



REGIONE CALABRIA
 DIPARTIMENTO LL.PP. ED ACQUE
 SETTORE IDROPOTABILE
 GESTIONE INTEGRATA RISORSE IDRICHE



PROGETTO ESECUTIVO

COMPLETAMENTO DELLO SCHEMA IDRICO DEL MENTA
 OPERE DI MITIGAZIONE DI IMPATTO AMBIENTALE

PRESCRIZIONE N° 3

STUDIO IDROGEOLOGICO DELLA GALLERIA DI DERIVAZIONE

RELAZIONE IDROGEOLOGICA DELLA GALLERIA

REV. B	DATA:		
REDATTO: SORICAL S.p.A. - DIREZIONE TECNICA -		CONSULENZA: GEOTECHNICAL s.a.s.	
I PROGETTISTI: Ing. Domenico Barrile Arch. Luigi Giordano Geom. Giuseppe Neri			
RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: Ing. Fabrizio Bajetti			
		SCALA:	TAVOLA

INDICE

<u>RELAZIONE IDROGEOLOGICA</u>	<u>2</u>
<u>1. PREMESSE.....</u>	<u>2</u>
<u>2. STUDI PRECEDENTI</u>	<u>3</u>
<u>3. DOCUMENTI ESAMINATI</u>	<u>5</u>
<u>4. ANALISI DEGLI STUDI PRECEDENTI.....</u>	<u>8</u>
<u>5. LA PERIZIA DI VARIANTE</u>	<u>32</u>
<u>6. OSSERVAZIONI DELL'IMPRESA.....</u>	<u>46</u>
<u>7 ALTRE CONSIDERAZIONI</u>	<u>69</u>
<u>5 – CONCLUSIONI</u>	<u>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</u>

RELAZIONE IDROGEOLOGICA

1. PREMESSE

La Commissione Speciale di Valutazione di Impatto Ambientale istituita presso il Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio, nella seduta del 10 maggio 2005 esprimeva il proprio parere sulla compatibilità ambientale sul Progetto di completamento dello schema idrico sulla diga del Torrente Menta ai sensi Dlgs.163/06 art.185 ex art. 20 comma 4 del D.Lgs. 20 agosto 2002 n°190, condizionandolo all'osservanza di alcune prescrizioni.

La **Prescrizione N°3** -a cui si riferisce la presente relazione specialistica- richiede testualmente che: *“Relativamente alla galleria di derivazione, già scavata, dovranno essere approfonditi, coerentemente con il livello di progettazione delle opere di completamento, e previo apposito specifico studio idrogeologico, i seguenti aspetti: delimitazione delle aree interessate dalla modificazione del profilo delle falde, eventuali provvedimenti di compensazione, tutela e utilizzo delle acque provenienti dai drenaggi; tecniche di impermeabilizzazione della galleria.”*

Per rispondere compiutamente alla prescrizione, sono stati eseguiti studi, indagini e rilievi che, partendo dall'epoca di progettazione e passando per le fasi di costruzione della galleria, hanno permesso di ricostruire il meccanismo attraverso cui si esercita la circolazione delle acque nel sottosuolo e di verificarne l'influenza sull'ambiente.

2. STUDI PRECEDENTI

La *Commissione di Collaudo* della galleria di derivazione dal Torrente Menta, con relazione trasmessa in data 5.11.2000, ha chiesto al *Responsabile del Procedimento* di chiarire in maniera l'origine e la natura di alcuni eventi verificatisi durante la costruzione della galleria.

La Regione Calabria – Dipartimento N°6 Lavori Pubblici – Settore Servizio Idrico Integrato, a cui per questo servizio successivamente si è sostituita la SORICAL, in data 11 dicembre 2002, ha affidato allo scrivente l'incarico di determinare le cause di quegli eventi e di esprimere il parere richiesto dalla Commissione di Collaudo, mettendo a disposizione i documenti tecnici occorrenti per l'espletamento del compito.

L'insieme degli atti e dei documenti presenti fra gli elaborati tecnici messi a disposizione, l'inclemenza del tempo meteorologico (al momento in cui si scrivono queste note l'intera zona è coperta dalla neve) il rivestimento totale della galleria, che impedisce ogni possibilità di esame diretto della natura e della struttura degli ammassi rocciosi incontrati in fase di scavo, le cementazioni e le iniezioni di consolidamento già eseguite che non consentono di saggiarne la consistenza originaria neanche per via indiretta hanno indotto a non richiedere indagini particolari che, in ogni caso, avrebbero richiesto il superamento di difficoltà logistiche.

Ma, pur non avendo fatto ricorso a particolari indagini geognostiche,

- l'esame diretto dei luoghi eseguito durante il semestre luglio-dicembre, prima che la copertura nevosa ne impedisse la visione;
- l'osservazione diretta dei materiali di scavo ordinatamente prelevati e conservati in cantiere;
- il dossier fotografico delle situazioni riscontrate al momento del verificarsi di alcuni "eventi geologici straordinari" e quello costruito direttamente sul terreno in corrispondenza della verticale della galleria;
- i riscontri comparati fra i diversi elaborati tecnici forniti dal Responsabile del procedimento, dalla Direzione Lavori e dall'Impresa;
- l'esame dei rapporti di cantiere scritti in contraddittorio tra l'Impresa e la Direzione dei Lavori;
- le conoscenze acquisite in alcuni decenni di studi, indagini e ricerche sull'Aspromonte, sia a livello personale e sia ad opera di studiosi italiani e stranieri che si sono occupati della geologia della regione a partire dalla fine degli anni '60 del secolo scorso;

hanno permesso di giungere a risultati che più che sufficienti per esprimere un parere documentato sulla questione idrogeologica dell'area attraversata dalla galleria di derivazione del bacino del Menta.

3. DOCUMENTI ESAMINATI

Per definire il problema sono stati esaminati i seguenti documenti:

Opere di adduzione dall'invaso sul T. Menta

1° Lotto-Galleria di derivazione-Stralcio dal progetto esecutivo (1984)

Revisione e aggiornamento

1. Relazione generale
- 1.1 Relazione integrativa
2. Corografia 1:50.000
3. Indagini geognostiche
4. Relazione geologica
5. Relazione geotecnica
6. Carta geologica
7. Profilo longitudinale

Il progetto di revisione e aggiornamento è stato presentato in data Agosto 1997 a firma dott. ing. Pasquale Pascuzzi e dott.ing Antonio Brath.

Opere di adduzione dall'invaso sul T. Menta

1° Lotto – Galleria di derivazione.

Profili sismici

In cui sono compresi :

Relazione
Inquadramento territoriale
Planimetria generale
Pianta intervento
Documentazione fotografica

Prodotti dalla SELI S.p.A. e firmati dalla Geoter s.n.c. in data 4.11.1999

Opere di adduzione dall'invaso sul T. Menta

1° Lotto – Galleria di derivazione

III Perizia di Variante e Suppletiva

I cui allegati consistono in:

- 1 -Relazione generale
- 1.1-Galleria tracciato
- 1.2-Rocce attraversate e classificazione
- 1.3-Andamento temporale dello scavo della galleria
- 1.4-Andamento temporale dello scavo con TBM e venute d'acqua
- 1.5-Schema lavorazioni - 3° evento geologico straordinario
- 1.6-Schema lavorazioni - 5° evento geologico straordinario
- 2 -Schema idrico Menta - corografia
- 3 -Galleria di derivazione -Tracciato - corografia
- 4 -Galleria di derivazione – Tracciato – Profilo longitudinale
- 5 -Galleria di derivazione – Sezioni e particolari
- 6 –Camera di fondo – Planimetria generale
- 7 –Camera di fondo – Pianta e sezione principale
- 8 –Camera di fondo – Carpenteria – Piante
- 9 –Camera di fondo – Carpenteria – Sezioni
- 10 –Camera di fondo – Carpenteria- Sezioni
- 11 –Camera di fondo – Armature getto 1^a fase
- 12 –Camera di fondo – Armature getto 2^a e 3^a fase; tav.1
- 13 –Camera di fondo – Armature getto 2^a e 3^a fase; tav.2
- 14 –Testata galleria – Armature getto 1^a fase
- 15 –Testata galleria – Armature getto 2^a e 3^a fase, tav. 1
- 16 –Testata galleria – Armature getto 2^a e 3^a fase; tav. 2
- 17 –Scavi e stabilizzazione delle scarpate – Planimetria
- 18 –Scavi e stabilizzazione delle scarpate – Sezioni – Tav. 1
- 19 –Scavi e stabilizzazione delle scarpate – Sezioni – Tav. 2
- 20 –Stima
- 21 –Analisi nuovi prezzi
- 22 –Quadro comparativo
- 23 –Schema atto di sottomissione
- 24 –Computo metrico

**RELAZIONE AGGIUNTIVA DELLA COMMISSIONE COLLAUDATRICE SULLE
RICHIESTE DI MAGGIORI COMPENSI AVANZATE DALL'IMPRESA**

5.11.2002

A-Premesse
B-Considerazioni

SELI – Georock – Prof. Ing. A LEMBO – FAZIO

6.12.2002

Eventi geologici straordinari

Menta – Eventi geologici straordinari – RELAZIONE
Menta – Eventi geologici straordinari – All. A-Scheda dei campioni
Menta – Eventi geologici straordinari – Schemi di intervento
Menta – Profilo longitudinale e dati relativi allo scavo

Si deve segnalare che sono state esaminate attentamente tutte le pubblicazioni che l'ex Casmez, la Società Geologica Italiana, il CNR-IRPI, il Gruppo Nazionale di Geologia Applicata (oggi A.I.G.A.) e la società Stretto di Messina hanno pubblicato nel corso del tempo sulla geologia, sulla tettonica e sulla geomorfologia dell'Aspromonte.

Infine, sono stati eseguiti sopralluoghi e rilievi idrogeologici di verifica.

4. ANALISI DEGLI STUDI PRECEDENTI

RELAZIONE GEOLOGICA – RELAZIONE GEOTECNICA – INDAGINI GEOGNOSTICHE

Il primo progetto esecutivo della galleria (1984) è stato impostato su

- una campagna di **indagini geognostiche**, attribuite alla Fondedile S.p.A. di Napoli ed eseguite prima della presentazione del progetto principale,
- una **Relazione geologica** redatta dal dott. geol. Domenico Imparato,
- una **Relazione geotecnica** redatta dal prof. ing. Luigi Esposito.

Le indagini geognostiche consistono in 9 sondaggi meccanici, numerati da 1 a 8 più un sondaggio classificato 1 bis, le cui stratigrafie si trovano agli atti sotto l'intestazione **Cassa per il Mezzogiorno PS/26/2026 Adduzione dall'invaso del Menta**. Fanno parte del dossier **Indagini geognostiche** anche alcuni rilievi idrologici (livelli piezometrici) eseguiti in corso di perforazione nei sondaggi 1bis, 2, 3, 4, e 5bis (di quest'ultimo non è riportata la stratigrafia), le prove di permeabilità Lugeon eseguite nei sondaggi 5, 6 e 7, nonché i rilievi idrologici eseguiti nel sondaggio 8. Nel sondaggio 7 sono state eseguite anche prove di iniezione.

I sondaggi hanno raggiunto la profondità massima di 105 metri dal p.c. (Sondaggio S4) e sulle rispettive stratigrafie sono riportati la natura litologica dei terreni attraversati, e importanti indicazioni sul loro grado di alterazione e di fratturazione.

La relazione geologica, é stata finalizzata ad accertare l'aspetto litologico, strutturale e tecnico dei terreni che ricadono nel settore interessato dalla galleria di derivazione e delle opere connesse, e a definire il quadro geologico dell'area con i principali lineamenti tettonici e con la ricostruzione della successione delle formazioni lungo il tracciato. Altro scopo dichiarato dello studio geologico è stato quello di qualificare dal punto di vista petrografico i litotipi presenti e di valutarne, mediante prove geotecniche su campioni rappresentativi, le proprietà di resistenza.

Dopo avere inquadrato l'area dal punto di vista geografico, lo studio descrive le caratteristiche dell'opera e del suo tracciato, indicandone la quota d'imbocco, 400 metri a monte della diga sul Torrente Menta, a 1364 metri s.l.m. e la quota di uscita, sul versante sud di Monte Cendri, a 1324 metri s.l.m.

Il progetto prevedeva una galleria, avente uno sviluppo complessivo di 7.438 m e una larghezza massima di 3.40 m, e doveva servire anche per contenere un tubo di derivazione del diametro di 1400 mm.

La prima parte del tracciato, lunga 2.050 m, prevedeva una copertura massima di circa 255 metri, con valori superiori ai 200 m su una lunghezza di circa 1.100 m e superiore ai 100 m per altri 650 metri.

Il secondo tratto, avente uno sviluppo complessivo di circa 3.600 m, presentava le coperture più elevate "...che si mantengono superiori ai 250 metri per oltre 1500 metri e comprese fra i 200 e i 100 m per il tratto rimanente".

Nell'ultima parte, tra il T.Catacino e lo sbocco sul versante occidentale di M.Cendri, lo spessore delle coperture si riduce progressivamente dai 160 m di M.Micheletta ai pochi metri dell'uscita.

La morfologia dei rilievi sotto cui era previsto il passaggio della galleria è caratterizzata da forme piuttosto arrotondate, talora pianeggianti nelle aree sommitali, e da versanti ad inclinazione crescente verso il talweg dei torrenti. L'andamento stretto e incassato tra pareti ripide, che contrassegna l'asse delle incisioni vallive, in forte contrasto con le forme dolci delle aree sommitali dei rilievi, testimonia lo sviluppo di una fase erosiva intensa quale conseguenza del sollevamento tettonico della regione.

L'altitudine dei rilievi sovrastanti alla galleria va dai 1372 metri dell'imbocco, ai 1712 m del M.Telegrafo, ai 1689 m della Fiumara della Menta, ai 1519 m di C.Vizanola, ai 1338 del T.Catacino, ai 1.324 del piazzale di uscita a ovest di Monte Cendri.

I rilievi geologici e geostrutturali, eseguiti in una fascia di territorio comprendente l'asse della galleria, unitamente ai sondaggi meccanici, alle analisi petrografiche e alle prove di resistenza meccanica, hanno permesso di stabilire:

- i limiti di affioramento dei diversi litotipi,
- l'andamento delle principali linee di disgiunzione tettonica,
- il profilo geolitologico in asse alla galleria,
- le conseguenti rappresentazioni cartografiche,

- l'ubicazione dei sondaggi, e un programma di indagini compatibile con le condizioni logistiche dei luoghi, e con le coperture della galleria quasi sempre molto rilevanti.

Dalla relazione risulta che alcune perforazioni (S2, S3, S4) programmate lungo un certo tratto del tracciato, sono state spostate in corso d'opera ed i sondaggi S5, S5 bis, S6 ed S7 sono stati eseguiti per lo studio di una eventuale presa sussidiaria da realizzare sul T.Catacino. Il foro S8 è stato posizionato lungo il T.Vizanola all'altezza del tratto medio del tracciato allo scopo di studiare i terreni che ricadono nell'area di imposta di una eventuale presa sussidiaria.

Le indagini geognostiche sono servite per accertare “ non tanto la natura litologica dei terreniquanto lo stato di conservazione, il grado di fratturazione, le proprietà di resistenza meccanica dei litotipi principali, quali i micascisti e gli gneiss, e di quelli secondari, rappresentati dai filoni e dagli ammassi che vi si intercalano con andamento, frequenza ed estensione imprevedibili.” Infatti, le conoscenze geologiche dell'intera area portano ad affermare che le formazioni che saranno attraversate dallo scavo potranno essere rappresentate soltanto dalle rocce metamorfiche che affiorano fino al piede dell'Aspromonte.”

Si giungeva quindi alla conclusione che i sondaggi sono risultati preziosi per i dati di tipo tecnico in merito alle peculiarità fisico-meccaniche delle rocce e anche se non tutti ricadono sull'asse della galleria, o in prossimità di questa, è da considerare significativo e utile ai fini delle conoscenze relative ai terreni che interessano lo scavo in quanto la sostanziale omogeneità litologica riscontrata nelle zone studiate

consente estrapolazioni a largo raggio dei dati stratigrafici e tecnici ricavati in ciascun punto di indagine.”

Su 11 campioni di roccia, cinque dei quali raccolti in superficie e sei scelti tra le carote estratte dai sondaggi, sono state eseguite analisi petrografiche, mentre la resistenza meccanica è stata valutata facendo ricorso a cinquanta prove di resistenza puntuale (point load test) su campioni.

In tale circostanza la COGETEC Srl ha effettuato anche 20 analisi diffrattometriche per la determinazione quali-quantitativa della composizione mineralogica dei campioni rappresentativi raccolti, ma non è stato ritenuto opportuno integrare le prove suddette “con prospezioni sismiche perché le coperture esistenti sopra la galleria erano di 200-300 m e oltre, e il tipo di prospezione previsto (sismica a rifrazione) non avrebbe potuto fornire indicazioni utili in quanto “gli strati alterati profondi risulterebbero schermati dai banchi di roccia integra ad essi sovrastanti.”

La relazione descrive quindi l'inquadramento geologico regionale inserendo ovviamente, l'Aspromonte nell'Arco calabro-peloritano e distinguendo tre unità tettoniche,

- l'unità superiore, costituita da scisti filladici, micascisti e paragneiss,
- l'unità intermedia, nella quale sarebbe andata a inserirsi la galleria, rappresentata da paragneiss, micascisti a granato e sillimanite, gneiss anfibolitici, marmi, gneiss occhiadini, migmatiti e graniti,

- l'unità inferiore, formata da filladi e metareniti.

Sempre nella stessa relazione viene poi evidenziato che i rilievi geologici nell'area attraversata dalla galleria pongono in risalto che:

- dalla zona di invaso, da dove parte la galleria, fino alla contrada Vizanola e al torrente Catacino affiorano micascisti di colore grigio scuro, passanti a paragneiss e a micascisti gneissici spesso granatiferi e anfibolici, caratterizzati da una tessitura scistosa generalmente molto marcata, ma più accentuata nei termini micascistosi e meno in quelli gneissici. Queste rocce, nei luoghi di affioramento, di solito si presentano ben conservate, e la degradazione sembra agire solo superficialmente, insieme a una più minuta disgiunzione e con patine di ossidazione che si sviluppano lungo le fratture e si spingono a profondità dell'ordine dei 10-20m. Solo raramente, nelle zone più tettonizzate, sono stati osservati fenomeni di alterazione con formazione di minerali argillosi. I piani di scistosità sono orientati tra NE e NO con inclinazione compresa tra 20° 40°.
- Sul versante sinistro del T.Catacino e in tutta la zona del M. Micheletta e del M.Cendri affiorano gli gneiss granitoidi. Questi litotipi, che la Carta geologica della Calabria indica come leucoscisti, formano bancate molto potenti, ed hanno una grana grossolana con struttura occhiadina data da

cristalli ovoidali di quarzo o di feldspato. Rispetto ai micascisti, la fissilità è più ridotta e i piani di scistosità, assai meno marcati, immergono preferenzialmente verso sud-ovest con angoli di inclinazione di circa 30-40°. Il contatto tra gneiss granitoidi e micascisti è di tipo tettonico e una faglia inversa sovrappone gli gneiss alle altre formazioni.

Questo piano di contatto presenta un'inclinazione generale verso OSO con pendenza ondulata ed appare in molti tratti complicato da una serie di strutture tettoniche più recenti, posteriori alla fase di accavallamento avvenuta in epoca ercinica. Esso si segue dalla zona di Sella Entrata verso la quota 1459 di Piano Briglio e ridiscende lungo il versante sinistro del Catacino mostrando la sovrapposizione degli gneiss agli scisti.

La linea di contatto, individuata con chiarezza in superficie, dopo avere attraversato il torrente, risale ai 1520 metri di C.Vizanola e prosegue verso sud, oltre la zona cartografata, mantenendosi sullo spartiacque che separa il bacino del Catacino da quello del Vizanola.

Viene evidenziato che in molti tratti la roccia presenta un aspetto cataclastico, particolarmente accentuato lungo la fascia di contatto con i micascisti e le formazioni includono anche lenti più o meno estese di gneiss occhiadini, di anfiboliti ultrafemiche e di filoni pegmatitici in giacitura concordante o discordante, fels-ca-silicatici ed inoltre sono presenti e molto diffusi filoncelli e venature di quarzo.

La relazione evidenzia altresì che gli gneiss occhiadini si presentano in lenti ed ammassi nei micascisti, dai quali si distinguono per il colore più chiaro, l'aspetto più massivo e la grana più grossa, e si rinvencono in tutta l'area studiata in affioramenti talora molto estesi .

Nella massa dei micascisti sono state osservate anche *anfiboliti* (termini più mafici della serie metamorfica) sotto forma di lenti di estensione ridotta. Questi litotipi, caratterizzati sotto l'aspetto mineralogico da anfiboli, plagioclasio e miche, sono stati riscontrati con una certa frequenza lungo il versante destro del medio corso del T.Vizanola e lungo il versante sinistro del T.Menta, hanno grana piuttosto minuta anche nelle facies più massive, e presentano un grado di scistosità molto variabile, passante da termini caratterizzati da piani molto fitti in cui prevalgono i minerali micacei, a termini piuttosto massivi nei quali non si riscontra una struttura mineralogica orientata.

Negli gneiss granitoidi e, con maggiore frequenza nei micascisti, sono presenti *pegmatiti*, in filoni prevalentemente concordanti e sotto forma di ammassi, costituite fondamentalmente da quarzo, feldspato e mica. Il loro spessore in superficie varia da 1-2 decimetri fino a qualche decina di metri.

Nelle zona più orientale della fascia rilevata, i micascisti comprendono fels calcifici (rocce non quarzifere composte da silicati di calcio e subordinatamente da miche e da calcite residua) che, pur mostrando una scistosità più fitta rispetto a quella dei micascisti, sono caratterizzati da una minore fissilità.

Le rocce, molto spesso si presentano coperte da materiali detritici di disfacimento crioclastico, costituiti da frammenti eterometrici e spigolosi di materiale lapideo immersi in una matrice quasi sabbiosa. Il detrito è scarso o del tutto assente nei tratti a maggiore acclività.

Sul versante occidentale della dorsale M.Micheletta – M.Cendri è presente, invece una spessa coltre di detrito di falda misto a detrito di disfacimento risedimentato proveniente da terreni quaternari.

Dall'insieme delle osservazioni provenienti dal rilievo geologico di superficie emerge con chiarezza che i litotipi fondamentali presentano inclusioni di varia natura e di diverse dimensioni, che rendono petrograficamente anisotropo ogni ammasso.

Per quanto riguarda le perforazioni, i risultati più rappresentativi sono quelli derivanti dal sondaggio S1bis, spinto fino a 100 metri di profondità, e dal sondaggio S3 che ha raggiunto i 75 metri. Ma molto significativi sono anche quelli provenienti dal S2, arrestato a 60 metri dopo avere incontrato notevoli difficoltà a causa della friabilità della roccia. Infatti, da 45 metri in poi è stato estratto solo detrito di perforazione (che nelle stratigrafie della Soc. Fondedile viene impropriamente denominato come sabbia).

I quattro sondaggi mostrano che la roccia era “interessata da un intenso grado di fratturazione che in taluni tratti presenta le caratteristiche di una vera e propria cataclasite.”

Gli altri fori mostrano una alternanza di tipi litologici fondamentali (peraltro non chiaramente distinti nelle stratigrafie della Fondedile dal momento che le determinazioni furono effettuate solo a livello macroscopico) quali micascisti, gneiss micacei e gneiss anfibolici, entro i quali risultano intercalati numerosi livelli, talora di spessore cospicuo di pegmatite, di anfiboliti e di gneiss occhiadino.

L'osservazione che le determinazioni sono state effettuate solo a livello macroscopico, sottintendendo l'assenza di analisi microscopiche, appare trascurabile dal momento che la complessa problematica riscontrata in fase di scavo della galleria è di tipo geomeccanico piuttosto che minero-petrografico.

Per altro, le rocce attraversate sono risultate senz'altro integre, cioè non interessate da fenomeni di alterazione chimica, anche se piuttosto fratturate anche se in un sondaggio sono state rilevate discontinuità -sia di carattere primario (scistosità) che secondario (di origine tettonica)- nelle metamorfiti sottoposte, durante le varie vicende orogeniche, a stress di compressione e di traslazione di notevole entità.

Ma l'insieme degli aspetti litologici ha portato sin da quella fase a ritenere che la roccia, almeno alle profondità interessate dalla galleria, risulti certamente più compatta di quanto non appaia dall'esame delle carote estratte dai sondaggi.

Del resto, la stessa carta geologica ufficiale in scala 1:25000, per i complessi affioranti lungo il tracciato della galleria riporta esplicitamente queste caratteristiche:

- Gneiss occhiadini feldspatici, con subordinati scisti, generalmente biotitici. Le rocce , localmente fratturate, possiedono “permeabilità bassa.con aumento della stessa nelle zone di fratturazione”.
- Leucoscisti quarzoso–feldspatici, spesso occhiadini, passanti localmente a gneiss occhiadini feldspatici: “Le caratteristiche geotecniche sono simili a quelle riscontrate nell’unità precedente”.
- Scisti e gneiss biotitici, localmente con granati visibili a occhio nudo: “Le rocce presentano generalmente una elevata resistenza all’erosione, eccetto dove si presentano degradate. Permeabilità bassa, con aumento della stessa nelle zone di fratturazione”.

Le analisi petrografiche eseguite su 31 sezioni sottili di roccia, 26 delle quali eseguite su carote provenienti dai sondaggi e 5 su altrettanti campioni raccolti in superficie, hanno permesso di meglio definire le associazioni mineralogiche, la struttura e la tessitura delle rocce, e alcune importanti osservazioni di carattere dinamico. Le rocce sono, infatti, interessate da cataclasi, ricementazioni, milonitizzazioni, foliazioni e deformazioni a pieghe, tessiture molto scistose accanto a strutture porfiroblastiche, e tessiture poco scistose e nematoblastiche, minerali di neoformazione (clorite epigenetica, sericite, ecc.) e argillificazione dei feldspati. Tali fenomeni evidenziano chiaramente che le formazioni sono state interessate da un metamorfismo regionale di tipo dinamo-termico, che ha dato origine ad associazioni petrografiche di grado metamorfico variabile da medio-basso, a medio, a medio-alto

fino ad elevato, e quindi litologicamente variabili, con inclusioni di materiali pegmatoidi dovuti a processi di rimobilizzazione ultrametamorfica, chiaramente testimonianti una estrema variabilità spaziale dei processi metamorfici ed anche la presenza di falde di ricoprimento sovrapposte, in un contesto geodinamico caratterizzato da faglie che si anastomizzano sotto angoli e con frequenze variabilissime.

Nella zona di imposta dell'opera di presa, una campagna geognostica eseguita dalla Società ELC per il progetto della diga ne aveva accertato la "perfetta omogeneità geolitologica dell'intero settore comprendente l'area in esame e quella di imposta della diga, riscontrata mediante i rilievi di superficie" per cui era stato ritenuto "del tutto superfluo, in sede di programmazione delle indagini geognostiche, far eseguire sondaggi lungo l'asse dell'opera di presa, dal momento che, per quanto riguarda le proprietà tecnico-strutturali della roccia, sono da ritenere pienamente utilizzabili i dati delle varie perforazioni eseguite". E si ribadisce esplicitamente "che le perforazioni mostrano anche, confermando le osservazioni di superficie, una roccia essenzialmente integra, resistente e sostanzialmente omogenea".

Del resto, le osservazioni di campagna condotte a quell'epoca avevano evidenziato una struttura metamorfica primaria, responsabile della tessitura scistosa delle rocce, a cui si sarebbe sovrapposto un ulteriore regime compressivo con relative mesopieghe orientate da NO-SE a NE-SO;

Il sistema tettonico disgiuntivo dell'area studiata ha prodotto faglie di varia importanza ed estensione, alcune inverse, dovute ai cicli compressivi delle fasi orogeniche, altre dirette, sviluppatasi durante i fenomeni distensivi successivi.

Le linee di disturbo tettonico sono state osservate sia in campagna che sulle foto aeree, nella zona di M.Cendri, M.Micheletta e C:Vizanola, e appaiono orientate senza una direzione prevalente. Anche se nella zona centrale del territorio studiato sono indicate come più frequenti le linee orientate in direzione NO-SE, ONO-ESE, E-O, NE-SO, e ENE-OSO, mentre più rare sono quelle in direzione N-S.

Nella zona compresa tra la Fiumara della Menta e il M.Telegrafo abbondano invece quelle N-S alle quali, nella zona iniziale della galleria, presso l'invaso, si associano linee dirette in senso NO-SE, ENE-OSO, NE-SO, e NNE-SSO.

Ma, l'elemento tettonico più rilevante viene individuato nell'accavallamento degli gneiss granitoidi di M.Cendri-M.Micheletta sugli scisti.

Le sollecitazioni tettoniche, che hanno portato gli gneiss granitoidi a sovrapporsi sugli scisti, hanno provocato una notevole frantumazione della roccia, soprattutto di quella gneissica a struttura più rigida e massiva, mentre gli scisti, in virtù della loro tessitura più marcatamente scistosa e per la composizione mineralogica, caratterizzata dalla presenza di minerali micacei, hanno in gran parte assorbito le spinte, deformandosi in pieghe e micropieghe.

Per altro, queste osservazioni sono in parte stemperate quando si rileva che sulla planimetria geologica redatta in scala 1:5000, il sistema disgiuntivo principale risulta relativamente diradato se si considerano la rigidità complessiva delle rocce e

la successione degli intensi eventi orogenici e solo in alcuni tratti dell'area le rocce risultano più disgiunte ed a tratti alterate.

Tuttavia, nel costruire il profilo geologico, è stata riportata la struttura tettonica più evidente (sovrascorrimento degli gneiss granitoidi sui micascisti) e le faglie più importanti, evidenziando che l'andamento delle masse intrusive e filoniane "è rappresentato in maniera semplicemente indicativa, per evidenziare la presenza e la possibilità che esse vengano interessate dallo scavo".

Per ciò che attiene alle caratteristiche del sistema disgiuntivo minore e per le proprietà strutturali della roccia in relazione alla problematica dello scavo, la relazione, richiamandosi alla carta geologica, da alcune indicazioni schematiche relative al grado di fratturazione e all'entità del volume dei corpi rocciosi isolati dalle linee di separazione.

La fratturazione e la grandezza dei corpi rocciosi sono stati così schematizzati:

Grado di fratturazione	Volume dei corpi rocciosi
Basso (B)	mc
Medio-basso (MB)	mc-dmc
Medio (M)	mc-dmc
Medio-alto (MA)	dmc-cmc
Alto (A)	cmc

Tale schema, riportato sulla carta geologica, ha portato a stabilire che *le rocce affioranti presentano un grado di disgiunzione generalmente variabile tra quello*

medio e quello medio alto per la presenza di linee di separazione parallele o normali alla scistosità.

Tale importante osservazione sulle caratteristiche delle rocce in profondità, viene contrapposta alla porzione superficiale della roccia che “esposta all’azione del gelo, presenta un aspetto strutturale ben diverso da quello che in realtà si può ipotizzare per le zone più profonde dal momento che, nella fascia più esterna, la degradazione meteorica esalta le discontinuità primarie e tettoniche, e favorisce i processi di alterazione chimica. All’interno si possono senz’altro prevedere, almeno alle profondità interessate dalla galleria, condizioni strutturali generalmente migliori, caratterizzate da piani di frattura serrati e dall’assenza di discontinuità parallele alla scistosità”.

Passando poi alla classificazione della roccia con il metodo di Pacher-Rabcewicz, era stato previsto che:

- il tratto di scavo compreso tra l’imbocco lato invaso e il passaggio sotto il T.Menta è interessato da rocce con caratteri strutturali e comportamenti propri della classe 2;
- il tratto fra il T.Menta e il Catacino presenta rocce con proprietà litotecniche tipiche della classe 3, con passaggio a litotipi della classe 4 nell’ultimo tratto;
- nella zona di contatto tra gneiss granitoidi e scisti, e in quelle interessate dai più intensi fenomeni tettonici, sono stati previste proprietà strutturali e

comportamenti allo scavo tipici delle rocce della classe 5 di Pacher-Rabcewicz.

Pertanto, lo scavo avrebbe interessato litotipi della seconda classe di roccia per il 27%, della terza classe per il 46%, della quarta classe per il 20% e della quinta classe per il 7%, per cui i *“terreni si presenteranno variamente fratturati, generalmente integri dal punto di vista del loro stato di conservazione, con zone di alterazione chimica (parziale argillificazione) limitate a fasce di estensione ridotta, concomitanti ai più intensi disturbi tettonici.”*

Per quanto attiene agli aspetti idrogeologici, la relazione evidenzia che si è in presenza di *“terreni con permeabilità primaria, per porosità, pressoché nulla e una permeabilità secondaria, lungo le discontinuità di origine tettonica, piuttosto variabile da zona a zona, ma piuttosto scarsa”*. Per cui è stato previsto che lungo il tracciato della galleria sia possibile intercettare manifestazioni acquifere *“frequenti, ma di scarsa entità.”*

Le osservazioni dirette fatte in galleria, in fase di scavo, hanno però registrato venute d'acqua improvvise e di rilevante portata (sacche di accumulo), le cui portate si sono progressivamente ridotte nel tempo.

Le zone in cui è stata ipotizzata la presenza di manifestazioni acquifere di un certo interesse *“sono quelle corrispondenti all'attraversamento del Menta e quelle prossime al T.Catacino dove si riscontra appunto un grado di fratturazione maggiore rispetto alla situazione generale. In questi tipi di rocce, peraltro, con livelli di coperture come quelli che si hanno lungo il tracciato della galleria, le*

fratture risultano talmente serrate da consentire una filtrazione estremamente ridotta.”

La **Relazione Geotecnica**, redatta dal prof. ing. Luigi Esposito, dopo avere accennato alla galleria -lunga 7438 metri, a sezione policentrica e in cui verrà sistemata la condotta idrica- alla relativa opera di presa, a 10 sondaggi eseguiti, di cui 5 in zona galleria e 5 nelle zone delle prese sussidiarie (Catacino e Vizanola) fa riferimento alle prove di carico puntuale (Point Load Test) e ai valori di R.Q.D. (Rock Quality Designation), per poi richiamare la relazione geologica e indicare la localizzazione delle perforazioni di sondaggio eseguite.

I risultati delle indagini sono stati raggruppati e discussi per tipo di opera e cioè:

- Galleria di derivazione;
- Presa sussidiaria sul T.Catacino e sul T.Vizanola.

Per la **galleria di derivazione** sono stati considerati utili i sondaggi S1, S1bis, S2, S3, S4, ma non si precisano le caratteristiche con cui sono state eseguite le perforazioni (diametro del foro, coppia, impiego di acqua, tipo di carotiere, ecc.).

Per altro, molti degli argomenti trattati presentano forti elementi di contraddizione rispetto a quelli descritti nella relazione geologica.

Nel sondaggio S1, arrestato a 25 metri per il maltempo, i primi 6 metri hanno evidenziato un R.Q.D. = 0 con grado di fratturazione F5 (20 fratture/metro). Successivamente il valore di R.Q.D. cresce fino a 63, ma il grado di fratturazione resta molto alto (F3÷F4) e altrettanto alto è lo stato di alterazione, per cui il materiale viene classificato nella III classe di Pacher-Rabcewicz.

Nel sondaggio S1 bis, il valore di R.Q.D si mantiene molto basso per i primi 70 metri, mentre il grado di alterazione e di fratturazione della roccia sono medio-alti, per cui il materiale viene classificato nella **III classe** di Pacher-Rabcewicz, attribuendogli:

-angolo di attrito interno (ϕ) = 30°

-coesione (C) = 50 t/mq

-resistenza a rottura per compressione ad espansione laterale libera (σ_{gd})=350t/mq.

Dai 70 ai 100 metri i valori di R.Q.D. “sono piuttosto bassi, mentre i corrispondenti valori del grado di fratturazione e del grado di alterazione arrivano quasi al massimo”. In questo tratto la roccia è di **classe IV** e presenta

$\phi = 30^\circ$; C = 10 t/mq; $\sigma_{gd} = 130$ t/mq

Nel sondaggio S2, fino a 26 metri si hanno valori di R.Q.D. decisamente bassi, spesso addirittura nulli, con grado di fratturazione e di alterazione ai valori massimi, per cui la roccia viene inserita in **classe V** con parametri geomeccanici:

$\phi = 25^\circ$; C = 5 t/mq; $\sigma_{gd} = 30$ t/mq

Dai 26 ai 39 metri i valori di R.Q.D migliorano oscillando tra il 18% e il 66%, il grado di fratturazione si attesta intorno a F3 (6-10 fratture/metro) e il grado di alterazione intorno ad A2 (roccia poco alterata).Pertanto, il materiale viene considerato in **classe II** con

$\phi = 35^\circ$; C = 400 t/mq; $\sigma_{gd} = 1200$ t/mq

Per la presa sussidiaria sul Torrente Catacino sono stati considerati i sondaggi S5, S6, S7, allineati, ed S5 bis, collocato circa 500 m più a monte dell'allineamento.

Il sondaggio S5, ubicato sulla sponda destra idraulica del torrente, fino a 30 metri di profondità ha evidenziato la presenza di materiale molto fratturato (F5) ed alterato (A5) con valori di R.Q.D. quasi sempre nulli, al quale sono stati attribuiti i seguenti parametri di resistenza:

$$\phi = 26^\circ; \quad C = 2 \text{ t/mq}; \quad \sigma_{gd} = 15 \text{ t/mq}$$

Dopo i 30 metri la situazione è leggermente migliorata, ma i valori di R.Q.D. restano bassi, il grado di fratturazione alto (F4) mentre l'alterazione è bassa (A2). Pertanto, la roccia viene considerata di **classe III**, con i seguenti parametri di resistenza:

$$\phi = 30^\circ; \quad C = 100 \text{ t/mq}; \quad \sigma_{gd} = 350 \text{ t/mq}$$

Il sondaggio S6, eseguito nell'alveo del torrente Catacino, ha evidenziato una stratigrafia piuttosto uniforme, ma l'R.Q.D. pur in presenza di valori prevalentemente alti, ha manifestato anche tratti nulli. Il grado di fratturazione è molto variabile con valori medi intorno ad F3, mentre decisamente basso è lo stato di alterazione (A2).

Alla roccia, classificata in **classe III**, sono stati attribuiti i seguenti parametri di resistenza:

$$\phi = 35^\circ; \quad C = 150 \text{ t/mq}; \quad \sigma_{gd} = 400 \text{ t/mq}$$

Nessun accenno viene fatto sulla causa che può avere dato origine ai valori nulli di R.Q.D. in una roccia complessivamente resistente, e sulle conseguenze tecniche di tali valori.

Il sondaggio S7, eseguito sulla sinistra idraulica del torrente, nei primi 8 metri ha mostrato detrito di falda allo stato completamente sciolto. Successivamente, fino a fondo foro (71 m) è stata registrata una stratigrafia uniforme, ma con valori di R.Q.D. praticamente nulli fino a 39 metri, e medio-bassi nelle altre zone. All'elevato grado di fratturazione (F4) si contrappongono valori bassi (A2) dell'alterazione.

La roccia nel suo complesso, esclusi i primi 8 metri, viene caratterizzata con i seguenti parametri geotecnici:

$$\phi = 30^\circ; \quad C = 100 \text{ t/mq}; \quad \sigma_{gd} = 350 \text{ t/mq}$$

Il sondaggio 5 bis, eseguito circa 500 metri più a monte degli altri, ha evidenziato una stratigrafia simile a quella del sondaggio S6, ma l'R.Q.D è risultato nullo fino a 15 m, mantenendosi su valori medio-bassi fino a fondo foro. Il grado di fratturazione e lo stato di alterazione, rispettivamente F5 e A5, fino a 15 m, scendono a F4 e A2 al crescere della profondità. Pertanto la roccia viene classificata in **classe Vb** nei primi 15 metri, con

$$\phi = 26^\circ; \quad C = 2 \text{ t/mq}; \quad \sigma_{gd} = 15 \text{ t/mq}$$

e in **classe III** per la restante profondità, con i seguenti parametri:

$$\phi = 30^\circ; \quad C = 100 \text{ t/mq}; \quad \sigma_{gd} = 350 \text{ t/mq}$$

Il sondaggio S8 è stato eseguito sul Torrente Vizànola, a breve distanza dai precedenti, ed ha evidenziato litotipi analoghi a quelli raggiunti dalle perforazioni sul T.Catacino, ma la qualità della roccia è molto migliore. Infatti i valori di R.Q.D. sono medio-alti, il grado di fratturazione è basso (F2÷F3) come il grado di alterazione (A2).Pertanto la roccia è stata classificata in **classe II**, con i seguenti parametri di resistenza:

$$\phi = 38^{\circ}; \quad C = 400 \text{ t/mq}; \quad \sigma_{gd} = 1200 \text{ t/mq}$$

Tali valori, malgrado la breve distanza dal T.Catacino, risultano decisamente migliori in tutti i termini.

Sulla base delle osservazioni e delle interpretazioni sopra riportate, è stata eseguita la ripartizione percentuale delle varie classi di roccia individuate e la classifica di Pacher-Rabcewicz porta al seguente quadro di previsione per i diversi tratti della galleria:

- Classe II: 27% (Imbocco lato diga-Torrente Menta)
- Classe III: 46% (T.Menta –T.Catacino)
- Classe IV: 20% (T.Catacino- imbocco M.Cendri)
- Classe V: 7% (*“ripartiti lungo il tracciato,ma con maggiori possibilità nelle tratte di classe IV laddove la galleria presenta minori coperture, e nelle zone che sono state interessate dai più intensi fenomeni tettonici e cioè, in particolare, quelle corrispondenti ai torrenti Menta e Catacino).”*)

Quest'ultima osservazione non è risultata concordante con quanto effettivamente riscontrato in fase di avanzamento della galleria, così come diverse sono risultate le percentuali attribuite alle singole classi di resistenza.

I campi di variazione dei parametri di resistenza caratteristici stabiliti dal geotecnico sono da noi riassunti nella seguente tabella

Classe	φ (gradi)	c (t/mq.)	σ_{gd} (t/mq.)
I	40 ÷ 50	400 ÷ 800	800 ÷ 4000
II	30 ÷ 40	150 ÷ 500	200 ÷ 2200
III	25 ÷ 35	20 ÷ 200	70 ÷ 700
IV	20 ÷ 30	10 ÷ 50	30 ÷ 200
V _a	17 ÷ 27	5 ÷ 15	20 ÷ 60
V _b	14 ÷ 26	2 ÷ 5	15 ÷ 30

la relazione pone in evidenza il rapido decadimento dei valori della coesione nel passaggio da una classe di roccia alla successiva, come del resto è ovvio dal momento che le diverse classi di roccia sono distinte anche in base a tale proprietà.

Vengono poi analizzati gli altri parametri geomeccanici e particolarmente l'angolo di attrito ma, anche in questo caso, vale l'osservazione evidenziata per la coesione, poiché non si è in presenza di prove specifiche, bensì di valori distintivi che vengono assegnati a priori ai diversi parametri, per cui quando una roccia è

inserita in una classe di resistenza meccanica deve possedere quei parametri e viceversa.

Un cenno a parte viene fatto per le prove di permeabilità, eseguite con il metodo Lugeon, per segnalare che *“tranne che in qualche caso singolare, hanno evidenziato sempre valori del coefficiente di permeabilità, K , piuttosto bassi e compresi tra 10 alla -7 e 10 alla -9 cm/sec. Questi bassi valori di K stanno ad indicare che, almeno per la zona in cui sono state eseguite le prove, i giunti sono chiusi.”*

5. LA PERIZIA DI VARIANTE

Nella **Relazione generale della III perizia di variante e suppletiva, 1° lotto, galleria di derivazione**, redatta in data 5 aprile 2002, i direttori dei lavori dott. ing. Pasquale Pascuzzi e dott. ing. Antonio Brath, dopo avere richiamato i due progetti a suo tempo redatti dalla ex Casmez per le opere di adduzione dall'invaso sul T.Menta, e precisamente:

- 1° lotto, comprendente l'opera di presa a tergo della diga sul Menta e la galleria di derivazione dalla diga fino ai Piani di Reggio,
- 2° lotto, comprendente tutte le opere a valle della centrale idroelettrica e cioè un adeguato serbatoio di demodulazione, le condotte adduttrici e taluni serbatoi,

fanno un breve excursus sulle indagini eseguite per la parte di progetto riguardante la galleria di derivazione.

Richiamano, infatti, le progettazioni esecutive a suo tempo approvate dal C.R.T.A. della Regione Calabria, con Voto 908 del 24 marzo 1987 (1° lotto) e con Voto 999 del 29 maggio 1987 (2° lotto) le quali, a seguito della soppressione della Casmez, vennero passate alla competenza della Regione. Fanno poi presente che, nel 1997, per accordi tra il Ministero LL.PP. e la Regione Calabria, dal primo lotto vennero stralciati i primi 320 metri della galleria (che avrebbe dovuto realizzare lo stesso Ministero, insieme all'opera di presa, con l'appalto in corso per la Diga del Menta) per cui la Regione Calabria avrebbe realizzato il rimanente tratto della

galleria per una lunghezza di 7.125 metri, fino all'imbocco di Monte Cendri, sui Piani di Cardeto.

Il progetto del tratto di galleria di competenza regionale venne revisionato e aggiornato in linea tecnica ed economica dai progettisti ing. Antonio Brath e ing. Pasquale Pascuzzi. La revisione è stata eseguita in *“stretto riferimento alla campagna di indagini fatta eseguire dalla ex Casmez in zona galleria, ed alle relative Relazione Geologica e Geotecnica, che hanno corredato il progetto originario ex Casmez.”*

In base alle indagini geognostiche e agli studi eseguiti prima della progettazione esecutiva, in questa zona erano stati ipotizzati litotipi ad elevato grado di fratturazione, per lo più inquadrabili nella classe III e II di Pacher-Rabcewicz. *“Si sono incontrate invece, fin dall'inizio, situazioni peggiori: terreni con cospicue zone di argillificazione, ed addirittura argilla frammista a materiale detritico alluvionale. Nel tratto immediatamente successivo, i terreni attraversati hanno appalesato estrema variabilità: rocce scistose fratturate e detriti quasi sabbiosi, con presenza di argilla, si alternavano a terreni di mediocre consistenza, con trovanti lapidei di notevole volumetria, levigati in superficie, talora posti anche in calotta, di dimensioni tali da richiedere l'uso di esplosivo.”*

Per procedere nell'avanzamento, l'impresa ha alternato l'impiego di fresa puntuale, con martello demolitore e, in alcuni tratti, con l'uso di esplosivi. Dove si faceva ricorso all'esplosivo, venivano praticati fori da mina nella parte lapidea, mentre l'abbattimento e la profilatura avvenivano con l'uso del martello.

Sempre in questo primo tratto, *“stante l’improvvisa alternanza di terreni argillosi, si è proceduto con centine metalliche e marciavanti metallici: incontrando ed affrontando un susseguirsi di piccole frane, altamente pericolose per la sicurezza degli operai e degli addetti ai lavori.*

*L’avanzamento è stato modestissimo tanto che dopo due anni dalla consegna erano stati scavati solo ml. 383 di galleria.”*e, procedendo sempre con il sistema tradizionale, erano stati eseguiti 463 metri di scavo in 2 anni e 20 giorni, con una produzione media giornaliera di circa 1.62 m al giorno.

Proseguendo nell’avanzamento è stato incontrato *“un ammasso roccioso costituito da roccia gneissica, estremamente tettonizzata, con presenza di numerose zone di faglia e pieghe, e con scistosità molto marcata. Le faglie si sono tutte presentate con ampiezza variabile, con materiale intensamente milonitizzato e minutamente fratturato, che talora si è svuotato, rifluendo sul fronte della TBM.”*

Per fronteggiare tali inconvenienti, è stato fatto ricorso a operazioni di bonifica con iniezione di resine per consolidare l’ammasso.

Confrontando le progressive con i giorni lavorativi, si deduce una velocità di avanzamento, fino all’inizio del 1°evento straordinario, pari a circa 7.7 metri/giorno.

1°evento geologico straordinario

Alla progressiva 747.13 *“per un parziale svuotamento della zona di faglia, la TBM ebbe ad incontrare venute d’acqua, fango ed argilla: materiali che la macchina asportava e che franavano continuamente dall’alto, rinnovandosi ad ogni*

asporto. Stante la presenza di materiali argillosi, e di venute d'acqua, insorse concreto pericolo di un blocco della testa della TBM in maniera irreversibile” per cui fu deciso di realizzare un cunicolo esterno alla macchina, da eseguire con scavo manuale, in modo da raggiungere con un by pass il fronte di roccia antistante alla TBM, e consolidarlo con malte e resine a doppio componente chimico.

Tale evento, accertato direttamente anche dalla Commissione di Collaudo, si è protratto dal 14.2.2001 al 21.3.2001 ed ha richiesto 37 giorni lavorativi per essere superato.

2° evento straordinario

Alla progressiva 898.78, ebbe a verificarsi un altro evento, protrattosi dal 27.3.2001 al 18.4.2001, e cioè per 22 giorni.

3° evento straordinario

Alla progressiva 2674,43, il 16.6.2001, si manifestò un ulteriore evento che, come si evince dalla Relazione Generale, *“rispetto a quelli incontrati finora, è stato il più lungo dal punto di vista temporale, e quello che ha presentato maggiori pericolosità, e che ha richiesto i trattamenti più efficaci, pesanti, ed intensi.”* Tale evento ha interessato la galleria fino alla progressiva 2729,73 e si è risolto il 9.9.2001, dopo 78 giorni lavorativi. La velocità media di avanzamento in questa fase fu di 0,71 m/giorno.

l'ammasso roccioso attraversato è costituito prevalentemente da litotipi di natura metamorfica con prevalenza di micascisti e con gneiss subordinati. All'interno delle formazioni le rocce hanno presentato aspetto mutevole per tessitura scistosità e colore, mentre da un punto di vista strutturale l'ammasso roccioso *“è risultato intensamente fratturato con presenza di numerosissime pieghe e discontinuità (faglie, piani di taglio, piani di stratificazione e giunti): segno dell'intensa attività orogenetica che ha interessato l'area aspromontana”*. Sono state altresì rilevate numerose superfici di discontinuità raggruppate in famiglie, in base alla spaziatura e alla giacitura. Nelle aree interessate da dinamometamorfismo sono stati registrati fenomeni di milonitizzazione e cataclasizzazione che hanno interessato *“talvolta banchi di elevata potenza. Tali banchi, costituiti da materiale finemente frantumato ad elevata percentuale di materiali argillosi, caratterizzati da una bassissima permeabilità, hanno costituito in diverse tratte della galleria le pareti esterne di bacini acquiferi, talvolta di notevolissime dimensioni con presenza di acqua in pressione.”*

La successione dei materiali incontrati durante lo scavo è la seguente:

- tra le progressive 0 – 110 : Terreno vegetale;
- tra le progressive 110 – 250: Alternanze ripetute di scisti, terreno vegetale con intercalazioni di strati argillosi e con presenza di trovanti di varia natura, talvolta di dimensioni notevoli;

- tra le progressive 250 – 1000: Micascisti, di colore grigio passante a bruno-giallognolo, intensamente fratturati ed alterati, alternati a banchi più o meno estesi di parascisti completamente cataclasati e milonitizzati;
- tra le progressive 1000 – 2000: Micascisti intensamente fratturati ed alterati, alternati a gneiss di colore grigio;
- tra le progressive 2000 – 2650: Formazioni fratturate ed alterate di tipo scistoso/gneissico di colore grigio-bruno con frequenti intercalazioni quarzoso-feldspatiche;
- tra le progressive 2650 e 3450: Micascisti passanti a gneiss di colore grigio-bruno, intensamente fratturati ed alterati, alternati a banchi più o meno estesi di parascisti completamente cataclasati e milonitizzati;
- tra le progressive 3450 e 4490: Paragneiss moderatamente fratturati ed alterati, talvolta con intercalazioni quarzose e feldspatiche;
- tra le progressive 4490 e 4785: Micascisti fratturati ed alterati, passanti a gneiss più o meno anfibolitici, attraversati da filoni di quarzo;
- tra le progressive 4785 e 5450: Formazioni intensamente fratturate ed alterate di tipo scistoso-gneissico di colore grigio, alternate a banchi di filoni pegmatitici concordanti o discordanti con la scistosità;
- tra le progressive 5450 e 5600: Micascisti di colore grigio, passante a bruno, intensamente fratturati ed alterati, alternati a banchi più o meno estesi di parascisti completamente cataclasati e milonitizzati.

Per ciò che attiene alle caratteristiche geomeccaniche degli ammassi rocciosi, è stato fatto riferimento ai seguenti parametri:

grado di alterazione,

fratturazione,

orientamento spaziale delle discontinuità rispetto alla direzione di scavo,

stato di alterazione della roccia,

riempimento e rugosità delle fratture,

presenza di acqua in pressione.

Tali caratteristiche, costantemente esaminate e verificate durante lo scavo hanno consentito di volta in volta di ricavare l'indice RMR (Rock Mass Rating di Bieniawski) e di classificare l'ammasso roccioso come segue:

RMR 0÷20 = classe V (roccia molto alterata completamente milonitizzata)

RMR 20 ÷ 40 = classe IV (roccia fratturata o alterata con faglie)

RMR 40 ÷ 60 = classe III (roccia fratturata o molto fratturata)

RMR 60 ÷ 80 = classe II (roccia stratificata leggermente fratturata)

Con tale classificazione e con il rapporto sui controlli giornalieri di cantiere, redatti in contraddittorio con l'Impresa, è stato stabilito in maniera "sperimentale" che:

- **la roccia di classe V è presente per il 51,30%**
- **la roccia di classe IV è presente per il 45,50%**
- **la roccia di classe III è presente per il 3,20%**

- **la roccia di classe II è assente.**

Nonostante le caratteristiche scadenti dell'ammasso roccioso e nonostante le numerosissime zone di faglia incontrate *“lo scavo con la tecnica TBM ha permesso il superamento di tali zone con rilasci molto contenuti...”*.

Per gli inevitabili sovrascavi, è stato fatto ricorso a riempimento con pea-gravel e a successiva cementazione.

A questo punto la Relazione generale evidenzia che nei tratti di galleria *“individuati come aree interessate da eventi geologici straordinari, il contemporaneo verificarsi di molti dei fattori sfavorevoli alla stabilità dell'ammasso (la presenza di materiale completamente cataclasizzato e milonitizzato a forte componente argillosa, con presenza di acqua in pressione) ha richiesto la sospensione dell'avanzamento della TBM, per consentire un più efficace e puntuale trattamento di stabilizzazione dell'ammasso roccioso circostante”*.

Per l'esecuzione dei trattamenti di stabilizzazione *“è stato necessario eseguire dei cunicoli all'esterno della macchina, onde evitare che la rotazione della testa, raccogliendo grandi quantità di materiale franato contribuisse ad alimentare la frana stessa, incrementando ulteriormente i vuoti; il che avrebbe potuto compromettere l'intera stabilità dell'opera, con rischi reali anche per la sicurezza fisica del personale impiegato”*.

In definitiva, tali eventi hanno dimostrato che la galleria ha attraversato *“formazioni geologiche molto diverse da quelle previste e prevedibili: con ulteriori difficoltà aggravate dall'alto grado di fratturazione degli ammassi rocciosi. Una*

tale situazione non era derivabile dalle osservazioni di superficie né dai carotaggi eseguiti, né dalle indagini CASMEZ svolte....che, sebbene approfondite, non facevano ipotizzare la evenienza che, sotto così considerevoli coperture, la galleria potesse attraversare condizioni tanto difficili.

Ed inoltre, essendo la galleria in argomento la prima importante opera in sotterraneo in questa vasta zona dell'Aspromonte, non vi erano neanche esperienze e riferimenti per meglio tarare gli elementi risultanti dalle indagini svolte”.

Per affrontare tali situazioni impreviste la D.L. ha interessato il Responsabile Unico del Procedimento e l'Ufficio Regionale Gestione Acquedotti, segnalando l'urgenza di eseguire iniezioni di intasamento nell'intercapedine compresa tra il bordo esterno dei conci e le pareti della galleria e di riempire le cavità generate dagli eventi geologici straordinari.

La stessa D.L. scriveva che i suddetti lavori erano oltremodo urgenti per eliminare il pericolo di franamenti e sommovimenti dei terreni e per scongiurare il crollo del rivestimento; anche perché, a quell'epoca, l'accesso alla galleria era uno solo (imbocco a Monte Cendri). L'urgenza di tali interventi era determinata anche dal fatto che il terreno interessato dallo scavo e non ancora stabilizzato poneva preoccupanti problemi di sicurezza per l'incolumità degli addetti ai lavori.

Per tali motivi la D.L. mentre avanzava la proposta di eseguire con immediatezza le iniezioni, poi accolta dall'Amministrazione, ha emesso apposito Ordine di Servizio per sollecitare l'Impresa alla esecuzione dei suddetti lavori.

La Perizia di Variante e Suppletiva elenca quindi i maggiori lavori e le spese conseguenti. I lavori consistono sostanzialmente in:

- impiego di conci di classe V e IV,
- maggiori assorbimenti per il rivestimento a tergo dei conci,
- riempimento delle cavità derivanti dall'esecuzione dei cunicoli esterni alla TBM,
- consolidamento di alcuni tratti di galleria nelle zone di faglia e consolidamento dell'ammasso roccioso allentatosi durante l'esecuzione degli scavi.

In relazione alla tipologia dei conci prevista in progetto, si è fatto ricorso ad un maggiore impiego di conci di classe IV e V (questi ultimi impiegati per oltre il 50% della galleria).

Per quanto riguarda le iniezioni di intasamento “*stante l'alto grado di fratturazione palesatosi dappertutto e con valori imprevedibili e non previsti, in relazione alla media di assorbimento fin qui conseguita, può realisticamente ipotizzarsi un assorbimento medio di 1,38 mc/ml di galleria. Anche se la fratturazione e la natura dei terreni tenderebbero ad assorbire quantitativi maggiori, si ritiene equa la quantità prevista per varie motivazioni. Anzitutto per non conseguire sopra la galleria stessa, specie in calotta, appesantimenti dell'ammasso: e cioè non far gravare eventuali pesi eccessivi sopra il rivestimento; al fine cioè di non appesantire sui conci, e così provocare sommovimenti o, ancora peggio, fratturazione degli stessi*”.

Nelle zone in cui è stata riconosciuta la tendenza ad appesantimenti maggiori, la stessa D.L. precisa che si procederà mediante l'impiego di calcestruzzi alleggeriti.

Per il riempimento delle cavità la D.L. evidenzia che lo scavo della galleria è stato ritardato e talora bloccato da vari eventi geologici straordinari tra i quali, particolarmente il terzo, ha impedito l'avanzamento della TBM per quasi tre mesi poiché la macchina ha incontrato *“zone di faglia, con materiale altamente frantumato, che, immediatamente dopo l'asportazione, refluisce dall'alto, colmando il vuoto”*. Per il superamento di tali zone è stato necessario consolidare l'ammasso roccioso per impedire il “continuo rifluimento del materiale di faglia”. Sempre per il superamento di tali zone difficili si è reso necessario realizzare, in calotta e talora ai lati della TBM, cunicoli con scavo manuale, attraverso i quali è stato eseguito il consolidamento delle rocce fratturate mediante iniezioni di resine epossidiche indispensabili per fermare il rifluimento. In particolare, nel tratto in cui si è verificato il terzo evento *“le difficoltà sono state vieppiù aggravate da intense venute d'acqua con punte di ben 160 litri al secondo che hanno favorito fenomeni di rilascio con inevitabile formazione di cavità più o meno estese. Tali venute che sono penetrate all'interno della TBM, con il loro deflusso hanno ancor più aggravato le condizioni del terreno circostante trasportando parti minute, e così aumentando i vuoti nell'ammasso.”*

Dopo la bonifica di tali tratti, per mettere in sicurezza la galleria, la Perizia prevedeva l'impiego di calcestruzzo cellulare alleggerito, da iniettare con macchinario posto immediatamente sotto il punto d'impiego, precisando che le

iniezioni “*dovranno essere estese anche a zone circostanti il realizzato cunicolo: zone che per il defluire dell’acqua smaltita ed il rinascimento delle faglie smosse, possano presentare prevedibili ulteriori cavità, più precisamente la iniezione della malta già additivata con lo schiumogeno dovrà avvenire mediante sistema di pompaggio a vite, o ad aspirazione: e ciò per non annullare l’effetto schiuma comprimendo il miscuglio*”.

Infine, per quanto riguarda il consolidamento dei tratti di galleria in zona di faglia, la D.L. evidenzia la necessità dell’operazione in quanto si sono verificati rilasci spontanei di vario genere ed è da presumere che si siano verificati dei vuoti da riempire “*onde ostacolare eventuali cadute o ulteriori rilasci della roccia che si mollerebbero dall’alto sul concio di calotta della galleria*”. Pertanto, è stato ritenuto necessario consolidare tutta la fascia circostante il rivestimento mediante iniezioni a pressione, facendo ricorso a “tubi di acciaio valvolati e ad iniezioni praticate ripetutamente a distanza, e spinte fino a rifiuto per lo meno fino ad una profondità media di 3,20 metri dal rivestimento dei conci, mediante i citati tubi valvolati infilati in calotta ed ai fianchi”.

In definitiva, l’impiego della TBM nello scavo della galleria ha conseguito importanti vantaggi tra cui:

- minori rilasci di roccia rispetto allo scavo tradizionale,
- superamento delle zone di faglia con minore difficoltà pur nella necessità di eseguire cunicoli per il trattamento dell’ammasso roccioso degradato;

- eliminazione di oneri ben più gravosi rispetto allo scavo tradizionale che avrebbe richiesto “blindature ed incentinature per sezioni molto più estese”;
- un costo a metro lineare di galleria (escluso tubazione) ben più contenuto in relazione ad opere similari;
- una velocità di avanzamento media di gran lunga superiore a quella prevedibile con il metodo tradizionale che con rocce di classe V non avrebbe superato i tre metri al giorno.

6. OSSERVAZIONI DELL'IMPRESA

La SELI -Società Esecutrice Lavori Idraulici S.p.A.- già nel 1999 aveva commissionato alla GEOTER s.n.c. uno **studio geofisico** allo scopo di “*verificare profondità e geometria dell’interfaccia di separazione tra substrato integro profondo e copertura superficiale intensamente alterata e/o fratturata*” in due siti ubicati lungo i torrenti Menta e Catacino.” Per le finalità dello studio furono eseguiti 3 sondaggi sismici a rifrazione con stese geofoniche di lunghezza pari a 180 metri (T.Menta) e 3 sondaggi dello stesso tipo con stese geofoniche di lunghezza pari a 60 metri.

L’esigua lunghezza delle stese geofoniche induce a presumere che il progettista delle indagini riteneva che la profondità “dell’interfaccia di separazione” sopra menzionata dovesse trovarsi, nella più fortunata delle condizioni geomorfologiche e

geostrutturali, entro una profondità massima di 45 metri, nel caso del T.Menta, ed entro la profondità di 15 metri nel caso del Torrente Catacino.

Con la strumentazione impiegata, lungo il T.Menta, sono stati individuati due “sismostrati” il primo dei quali, avente $V_p = 575$ m/sec, occupava uno spessore variabile tra 1,5 e 4,6 m circa, mentre il substrato rifrattore profondo, avente $V_p = 2880$ m circa, *“corrisponde ad un intervallo costituito da roccia pressoché integra”* fino alla profondità di indagine .

Lungo il Torrente Catacino sono stati individuati ancora due sismostrati il più superficiale dei quali, ($V_p = 400$ m/sec) *“è correlabile con terreni intensamente alterati e/o fratturati il cui spessore varia tra 1,5 e 6,0 m circa”* mentre *“il substrato rifrattore profondo corrisponde a un intervallo costituito da roccia pressoché integra ($V_p = 2200 - 2700$ m/s)”*.

A prescindere dai limiti propri del metodo utilizzato, per il quale è indispensabile che la velocità del mezzo e quindi la sua densità siano crescenti verso il basso, dallo studio non si rilevano altre informazioni. Esistono però degli allegati quali la Carta Geologica Schematica della Calabria Meridionale (tratta da Bonardi et Al. Modificata) in scala 1:714.000 circa, una Zonazione Neotettonica (ripresa da F.Ghisetti) in scala presso a poco analoga, comprendente una zonazione sismotettonica (tratta da Barbano et Al.) ad una scala ancora più minuscola. Ambedue, prive di legenda, probabilmente sono state fotocopiate ed inserite nello studio per contribuire alla conoscenza della tettonica e della sismotettonica dell'Arco calabro-peloritano nel bacino del Mediterraneo.

Di diverso spessore è la **Relazione sugli eventi geologici straordinari**, redatta dalla GEOROCK S.r.l sempre per conto della SELI, anche se occorre preliminarmente osservare che né la relazione né i suoi elaborati riportano la data, così come manca la firma di un geologo almeno per quanto riguarda gli aspetti di natura geologica.

La Relazione tecnica illustra le fasi di costruzione e gli eventi che hanno caratterizzato lo scavo della galleria e riporta i dati amministrativi dell'affidamento, che -essendo praticamente coincidenti con i dati riportati nella **Relazione Generale** redatta dalla D.L. per la III Perizia di Variante e Suppletiva- qui vengono esposti in maniera sintetica, ma con le date delle varie operazioni, eseguite ormai da tempo e certamente prima delle prescrizioni della Commissione speciale VIA.

Lunghezza della galleria : 7475 metri;

Ubicazione : dalla sponda sinistra dell'invaso sul T.Menta ai Piani di Cardeto in località Monte Cendri;

Affidamento: con Contratto in data 14.10.1998 per la realizzazione della galleria, con esclusione dell'opera di presa e di 320 metri di tunnel in prossimità della presa;

Previsioni progettuali: galleria a sezione policentrica da realizzare con metodo di scavo tradizionale e rivestimento in calcestruzzo gettato in opera;

Tratto realizzato con metodo tradizionale e uso di esplosivi: 403 metri;

Proposta di variante tecnologica: presentata dalla SELI per modificare le modalità esecutive dello scavo e del tipo di rivestimento;

1° Perizia di variante tecnica e suppletiva: approvata dal COTER con parere 358 del 10.4.2002. Prevedeva l'impiego di una macchina fresatrice a sezione piena (TBM).

Primo impiego TBM: a partire dalla progressiva 463,13;

Caratteristiche della T.B.M. : diametro nominale di scavo = 4,88 m ; testa fresante con 24 taglienti singoli e 4 bidischi centrali, spinta massima nominale di 250 kN.

Rivestimento e sostegno della galleria: conci prefabbricati con diametro interno di 40,3 m e spessore di 20cm..

Riempimento intercapedine tra profilo di scavo ed estradosso dell'anello di rivestimento: con ghiaietto monogranulare e successiva iniezione di boiaccia cementizia.

2° Perizia di variante e suppletiva: con questa perizia, in data 25.5.2001, la Regione Calabria ha affidato alla SELI, in estensione dell'appalto in corso, l'esecuzione dei restanti 320 metri di galleria fino all'imbocco di monte, e la Camera di fondo dell'Opera di Presa.

Completamento dello scavo e del rivestimento della galleria: 19.7.2002

Nella stessa Relazione si rileva che il riempimento dell'intercapedine tra l'estradosso e il profilo di scavo è iniziato il 16.10.2001, ma i frequenti franamenti determinati dallo stato di fratturazione dell'ammasso roccioso hanno provocato

“significativi aumenti dell’assorbimento medio di miscela cementizia rispetto a quanto era possibile prevedere.”

La copertura finanziaria -occorrente per il completamento delle iniezioni cementizie di riempimento della camera a tergo dei conci, per l’esecuzione delle iniezioni di riempimento dei fornelli e per il consolidamento della massa rocciosa- avrebbe dovuto essere assicurata con la 3° Perizia di Variante. Però *“la mancata approvazione di questa perizia ha determinato la sospensione di tutte le lavorazioni (Verbale di Sospensione Lavori n° 4 del 6.9.2002) comprese le iniezioni di riempimento necessarie per garantire la stabilità dello scavo e del rivestimento, soprattutto in corrispondenza delle numerose zone interessate da eventi franosi, spesso rilevanti ed estesi.”*

Nella Relazione sono descritte *“le caratteristiche della roccia attraversata dalla galleria e gli interventi realizzati per il superamento degli eventi geologici straordinari che hanno determinato numerosi fermi e ritardi nelle lavorazioni”* e vengono illustrati gli interventi ritenuti indispensabili ed urgenti per la messa in sicurezza della galleria.

Nel capitolo 2, dedicato alla descrizione delle **Caratteristiche geolitologiche e tettoniche strutturali dei rilievi attraversati dalla galleria**, dopo avere distinto le tre Unità geologiche (superiore, intermedia e inferiore) che costituiscono l’Aspromonte, si chiarisce che la galleria si sviluppa nelle rocce metamorfiche dell’Unità intermedia.

Viene quindi fatta la descrizione delle situazioni geologiche, in maniera indubbiamente più precisa, articolata, puntuale e verisimile, di quella che corredeva il progetto originario e, in sostanza, concordante con quanto è riportato nella Relazione generale che accompagna la III Perizia di Variante e Suppletiva.

Si afferma, infatti, che i terreni attraversati dalla galleria sono costituiti in gran parte da micascisti (qui presenti come scisti e gneiss biotitici), che occupano la zona compresa tra l'invaso e la contrada Vizanola, e da gneiss granitoidi e/o occhiadini (noti anche come leucoscisti quarzoso-feldspatici) che costituiscono la struttura geologica della dorsale M.Micheletta-M.Cendri. Nella trincea d'ingresso alla galleria, lato ovest, sono presenti anche terreni detritici.

Su un apposito elaborato cartografico, pur privo di legenda ma comunque facilmente interpretabile se viene comparato con la sezione geologica, sono rappresentate le aree di affioramento delle suddette formazioni e le principali linee di disturbo tettonico che le attraversano.

La Relazione evidenzia ancora che i micascisti costituiscono la formazione più estesa e complessa, con masse di paragneiss e micascisti gneissici, nonché vene e filoni di granito e pegmatite intercalati o intrusi negli scisti biotitici. In questi litotipi la grana è fine e la scistosità, fitta e ben marcata, consente di stabilire che le giaciture e le inclinazioni dei piani di scistosità sono variabili.

Gli gneiss granitoidi si presentano di colore biancastro, a causa dell'abbondanza di minerali chiari (soprattutto quarzo e feldspati) e possiedono grana grossolana e tessitura scistosa generalmente poco accentuata.

Le suddette caratteristiche petrografiche sono state osservate sia nelle rocce affioranti che nei campioni prelevati in corso di scavo.

La degradazione, sia fisica (fratturazione) che chimica (alterazione), è costante nelle due formazioni e, lungo le discontinuità tettoniche (faglie) sono stati osservati fenomeni di alterazione con formazione di minerali argillosi.

Tra Monte Cendri e Monte Micheletta, negli gneiss è stata riscontrata una grande lente di micascisti e un orientamento preferenziale dei piani di scistosità con immersione verso SW ed inclinazione variabile fra 30° e 60°, mentre nella restante parte del tracciato *“le giaciture sono varie e formano pieghe anticlinaliche e sinclinaliche”*

Sul versante sinistro del T.Catacino, dove è stato osservato il contatto tra gli gneiss e i micascisti, stato constatato che i primi sono sovrapposti ai secondi ed *“esiste un sistema di faglie normali e inverse, variamente orientate, che si sono prodotte nel corso delle varie fasi tettoniche. L’asse di massimo sollevamento della regione dell’Aspromonte ha direzione NE-SO ...e quindi in parte coincidente con il tracciato della galleria”*

Viene poi fatto riferimento alla figura 3, nella quale *“sono state rappresentate le principali dislocazioni tettoniche e zone d’intensa fratturazione, così come risultano dal confronto tra la morfologia del terreno e quanto osservato in galleria. In particolare, alla luce delle osservazioni eseguite in galleria, molti degli alvei torrentizi che incidono profondamente i versanti dei rilievi attraversati dalla galleria possono essere interpretati come zone di faglia. Infatti, molti tratti dove la*

galleria ha attraversato miloniti e cataclasiti, o semplicemente rocce molto fratturate con evidenti segni di laminazione, corrispondono in superficie ad incisioni torrentizie.”

I micascisti e gli gneiss sono interessati da una fitta rete di giunti sia singenetici (scistosità) che postgenetici (diaciasi e faglie) e, particolarmente lungo i piani di faglia, *”la roccia ha un piano di fratturazione tanto elevato che spesso è ridotta a una sabbia mista a materiali a granulometria più fine quali limi e argille d’alterazione (miloniti) o breccia mista a materiali più fini (cataclasiti). Il corpo geologico di questi materiali ha la forma di “filoni” o “dicchi” all’interno dell’ammasso roccioso, costituendo delle interruzioni strutturali con caratteristiche geomeccaniche ed idrogeologiche totalmente diverse da quelle dell’ammasso circostante.”*

In conseguenza di tali fenomeni, le caratteristiche meccaniche dell’ammasso roccioso sono risultate scadenti lungo tutto il tracciato della galleria, e molto scadenti in corrispondenza delle zone di faglia.

Il passaggio dal metodo di scavo tradizionale all’impiego della TBM ha permesso di garantire condizioni di completa sicurezza agli operatori e di superare molte zone di difficile attraversamento con *“velocità medie di avanzamento più che soddisfacenti e sicuramente maggiori di quelle ottenibili con uno scavo di tipo tradizionale“* anche se in molti tratti *“è stato inevitabile il verificarsi di sovrascavi ed aperture di cavità per il verificarsi di franamenti (fornelli) che hanno richiesto*

molti interventi con varie forme di riempimento e successive opere di stabilizzazione”.

Però, nelle zone in cui sono state incontrate situazioni geologiche molto complesse, *“le tecniche di consolidamento, sperimentate e collaudate in gran parte del tracciato, non sono state sufficienti”.*

Sotto questo aspetto le situazioni più difficili *“sono state quelle dove il materiale cataclasizzato e/o milonitizzato era presente in bande di notevole spessore, alternate a fasce completamente argillificate. Tali bande, dotate di bassissima permeabilità ...in particolari condizioni di giacitura costituiscono una barriera impermeabile in grado di creare dei serbatoi sotterranei. L’intercettazione di tali serbatoi, che per loro natura non possono essere localizzati in anticipo, ha provocato l’afflusso nello scavo di notevoli quantità d’acqua con varie conseguenze quali, ad esempio, il dilavamento dei terreni e franamenti di materiale.”*

Queste situazioni, indicate nei rapporti di cantiere con il termine di “Eventi Geologici Straordinari”, sono risultate in numero di 11, distribuite in maniera casuale lungo il tracciato.

“In alcuni casi gli eventi si sono susseguiti a poche decine di metri di distanza l’uno dall’altro e possono essere considerati come manifestazioni locali di una condizione di instabilità diffusa e generalizzata a più grande scala.”

Il superamento degli 11 eventi geologici straordinari ha richiesto il fermo dei lavori e specifici interventi di consolidamento a causa delle particolari proprietà geomeccaniche mostrate dalle rocce nei tratti di scavo corrispondenti a tali eventi.

In generale, le difficoltà di avanzamento furono dovute alla particolarità delle situazioni geologiche, allo stato di degradazione dei litotipi, e alla presenza di elevate quantità d'acqua anche in pressione.

Situazione idrogeologica

Sotto questo aspetto, la relazione evidenzia che le rocce attraversate dalla galleria possiedono solo permeabilità secondaria (per fratturazione) e il loro grado di permeabilità è proporzionale al grado di fratturazione, aumentando con lo stato di allentamento delle fratture. Inoltre, *“Nella zona in questione, è stata rilevata la presenza di due falde, non totalmente indipendenti”*.

La falda più superficiale, localizzata nelle coperture detritiche e nello strato di alterazione cumulativa che ricopre l'ammasso roccioso in prossimità del piano di campagna, è drenata dalle incisioni vallive e risente direttamente del regime pluviometrico stagionale, dando origine ad emergenze più o meno effimere e di portata modesta.

Esiste poi una falda profonda poiché *“l'ammasso roccioso risulta ancora dotato di una non trascurabile permeabilità, contrariamente a quanto era ragionevole ipotizzare in fase di progetto, quando è stato previsto, come in genere avviene, una chiusura maggiore delle fratture”*.

La circolazione dell'acqua nel sottosuolo è favorita anche dalla situazione geostrutturale e geomorfologica. Infatti, le pianeggianti zone sommitali dei rilievi agevolano l'infiltrazione piuttosto che il ruscellamento, e la stessa

circolazione che si registra negli alvei torrentizi percorre in molti casi linee di discontinuità tettonica, per cui si verifica l'infiltrazione nel sottosuolo di non trascurabili quantità di acqua che vanno ad alimentare i serbatoi profondi, alcuni dei quali sono stati intercettati dalla galleria, localizzati in corrispondenza delle bande di roccia maggiormente fratturate e cioè in corrispondenza delle linee di disturbo tettonico.

Caratteristiche dell'ammasso roccioso e venute d'acqua in fase di avanzamento

Lo scavo con fresa a piena sezione (TBM) è iniziato alla Progr. 463.13 m, dopo il camerone del Pozzo Piezometrico.

Nella Tav.1 è riportata la sezione longitudinale in asse alla galleria, con la litologia delle formazioni geologiche interessate dallo scavo. Nella tavola è anche riportato:

- il diagramma di avanzamento dei lavori di scavo della galleria con evidenziate le zone di fermo della TBM per gli eventi geologici straordinari;
- le caratteristiche di qualità dell'ammasso roccioso, espresse dall'indice RMR della classifica di Bieniawski, determinato con continuità durante lo scavo dai tecnici del cantiere mediante rilievi al fronte;
- le venute d'acqua in galleria;
- la coppia torcente e la velocità di rotazione della testa fresante;

- l'assorbimento medio di miscela cementizia nei tratti in cui è già stata effettuata l'iniezione di riempimento della camera tra il concio di rivestimento e le pareti di scavo.

Il diagramma RMR evidenzia che la "qualità" della roccia è risultata prevalentemente scadente lungo tutto il tracciato della galleria, con frequenti passaggi tra le classi IV e V di Bieniawski. Un relativo miglioramento delle caratteristiche dell'ammasso si è verificato oltre la progr. 6200 circa, con tratte in classe III.

Tra le progr. 747 e 900 circa, lo scavo ha poi attraversato una zona di disturbo tettonico, con due importanti faglie, caratterizzate da roccia completamente cataclasata e milonitizzata, in cui si sono verificati i primi due fermi della TBM. In corrispondenza di queste due importanti zone di faglia, il terreno, a granulometria sabbioso – limosa incoerente, ha caricato la testa della TBM con il progressivo franamento della calotta e la formazione di un fornello. Per evitare che il fenomeno potesse assumere dimensioni incontrollabili, con la formazione di una cavità molto ampia in calotta, è stato necessario sospendere temporaneamente le operazioni di scavo e procedere al consolidamento del terreno adiacente. L'evento franoso verificatosi alla progr. 898 circa è stato anche caratterizzato dalla presenza di fasce argillificate e da una notevole quantità di acqua in pressione. Le improvvise venute di acqua in galleria, con portate di circa 30 – 35 litri/secondo, hanno determinato il rifluimento del terreno incoerente che ha invaso la camera di lavoro all'interno degli scudi. Alla ripresa dello scavo, dopo alcuni metri di avanzamento, la TBM è entrata

in una cavità di 300-400 m³ venutasi a formare verosimilmente dallo svuotamento, per rifluimento in galleria, del terreno detritico incoerente portato in sospensione dal flusso d'acqua.

In questi due primi eventi geologici straordinari sono state provate numerose tecniche di consolidamento che hanno consentito di mettere a punto un piano di interventi per il superamento di zone di faglia in condizioni difficili. I diversi tentativi di scavo effettuati hanno dimostrato che l'asportazione del materiale incoerente sul fronte non aveva altro effetto che quello di attivare un movimento franoso del terreno in calotta, determinando la formazione di cavità pericolose per la stabilità della galleria e la sicurezza della maestranze. In situazioni così difficili è risultato più efficace, in termini di tempo e di costi, sospendere temporaneamente le operazioni di scavo e procedere a consolidare la fascia di roccia cataclastica e milonitizzata con infilaggi, iniezioni di resina e drenaggi.

La procedura di intervento messa a punto a seguito dei primi due eventi geologici straordinari è stata articolata nelle seguenti fasi operative (Tav. 2):

Fase 1: Sospensione delle operazioni di scavo e trattamento preliminare della roccia adiacente la TBM, effettuato dall'interno della fresa. Dalla testa e dagli scudi di coda della TBM sono state realizzate le perforazioni di drenaggio per captare ed allontanare l'acqua; alcune perforazioni vengono attrezzate con tubi valvolati in vetroresina e iniettate con resine chimiche. La TBM e le attrezzature ausiliarie sul back-up hanno un ruolo attivo ed importante nel contenere e limitare i fenomeni di instabilità e nell'esecuzione degli interventi.

Fase 2: Scavo manuale (con martello pneumatico) di un cunicolo a sezione trapezia, esterno alla TBM (sopra la calotta), nel terreno già in parte consolidato nel corso della precedente fase. Il cunicolo è stato esteso oltre il fronte della TBM, attraversando la fascia di materiale milonitizzato di faglia, fino ad intestarsi nella roccia più competente.

Fase3: Perforazioni ed iniezioni di consolidamento della roccia cataclasata effettuate dal cunicolo sia in avanzamento sia sul fronte della TBM.

Fase 4: scavo di abbassamento davanti alla testa della TBM per ridurre la spinta del terreno franato ed agevolare la ripresa delle operazioni di scavo meccanizzato.

Questo schema di intervento è stato utilizzato come procedura generale per il superamento anche dei successivi eventi geologici straordinari, adattando le lavorazioni alle specifiche situazioni di volta in volta incontrate.

E' opportuno sottolineare il ruolo della TBM in occasione degli eventi geologici straordinari. La testa fresante ed i retrostanti scudi di acciaio hanno infatti sostenuto il terreno degradato ed incoerente presente nelle fasce fagliate, evitando che si manifestasse il rifluimento in galleria di enormi quantità di terreno e la formazione di fornelli molto estesi. Le cavità venutesi a creare in occasione degli eventi geologici straordinari sono certamente di volume molto inferiore a quelle che si sarebbero potute verificare nello scavo con metodo tradizionale. La TBM ha sostenuto il terreno in frana, e le venute di detrito in galleria sono state limitate alle frazione granulometrica più fine, portata in sospensione dal flusso di acqua in

pressione. L'imprevedibilità dei fenomeni è da attribuire alla presenza di elevate quantità di acqua in pressione in corrispondenza delle principali zone di faglia, che si sono rivelate "importanti serbatoi idraulici all'interno dell'ammasso". Nella fase di consolidamento, il vano "blindato" costituito dagli scudi e dalla testa della TBM hanno consentito di effettuare in sicurezza i primi interventi per il drenaggio ed il miglioramento delle caratteristiche meccaniche del detrito di faglia.

Nel caso fosse stato adottato lo scavo tradizionale, il superamento di eventi geologici simili a quelli incontrati dalla galleria in esame avrebbe certamente determinato un maggior costo degli interventi ed un tempo superiore a quello effettivamente impiegato con la TBM. Infatti, oltre alle maggiori quantità di detrito mobilitato dalla frana, che avrebbe riempito lunghi tratti di galleria già scavata, sarebbe stato necessario sostenere il terreno di frana con armature pesanti e resistenti (centine a passo ravvicinato, marciavanti metallici etc.) per creare vani sicuri da cui operare.

Superati questi due primi eventi straordinari, lo scavo è ripreso a pieno ritmo fino alla progr. 2660 circa, con avanzamenti medi giornalieri compresi tra 13 m/giorno (nella prima settimana dopo il fermo) e 40 m/giorno. Il controllo sistematico del fronte di scavo ed il ricorso a trattamenti con miscele chimiche al manifestarsi dei primi segnali di franamento, ha consentito di avanzare con buone produzioni nonostante la scadente qualità dell'ammasso roccioso.

Tra le progr. 2670 e 2920, l'avanzamento ha poi subito un sensibile rallentamento per la presenza di roccia completamente alterata e milonitizzata, con intercalazioni

argillificate. In una cavità (in calotta e sui fianchi della TBM) che ha richiesto l'uso di calcestruzzo proiettato e resine espansive; si è tuttavia proceduto con lo scavo, sebbene con avanzamenti ridotti (circa 5m/giorno).

Alla progr. 2720 circa, la galleria ha intercettato un diaframma "argilloso" impermeabile che separava due zone a diverso carico idraulico. La perforazione di questo schermo ha determinato l'improvviso afflusso in galleria di una notevole quantità di acqua in pressione, con fango e detriti in sospensione. Le abbondanti venute di acqua, con portate superiori a 100 l/sec., non hanno consentito il consolidamento del terreno in quanto le resine e gli altri materiali iniettati venivano dilavati dal flusso d'acqua.

Un primo tentativo di drenaggio e consolidamento è stato effettuato da una nicchia scavata tra i due scudi telescopici ma, nonostante le modeste dimensioni del cavo, si è verificato il franamento del terreno con il cedimento delle centine installate per il sostegno. Anche in occasione di questo evento la testa e gli scudi della TBM hanno costituito dei luoghi sicuri da cui effettuare i primi interventi di drenaggio e consolidamento del terreno. La stessa situazione, se affrontata con uno scavo tradizionale o con una TBM aperta, avrebbe determinato il rifluimento in galleria di enormi quantità di terreno e di acqua.

Un secondo cunicolo è stato poi realizzato a partire dallo scudo posteriore della TBM per drenare ed allontanare l'acqua incontrata sul fronte di avanzamento. L'ammasso roccioso è stato consolidato con resine poliuretatiche monocomponenti le quali, reagendo con rapidità in presenza di acqua, hanno ridotto la permeabilità

della roccia, consentendo il successivo e più efficace consolidamento mediante l'impiego di resine bicomponenti.

Dal cunicolo sono stati poi effettuati pali ad ombrello, lunghi da 15 a 18 m, per la protezione dell'avanzamento della TBM. Nonostante questi interventi, alla ripresa dello scavo si è verificato un nuovo franamento del fronte che ha costretto a riaprire e prolungare il cunicolo per un ulteriore tratto.

Ripreso l'avanzamento e superata la zona di terreno stabilizzato, si sono verificate ingenti venute di acqua, con portate fino a 170 litri/sec., che hanno trasportato all'interno della TBM una grande quantità di limo e fango. Fino alla progr. 2947 circa i lavori sono poi proseguiti lentamente, alternando fasi di scavo con lavorazioni straordinarie per il drenaggio dell'acqua ed il consolidamento del terreno.

Dalla progressiva 2947 alla 3137 circa, le condizioni di fratturazione della roccia sono progressivamente migliorate con il conseguente aumento della velocità di avanzamento che ha raggiunto un valore medio di circa 23 m/giorno.

Purtroppo, dopo appena due settimane dalla ripresa dei lavori, è stata intercettata una nuova faglia con fasce di roccia scistosa fratturata ed argillificata e con presenza di argille rigonfianti. In due zone, rispettivamente alle progr. 3115 e 3241 circa, il rigonfiamento del terreno ha determinato un eccessivo carico sugli scudi ed il blocco della TBM. Per evitare che un carico così elevato potesse poi gravare sul rivestimento definitivo della galleria sono stati realizzati cunicoli esterni che hanno permesso all'argilla di rigonfiare liberamente senza caricare gli scudi e, in seguito, i

conci di rivestimento della galleria. In particolare, alla progr. 3241 sono stati realizzati due cunicoli, il primo in calotta lungo 6 m ed il secondo sul fianco, in corrispondenza dello scudo posteriore, lungo 8 m.

Superata anche questa zona, tra le progressive 3338 e 4459 la qualità dell'ammasso roccioso è migliorata, con tratte di classe IV di Bieniawski e locali passaggi in terza. L'avanzamento medio giornaliero, calcolato su base settimanale, ha raggiunto un valore di 32 m/giorno.

Tra le progressive 4459 e 4689, è stata di nuovo attraversata una fascia caratterizzata da micascisti intensamente fratturati ed alterati, in presenza di una falda in pressione; le venute d'acqua in galleria hanno raggiunto valori di circa 16 l/sec. Nell'attraversamento di questi 230 m circa si sono verificati numerosi fenomeni di instabilità del fronte ed in tre occasioni è stato necessario sospendere temporaneamente lo scavo per consolidare e stabilizzare la roccia adiacente la TBM. L'esperienza maturata nei precedenti eventi ha consentito di intervenire prontamente, realizzando lo scavo manuale del cunicolo esterno alla macchina da cui sono stati effettuati i consolidamenti per la stabilizzazione del terreno franoso.

Superata anche questa zona, tra le progr. 4689 e 5570 circa la qualità della roccia è mediamente migliorata, con frequenti passaggi in classe III di Bieniawski; non sono mancate tuttavia piccole faglie con fasce di roccia cataclasata il cui spessore è però risultato modesto (circa 1 m) ed ha richiesto interventi locali. In questo tratto lungo 881 m, l'avanzamento medio giornaliero è risultato alquanto elevato e compreso tra 27 e 35 m/giorno.

I successivi tre eventi geologici straordinari si sono verificati in corrispondenza dell'attraversamento di importanti zone di faglia, ricche di acqua e con carichi idraulici elevati che hanno determinato improvvisi ed intensi afflussi (da 6 a 20 litri/sec) associati a venute di fango e detriti.

Le ormai collaudate procedure d'intervento, prontamente attuate, hanno consentito in tutti e tre gli eventi di limitare il tempo di fermo dello scavo ad 1 o massimo 2 settimane.

Negli ultimi 1360 m circa, l'avanzamento è proceduto con regolarità, con produzioni comprese tra 20 e 30 m/giorno.

Le complesse vicende che hanno reso travagliato e discontinuo lo scavo della galleria possono anche essere lette dai parametri macchina (coppia torcente e velocità rotazione della testa) diagrammati nella Tav. 2. Nell'attraversamento delle zone con roccia milonitizzata e cataclasata si osserva una marcata irregolarità della coppia torcente, con valori che mediamente tendono a ridursi.

Si giunge quindi alla conclusione che le caratteristiche meccaniche dell'ammasso roccioso interessato dallo scavo della galleria di derivazione sono risultate scadenti per quasi tutto il tracciato; situazioni particolarmente critiche sono state incontrate in corrispondenza delle principali dislocazioni tettoniche e zone di intensa fratturazione in cui è stata particolarmente accentuata la degradazione fisica e chimica del materiale roccioso, fino alla formazione di fasce argillificate, spesso rigonfianti.

La bassa permeabilità delle fasce argillificate ha creato delle barriere impermeabili, di separazione tra zone a diverso carico idraulico, creando situazioni

idrogeologiche molto complesse. Nell'attraversamento di questi diaframmi impermeabili si sono verificati afflussi di notevoli quantità di acqua e materiale detritico in galleria, che hanno richiesto la realizzazione di interventi straordinari per il drenaggio ed il consolidamento della roccia cataclasata e milonitizzata, e per il riempimento della faglia.

Gli eventi geologici definiti straordinari hanno determinato il fermo dei lavori, ma qui sono diffusamente trattati, perché si sono quasi sempre verificati in associazione a notevoli afflussi di acqua e quindi è evidente la loro importanza anche dal punto di vista idrogeologico.

La TBM e le attrezzature ausiliarie sul back-up hanno avuto un ruolo importante nel limitare fenomeni di instabilità dello scavo e nella esecuzione degli interventi. La testa e gli scudi della TBM hanno efficacemente impedito il propagarsi delle frane (fornelli) limitando il volume dei vuoti che si sono venuti a formare nelle zone adiacenti alla galleria, dovuti anche all'azione erosiva esercitata dall'intenso afflusso di acqua. Il vano "blindato" all'interno degli scudi ha poi agevolato la realizzazione in sicurezza degli interventi di drenaggio e consolidamento.

Gli eventi geologici straordinari che si sono verificati nel corso dei lavori sono risultati imprevedibili. Essi sono stati determinati dalla locale concomitanza di numerose cause sfavorevoli alla stabilità dello scavo, tutte di origine tettonica e ovviamente localizzate nelle fasce più tettonizzate, a profondità tali da non essere percepibili dall'esterno. Tra tali cause sono da evidenziare:

- l'intenso stato di fratturazione della roccia, che nelle zone più tettonizzate si è presentata quasi allo stato di sabbia limosa incoerente;
- la presenza di bande di taglio, sempre di origine tettonica, con roccia argillificata e minerali argillosi rigonfianti;
- l'elevata permeabilità dell'ammasso roccioso fratturato, anche in profondità, molto superiore a quella che era possibile prevedere in fase di progetto;
- la presenza di importanti serbatoi idraulici sotterranei -localizzati in corrispondenza delle faglie principali e dotati di elevati carichi idraulici- che hanno determinato impetuose venute d'acqua in galleria, con portate istantanee fino a 170 l/sec.

Nel corso dei lavori si sono presentate numerose situazioni difficili, diverse da zona a zona del tracciato, derivanti dai fattori sopra menzionati; nella maggioranza dei casi le difficoltà sono state superate con minima incidenza sulle attività del lavoro programmate. Solo in alcune tratte, la imprevedibile concomitanza di condizioni idrogeologiche estremamente sfavorevoli, ha determinato condizioni di scavo eccezionalmente difficili.

Gli undici eventi geologici straordinari che hanno maggiormente condizionato i lavori si sono verificati in quattro distinte tratte e sono stati caratterizzati da tipologie di dissesto diverse e peculiari per ciascuna zona, determinate dalla prevalenza di uno o più di uno dei tanti fattori di dissesto sopra menzionati.

In una tratta, la principale causa di instabilità del fronte di attacco fu attribuita all'eccezionale afflusso di acqua in galleria, con portate fino a 170 l/sec, capaci di erodere il terreno, ovviamente alterato, adiacente allo scavo. In un'altra zona l'evento geologico straordinario è derivato dalla presenza di fasce di roccia estremamente alterata, con argille rigonfianti che hanno determinato il blocco della TBM. In altre ancora, la minuta frammentazione della roccia ha determinato l'instabilità del fronte e della calotta, ed ha richiesto il fermo dell'avanzamento per effettuare gli interventi di consolidamento del materiale cataclasato e milonitizzato.

Queste complesse situazioni geologiche non erano prevedibili in fase di progetto né tanto meno era possibile, in fase di scavo, localizzare in anticipo le zone in cui questa sfavorevole concomitanza di cause si sarebbe potuta verificare.

Nella letteratura tecnica sono riportati numerosi esempi di scavi in condizioni difficili i cui lavori hanno subito rallentamenti per l'attraversamento di impreviste zone di disturbo tettonico; tuttavia la situazione incontrata durante lo scavo della galleria del Menta è da considerare unica e straordinaria. Per ben 11 volte infatti è stato necessario sospendere temporaneamente lo scavo meccanizzato e scavare, con metodi minerari, cunicoli esplorativi esterni alla TBM, per superare le zone di faglia, fino a raggiungere zone con roccia più stabile oltre il fronte di avanzamento della macchina. Nonostante le ridotte dimensioni dei cunicoli, favorevoli alla stabilità, in numerose occasioni si è verificato il franamento del fronte del cunicolo stesso o lo sfornellamento in calotta.

Tuttavia, i cunicoli hanno consentito di effettuare interventi specifici, diversi nei vari eventi, per consolidare la roccia, drenare l'ammasso e stabilizzare i movimenti franosi in relazione alle condizioni geomeccaniche locali. **Nello scavo meccanizzato con TBM l'esecuzione di un cunicolo esterno alla sezione di scavo rappresenta un evento eccezionale; nel caso in esame questa procedura, per ben 11 volte, è risultata l'unica alternativa possibile per avanzare lo scavo.**

La relazione conclude facendo rilevare che *“per la messa in sicurezza della galleria risulta ora necessario completare le iniezioni di riempimento della camera tra il rivestimento e lo scavo, e chiudere le cavità venutesi a formare in prossimità della galleria, che tuttavia risultano di volume notevolmente inferiore a quelli che si sarebbero potuti creare con il metodo di scavo tradizionale.”*

7 ALTRE CONSIDERAZIONI

Molte osservazioni sono state fatte in precedenza, ma da una attenta disamina delle posizioni esposte nelle memorie e negli atti che hanno di volta in volta accompagnato il progetto della galleria di derivazione, i suoi aggiornamenti, le perizie di variante e le fasi operative dello scavo, si possono fare altre considerazioni che, tenendo conto anche dei dati riscontrati durante i sopralluoghi, sono indispensabili per inquadrare correttamente la complessa problematica geologico-tecnica in cui è avvenuto lo scavo della galleria.

Alle considerazioni analitiche inserite nell'esame dei singoli documenti esaminati, si possono infatti aggiungere anche quelle che seguono.

- All'epoca in cui è avvenuta la progettazione della galleria, le conoscenze della geologia dell'Aspromonte erano alquanto sommarie e approssimative, non solo per ciò che attiene ai rapporti tra le diverse formazioni e, all'interno di ogni formazione, dei vari litotipi ma anche e soprattutto dal punto di vista idrogeologico, geologico-tecnico e delle proprietà di resistenza meccanica delle rocce affioranti.
- Sempre a quell'epoca, praticamente sconosciuta era la tettonica regionale e, conseguentemente, ignote o semplicemente supposte erano le proprietà geologiche e geotecniche delle rocce in profondità.

- Completamente contrarie alla realtà, erano le informazioni in merito al comportamento idrogeologico delle rocce metamorfiche che costituiscono la struttura dell'Aspromonte in generale e della zona attraversata dalla galleria in particolare. Infatti, era abbastanza diffusa, almeno in certi ambienti tecnici, l'idea che le rocce cristalline e metamorfiche non potessero contenere falde acquifere.

Tali considerazioni possono apparire contraddittorie o non coerenti con quanto è stato dichiarato, osservato, verificato o documentato nei capitoli precedenti.

La parte più contraddittoria potrebbe apparire quella riguardante la geologia dell'Aspromonte. Infatti, già a quell'epoca era stata pubblicata la carta geologica della Calabria in scala 1:25.000, e quindi si potrebbe essere indotti a ritenere che, almeno questo tipo di conoscenza, doveva darsi per acquisito in via definitiva.

Ora, a prescindere dalla scala della carta - che certamente non è tale da consentire la rappresentazione di tutti gli affioramenti litologici - ne vanno considerati gli errori, sempre possibili, e soprattutto la soggettività nella interpretazione di fenomeni che erano e ancora sono ben lontani dall'essere chiariti. Senza trascurare che la fitta copertura boschiva, l'impervietà dei luoghi, la presenza di suoli pedologici e di strati alterati di diversa natura, costringono sempre i rilevatori di cartografie geologiche ad estrapolare e/o interpolare dati e ad eseguire correlazioni a distanze talora notevoli.

A tutto ciò si deve aggiungere la scarsa conoscenza, che perdura ancora oggi, su buona parte degli aspetti tettonico-strutturali e quindi sull'andamento delle diverse falde e delle unità geologiche in profondità.

Altra considerazione di carattere generale da mettere in evidenza riguarda il fatto che, anche all'interno della stessa unità geologica o della stessa formazione, i litotipi possono essere differenti, e ciò vale, particolarmente in Aspromonte, dove è eccezionale, per non dire inesistente, la possibilità che lo stesso litotipo costituisca un'intera formazione o un'intera unità geologica e coservi le stesse proprietà geomeccaniche.

Se a ciò si aggiunge che, per quanto riguarda questi aspetti, ancora oggi l'Aspromonte rappresenta "la porzione meno conosciuta di tutto l'Arco calabro-peloritano" si avrà ben chiara la complessità del problema e le difficoltà che si incontrano in questo campo.

Va poi considerato che gli stress tettonici sono in grado di modificare completamente la natura dei minerali e delle rocce, complicando, ove ce ne fosse bisogno, gli stessi effetti del metamorfismo originario. Infatti, le metamorfiti dell'area aspromontana si sono formate, come tutte le metamorfiti, da rocce preesistenti a causa di fenomeni di tipo termico, di tipo dinamico e di tipo termodinamico; qui però, a causa di variazioni di pressione e temperatura, discontinue sia nello spazio che nel tempo, si sono avuti processi minerogenetici e petrogenetici complessi e sovrapposti. Inoltre, ai processi propri della morfogenesi, si sono

aggiunti gli eventi tettonici con il loro corredo di trasporto in falda, sollevamenti, pieghe, faglie, cataclasi, litoclasti, leptoclasti, miloniti, ecc. per cui il solo pensare di avere a che fare con unità litologiche omogenee è al di fuori della realtà, anzi, la regola generale che governa queste metamorfite è quella della variabilità litologica, geomeccanica e quindi idrogeologica, anche in ambiti spaziali ristretti.

Come ovvia conseguenza di tale complessità petrografica e tettonica, le proprietà geologico-tecniche delle rocce non possono essere che discontinue, mutevoli ed imprevedibili, sia dal punto di vista petrologico e sia sotto l'aspetto delle proprietà tecniche.

Infatti, mentre si può affermare con sicurezza che si tratta di rocce cristallino-metamorfiche e che occupano uno spazio continuo in profondità, null'altro è possibile affermare con sicurezza sia sotto l'aspetto petrografico che geomeccanico. In altri termini, non è possibile determinare l'andamento delle singole unità litostratigrafiche in profondità sulla base di più o meno articolati rilevamenti di superficie, così come non è possibile indicare le caratteristiche di resistenza delle rocce, dovendosi ritenere erroneo e fallace, nelle aree intensamente tettonizzate, presumere che le proprietà litotecniche migliorino o peggiorino con la profondità.

Generalizzando tali osservazioni, si può invece affermare che le rocce attraversate dalla galleria in esame sono caratterizzate da estrema variabilità dei litotipi di base, con la complicazione delle linee di disturbo tettonico, e dalla complessità dei fenomeni di degrado fisico-chimici indotti.

In queste condizioni, se da un lato è prevedibile che le rocce siano, nel loro insieme, metamorfite fratturate e alterate, più o meno cataclasate e milonitizzate, non è possibile stabilire a priori quale litotipo si incontrerà a una certa profondità o a una certa progressiva, né il suo livello di alterazione o di tettonizzazione e quindi del tutto aleatoria è la possibilità di prevederne il comportamento geo-meccanico e idrogeologico alle diverse progressive, anche a pochi metri di distanza dal fronte di avanzamento, ed altrettanto aleatoria è la possibilità di trasferire in superficie le informazioni acquisite in galleria.

Sotto questi aspetti, di indubbio ausilio, ma non pienamente risolutive, avrebbero potuto essere, su un piano strettamente probabilistico non certamente deterministico, le indagini geognostiche, particolarmente i sondaggi meccanici a carotaggio continuo, da eseguire però con carotiere doppio, integrati con la sismica in foro (DH e CH) .

Infatti, se correttamente eseguito, il carotaggio continuo può consentire la definizione litologica, la determinazione dell'RQD e di altre proprietà geomeccaniche lungo la verticale di sondaggio, mentre la sismica in foro permette di estendere al contorno della perforazione le determinazioni fisico-meccaniche; ma bisogna considerare che una perforazione meccanica eseguita con apparecchiature il cui diametro è misurato in centimetri è alquanto diversa dallo scavo di una galleria il cui diametro è dell'ordine dei metri. Infatti,

- la perforazione è verticale mentre lo scavo della galleria è orizzontale;

- nella perforazione il carico verticale è nullo mentre nella galleria (calotta) è massimo;
- le litoclasti sono difficilmente determinabili, anche per via sismica, mentre rivestono un ruolo talora determinante, quando si effettua lo scavo di una galleria, in quanto i rilasci in calotta spesso si verificano per la decompressione e il conseguente allargamento improvviso delle litoclasti, anche in assenza di acqua; inoltre, nel caso in esame, va considerato che lo spessore della roccia (copertura) per molti tratti della galleria supera i 200 e anche i 250 metri, con conseguente incremento del carico litostatico sulla calotta.

Se a ciò si aggiunge che la morfologia esterna è caratterizzata da impervietà e, in molti punti, da inaccessibilità per i mezzi meccanici, si avrà un quadro abbastanza veritiero delle difficoltà operative di una campagna di indagini geognostiche sufficientemente estesa per trarre indicazioni valide almeno sul piano statistico-probabilistico.

Tutte le considerazioni sopra esposte risultano ulteriormente complicate dal particolare assetto idrogeologico dell'area in esame.

In base agli studi fatti a quel tempo dalla Casmez nell'ambito del programma degli schemi idrici della Calabria, le rocce cristalline e metamorfiche dell'Aspromonte venivano considerate praticamente impermeabili, specie in profondità dove le fessure venivano supposte "serrate", e pertanto povere o addirittura prive di circolazione sotterranea.

Invece, in questo tipo di rocce la circolazione sotterranea è resa possibile dalle discontinuità e dalle fratturazioni provocate dagli eventi tettonici. Infatti, i movimenti tettonici, sottoponendo le rocce a sforzi di trazione, di distensione e di compressione, non solo creano delle superfici di separazione lungo i piani di faglia, ma ne modificano profondamente l'omogeneità fisica fino a trasformare le rocce lapidee in "ammassi rocciosi" e, dove i fenomeni sono più intensi, in breccie cataclastiche e miloniti. Nelle zone in cui si producono fenomeni di lateral spreading le rocce possono diventare permeabili (permeabilità secondaria) e le zone di fratturazione di fatto si trasformano in vie preferenziali per la circolazione sotterranea. Le stesse intrusioni filoniane di quarzo e le pegmatiti, essendo più fragili delle rocce incassanti, risultano spesso fratturate e danno origine a una più o meno estesa circolazione dell'acqua nel sottosuolo.

Ovviamente in questi casi non si hanno falde acquifere nel senso classico del termine, e cioè a disposizione sub-orizzontale o comunque poco inclinata, estese più in larghezza che in altezza, come accade nei complessi sedimentari dotati di permeabilità primaria, ma si generano reti idrodinamiche e zone di accumulo variamente orientate nello spazio, in cui la superficie orizzontale degli acquiferi può essere poco estesa, rispetto all' assai più rilevante dimensione verticale.

Ciò genera carichi idraulici notevolissimi, anche in presenza di accumuli modesti, e le singole vene d'acqua seguono andamenti spaziali capricciosi, che ricalcano l'andamento delle zone di fratturazione e di faglia, e si anastomizzano in maniera imprevedibile e praticamente impossibile da determinare a priori.

Se si associano tutte le considerazioni sopra riportate. Si possono trarre le seguenti conclusioni di ordine generale:

- La zona dell'Aspromonte in cui passa la galleria è caratterizzata dalla presenza di complessi litologici aventi natura e comportamenti geomeccanici estremamente variabili.
- Le cause di tale variabilità sono da ricercare nei fenomeni singenetici e di natura tettonica che hanno trasformato le rocce originarie (metamorfite di vario grado) in ammassi rocciosi in cui si succedono, in maniera caotica, tratti di roccia a consistenza lapidea, con zone cataclasate, milonitizzate, argillificate, cloritizzate, ecc.
- L'intensità degli sforzi tettonici ha prodotto deformazioni geomeccaniche di vario livello per cui le rocce, originariamente impermeabili, hanno acquisito, in zone limitate, una permeabilità secondaria (per fratturazione) che ha permesso la formazione di acquiferi e circuiti idrodinamici, variamente disposti nello spazio e di diversa potenzialità, che seguono il capriccioso andamento delle zone di fratturazione, delle intrusioni filoniane e delle masse pegmatitiche.
- Per l'insieme di tali fenomeni, è praticamente impossibile definire a priori i confini spaziali delle masse rocciose a differente comportamento geomeccanico e, conseguentemente le zone di concentrazione delle venute d'acqua.

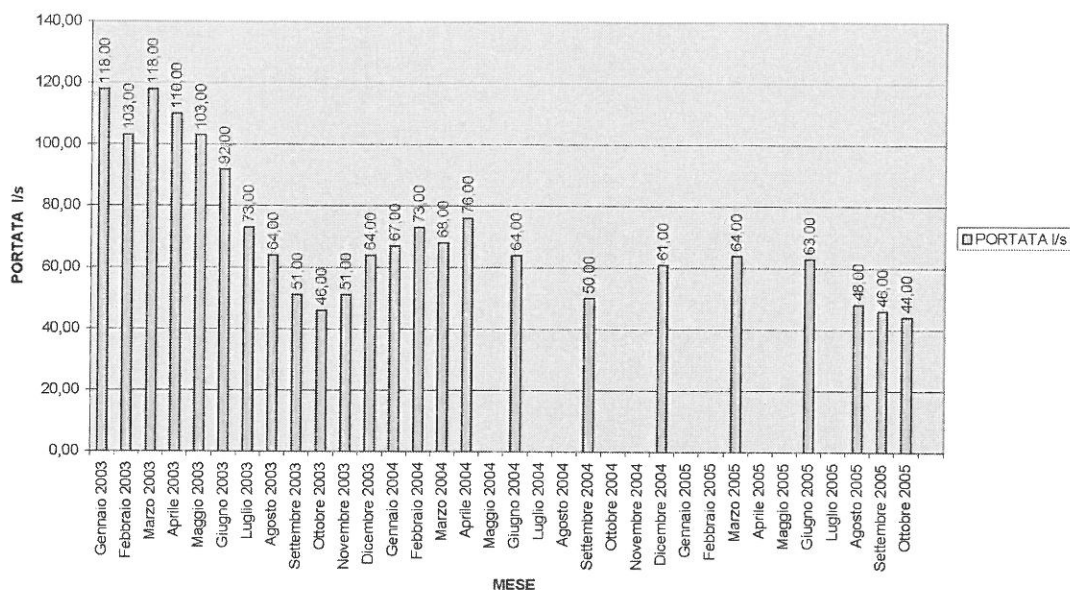
- Al contrario, la complessità delle situazioni petrografiche e geomeccaniche rende prevedibile una estrema variabilità delle successioni litologiche e delle concentrazioni idrauliche, anche in tratti di roccia ravvicinati, ma senza alcuna possibilità di stabilirne a priori le dimensioni, la tipologia e l'ubicazione, su basi deterministiche.
- Infine va evidenziato l'aspetto più importante dal punto di vista idrogeologico. I litotipi che stanno più in alto, fino ad alcune decine di metri dal piano di campagna, a causa dei processi di alterazione cumulativa che hanno subito, assumono la consistenza di sabbioni di disfacimento e di fatto costituiscono un acquifero a permeabilità non molto elevata ma omogenea, spazialmente continua e a deflusso sub-verticale. I litotipi sottostanti, a consistenza lapidea, sono teoricamente impermeabili e, tranne che in particolari condizioni, rappresentano una soglia di permeabilità che orienta i flussi idrodinamici provenienti dall'alto, in maniera sub-parallela alla disposizione spaziale del loro piano di contatto con le alteriti e cioè in maniera generalmente conforme alle pendici dei rilievi. Normalmente accade quindi che le incisioni vallive drenano le acque percolanti ed alimentano una più o meno persistente circolazione superficiale. Nell'ambito di esercizio di tali fenomeni, percolazione nelle alteriti e drenaggio nelle depressioni vallive, l'acqua alimenta la vegetazione e, più in generale, svolge la sua azione ecologica primaria. Si deve però osservare, e ne è riprova la ripetuta venuta d'acqua registrata in galleria,

che il substrato lapideo non è sempre impermeabile ma localmente, per fenomeni di natura tettonica (faglie e disturbi tettonici in genere) o litologica (intrusioni filoniane quarzoso-pegmatitiche) si generano delle zone ad elevata permeabilità secondaria, capaci di esercitare una intensa azione drenante sull'acquifero soprastante. In questi casi si origina una circolazione sotterranea anche nelle metamorfite lapidee, la cui direzione di deflusso tende a disporsi verticalmente o in altro modo, seguendo il capriccioso orientamento dei circuiti sotterranei -tettonici o filoniani- ad elevata permeabilità, e quando non intersecano la superficie topografica per venire a giorno sotto forma di sorgenti, possono anche restare stabilmente saturi e comunque generare forti carichi idraulici. Tuttavia dal loro svuotamento, anche repentino, non si hanno ripercussioni dirette fino al piano di campagna poiché il loro riempimento non attingeva alla superficie topografica bensì al piano di contatto alteriti-roccia lapidea. Potrebbero attribuirsi a fenomeni di tal genere le venute d'acqua registrate in galleria.

Un importante esempio dimostrativo della peculiarità del sistema idrogeologico dell'area è dato dall'andamento delle portate idriche misurate, a partire dal mese di gennaio e fino ad ottobre 2005, lungo il canale di drenaggio interno alla galleria.

Come si può osservare sul grafico che segue, i valori delle portate pur in diminuzione dimostrano che lungo il tracciato esistono acquiferi degni di interesse anche economico.

PORTATE DI VENUTE ACQUA IN GALLERIA - MISURATE ALLA SEZIONE 0 - SBOCCO GALLERIA



Inoltre, dal momento che le portate -ad alcuni anni di distanza dal completamento dello scavo e del rivestimento- sono ancora persistenti, si deve necessariamente dedurre che l'acquifero è alimentato dall'esterno.

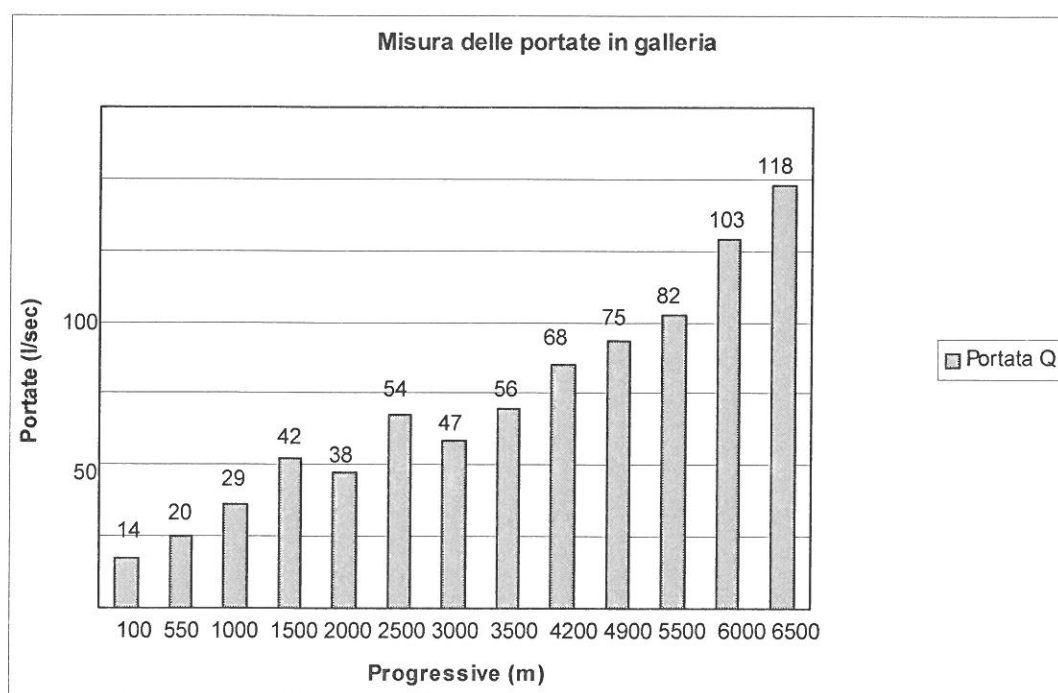
Altre importanti considerazioni si possono trarre dall'esame dell'andamento delle portate lungo il tracciato.

A tale proposito, occorre anzitutto evidenziare che le misurazioni sono state eseguite con metodi empirici -basati sulla misurazione della sezione di deflusso del canale di drenaggio e sulla velocità della corrente idrica in un tratto di canale predefinito- non potendo disporre di apparecchiature per la misurazione di portata, né potendo costruire stramazzi per far confluire l'acqua in recipienti tarati.

Per dare significato tecnico alle misurazioni, ove si escludano le prime due, effettuate per impedimenti logistici rispettivamente a 100 e a 550 metri dall'imbocco della galleria sul versante occidentale di Monte Cendri, esse sono state eseguite ad intervalli di 500 metri così da determinare il ritmo degli afflussi per intervalli costanti.

Pur se effettuate con metodo empirico, le misurazioni sono abbastanza significative dell'entità delle portate, della variabilità degli emungimenti nei diversi tratti della galleria, e di alcune anomalie di rilevante interesse pratico.

Per meglio evidenziare l'entità degli afflussi, la loro variabilità spaziale, i tratti di galleria a maggiore concentrazione idraulica e quelli ad emungimento più ridotto i dati delle misurazioni più importanti sono stati riportati sul seguente istogramma che si riferisce alla prima osservazione nel gennaio 2003.



Dall'esame del diagramma si può rilevare, con estrema chiarezza la disomogeneità degli afflussi lungo i diversi tratti di galleria, gli intervalli entro i quali si sono verificate e si registrano ancora le portate maggiori e, soprattutto, il decremento di portata che è stato misurato fra i 6000 e i 5500 metri, dove la quantità di acqua defluente si riduce da 42 l/sec a 38 l/sec, e quello riscontrato fra i 4000 e i 3500 metri, dove la portata cumulativa scende da 54 a 47 l/sec.

Se si considera che ogni tratto della galleria si è rivelato come acquifero produttivo di più o meno cospicue quantità d'acqua, i sopra menzionati decrementi risultano ancora più rilevanti di quanto numericamente registrato.

Ciò induce alla ragionevole certezza che la riduzione dei deflussi idrici nei due tratti di galleria segnalati, anche se si tiene conto dell'imprecisione delle misure, è spiegabile soltanto con la perdita del liquido in quei due tratti di galleria.

Si deve quindi pensare che, in atto, una certa quantità dell'acqua proveniente dalle fratture presenti in alcuni tratti della galleria torna ad immettersi in altre fratture, in tratti di galleria successivi, invece di seguire il canale di drenaggio e con esso giungere all'esterno.

Infine si chiarisce che le misurazioni sono state interrotte nell'ottobre 2005, per motivi di sicurezza, in quanto a quella data l'Impresa costruttrice ha dimesso il cantiere e quindi l'impianto di ventilazione della galleria.

Alla ripresa dei lavori per il completamento dell'opera, quando la nuova Impresa appaltatrice riattiverà la ventilazione, saranno riprese le misurazioni delle venute d'acqua.