEGRATIVE

10.1. ESTENSIONE

Le informazioni disponibili richiedono ulteriori approfondimenti e integrazioni per poter procedere allo sviluppo delle future fasi di progettazione.

Tali indagini dovranno essere basate su sondaggi, prove in sito, indagini geofisiche, e indagini di laboratorio. Nell'ambito di tali indagini è inoltre necessario utilizzare aerofotogrammetria e fotogrammetria terrestre per integrare il rilievo geomeccanico per quanto riguarda gli elementi strutturali più significativi (faglie, spaccature).

10.2. INDAGINI GEOTECNICHE

Riteniamo necessaria l'esecuzione di sondaggi integrativi relativamente profondi nelle seguenti zone:

- Imbocco di monte
- Tratto di monte della galleria di carico
- Pozzo paratoie di monte
- zona della centrale esistente
- tratto della condotta di valle ove la profondità della condotta è modesta
- imbocco di valle

Le informazioni lungo il tracciato nella zona centrale (dorsale calcarea) potranno essere ottenute con sondaggi corti da eseguirsi a partire dalla galleria esistente, se le condizioni di esercizio lo consentissero. In caso contrario sarà necessario eseguire almeno alcune perforazioni almeno dove gli spessori da perforare fossero relativamente meno importanti.

Sarà comunque necessario prevedere perforazioni integrative, ad esempio in corrispondenza di ciascun pozzo piezometrico, della condotta forzata e della centrale, non appena raggiunte le zone attraverso le gallerie di servizio e prima di iniziare lo scavo vero e proprio.

Tutti i sondaggi dovranno includere una restituzione video orientata, in modo da poter integrare le informazioni geomeccaniche su piccola scala. Eventuali nuovi fronti di scavo o fronti aperti disponibili dovranno essere utilizzati per integrare le informazioni geomeccaniche.

Le perforazioni dovranno includere l'esecuzione di prove in foro, che includono sia Prove SPT e di Permeabilità Lefranc nell'attraversamento di coltri superficiali o zone a consistenza non lapidea che prove d'acqua in pressione Lugeon e eventuali prove pressiometriche in materiale lapideo.

10.3. INTEGRAZIONE GEOMECCANICA MEDIANTE RILIEVI E FOTOGRAMMETRIA

Oltre all'integrazione topografica necessaria al progetto, sarà opportuno procedere all'esecuzione di aerofotogrammetria e fotogrammetria terrestre di precisione, previa installazione di punti di riferimento.

Le restituzioni dovranno essere analizzate per identificare mediante analisi 3D l'orientazione delle macrostrutture che possono interagire con il tracciato, in modo da poterle identificare e ubicare con precisione.

10.4. STRUMENTAZIONE E MONITORAGGIO

Si raccomanda l'installazione di una rete di piezometri al fine di individuare l'assetto indisturbato della falda nelle zone:

- A monte (indicativamente 1-2 piezometri)

- Lungo il tracciato ove possibile (ad esempio nell'apio vallone posto tra calcarenite e calcari (3-4 piezometri)
- Nel vallone occidentale a partire dall'imbocco delle gallerie di servizio, verso il lago di Castel San Vincenzo (4-5 piezometri)
- Centrale esistente (1-2 piezometri se non già installati)
- Zona imbocco di valle, ossia attorno al lago di Castel San Vincenzo (1-2 piezometri)

10.5. INDAGINI DI LABORATORIO

Le indagini di laboratorio dovranno includere un sufficiente numero di prove sui campioni di roccia per individuare almeno:

- Caratteristiche fisico-meccaniche di base
- Resistenza monoassiale
- Resistenza triassiale (per definire i parametri di Hoek-Brown delle carote integre)
- Abrasività dei materiali

Dovranno inoltre essere perfezionate le informazioni sulle coltri detritiche al fine di determinarne composizione, limiti, caratteristiche volumetriche, compressibilità e resistenza.

10.6. STUDIO SISMICO DELL'AREA

Le Informazioni disponibili circa la sismica dell'area dovranno essere integrate a partire da quanto incluso negli studi attualmente disponibili per le zone delle dighe di monte e di valle.